



Universidad Nacional Autónoma  
de México

Facultad de Estudios Superiores  
CUAUTITLAN



15  
30j-

Instalación y Puesta en Servicio de un Autotransformador de  
330 MVA, 400 / 230 - 150 KV, 60 Hz, en Subestación  
San Bernabé

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A  
VICTOR MANUEL GARCIA LOPEZ

Asesores Ing. Esteban Corona Escamilla  
Ing. Guillermo Galicia de la Rosa

Cuatitlán Izcalli, Edo. de México 1992



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## INDICE

INTRODUCCION	1
CAPITULO I RECEPCION EN FABRICA Y EMBARQUE	6
1.1 DATOS DE PLACA	7
1.2 RECEPCION, ASPECTOS RELEVANTES	9
1.3 PRUEBAS EN FABRICA	32
1.4 PREPARATIVOS DE EMBARQUE	37
CAPITULO II TRANSPORTE Y RECEPCION EN CAMPO	41
2.1 INICIO DE TRANSPORTE, CONSIDERACIONES	42
2.2 REVISION DEL AUTOTRANSFORMADOR DURANTE EL TRAYECTO	53
2.3 RECEPCION EN CAMPO	55
CAPITULO III ARMADO, MONTAJE E INSTALACION	61
3.1 ARMADO INTERNO DEL AUTOTRANSFORMADOR	62
3.1.1 CONEXION DE GUIAS DE BAJA TENSION, DEL CAMBIADOR DE DERIVACIONES	64
3.1.2 MONTAJE DE BOQUILLAS DE ALTA TENSION, BAJA TENSION, TERCIARIO Y NEUTRO	71
3.1.3 REVISION FINAL INTERNA	81
3.2 PROCESO DE SECADO Y LLENADO FINAL DE ACEITE	83
3.2.1 SECADOS PARCIALES	83

3.2.2	SECADO FINAL	85
3.2.3	TRATAMIENTO DE ACEITE Y LLENADO FINAL DE ACEITE	94
3.3	INSTALACION DE ACCESORIOS	99
3.3.1	MONTAJE DEL BANCO DE ENFRIAMIENTO	99
3.3.2	MONTAJE DEL TANQUE CONSERVADOR	102
3.3.3	TUBERIA DE VENTEO	103
3.3.4	INSTALACION DE GABINETES	105
3.3.5	ROTULADO Y PINTURA	109
3.4	DETALLES DE ACABADO	110
3.4.1	INSTALACION Y CALIBRACION DE INDICADORES DE TEMPERATURA	110
3.4.2	PRUEBAS A CONTROLES Y ALARMAS	112
CAPITULO IV	PUESTA EN SERVICIO	114
4.1	ENTREGA A LOS DEPARTAMENTOS RECEPTORES	115
4.2	PROGRAMACION PARA LA PUESTA EN SERVICIO...	118
4.3	PRUEBA CON POTENCIAL	120
CONCLUSIONES		128
APENDICE I	TEORIA DEL TRANSFORMADOR	131
APENDICE II	TEMAS SIGNIFICATIVOS	136
BIBLIOGRAFIA		141

## INTRODUCCION

Gracias a la energía eléctrica la sociedad ha llegado a su actual desarrollo material. La multiplicación de la fuerza mediante el aprovechamiento de los energéticos, el transporte, las comunicaciones, la industria, la posibilidad de hacer grandes obras, el control del clima, etc., se deben a ella. Aún cuando en todos los procesos en los que se emplea podría ser sustituida con otros energéticos, los costos de los motores, los aparatos, la iluminación, son considerablemente más bajas cuando la fuente de energía es la electricidad, de suerte que su consumo caracteriza el grado de desarrollo de un país. Puede producirse con diversos energéticos primarios: la energía potencial del agua, los combustibles fósiles (carbón, gas y petróleo); el vapor del subsuelo; la reacción nuclear de fisión; el viento y el sol.

Utilizando corriente alterna la electricidad puede ser transmitida a grandes distancias y después transformada para ser utilizada en las diversas aplicaciones, costos competitivos. Los sistemas de producción de energía eléctrica son sensibles a las economías de escala y la eficiencia de transformación de energéticos primarios, plantas termoeléctricas; una de las características es que debe producirse en el instante mismo en que se demanda, resulta muy conveniente tener sistemas grandes interconectados, con el objeto de mantener una reserva, para sustituir las fallas de los equipos y para hacer posible las operaciones de mantenimiento de las instalaciones. Hacer la electricidad disponible en el momento en que se requiere implica una serie de actividades que pueden dividirse en dos grandes rubros: por un lado la operación de las instalaciones, el manejo de todo el sistema para entregar la electricidad a los consumidores, y por otra parte, la planeación, el diseño, y la construcción de las instalaciones necesarias para hacer frente a la demanda, que tiende a crecer en función del desarrollo de la economía general del país.

La electricidad es suministrada a los usuarios a una tensión y con una frecuencia fijas; por

tratarse de un fenómeno dinámico, tanto la frecuencia como el voltaje pueden variar con el tiempo, pero se procura que estas variaciones sean leves con la doble finalidad de mantenerlas adecuadas a las especificaciones del equipo de utilización, y a los requerimientos de los equipos de generación, transmisión y transformación.

Como en cualquier otra actividad, el costo de la energía eléctrica está en relación con las características del producto. El producto que entrega el suministrador del servicio de energía eléctrica se puede caracterizar por la tensión o voltaje al que se entrega, por la cantidad que debe entregarse al usuario y por la forma que éste hace uso de la electricidad en un tiempo determinado.

Los sistemas de distribución comprenden la parte del sistema que está más estrechamente ligado con el usuario, extendiéndose desde las barras de carga de las grandes subestaciones de potencia hasta la entrada de los servicios en que se miden los consumos de energía.

El proceso de comercialización se realiza a través de agencias, cuyo objetivo fundamental es obtener oportunamente los ingresos que legalmente corresponden a la institución por la prestación del servicio público de energía eléctrica, mediante la aplicación correcta de leyes, reglamentos y tarifas generales. En cuanto a la calidad y continuidad del servicio, se han emprendido acciones que han permitido reducir el tiempo de interrupción por usuario un 58% durante los últimos diez años.

Durante la vida actual por la que atraviesa la Ciudad de México y área metropolitana, existe una gran variedad de problemas de toda índole y que si los analizamos con detalles una de las causas principales es el gran crecimiento demográfico, que se ha venido desarrollando desde principios de los años 70's, a tal índice que la población se ha incrementado excesivamente.

Como consecuencia, se ha visto crecer la demanda de las necesidades básicas de la población: alimentación, servicios públicos, habitación, etc. Dentro de los servicios tenemos la necesidad de contar con el suministro de agua potable, que como todos lo sabemos, es de vital importancia. Por lo tanto se han incrementado los recursos para abastecer la continuidad del servicio de agua potable, aunque para ello se tenga que traer de lugares cada vez más lejanos a nuestra ciudad.

Para cubrir esta necesidad, el Gobierno Federal puso en marcha el Proyecto Cutzamala, de tal forma que se aprovechen los diferentes vasos que se utilizaban para generar energía en las Centrales Hidroeléctricas: Martínez de Meza, Agustín Millán, El Durazno, Tingambato, Ixtapantongo y Santa Bárbara, con una capacidad total de 365 MW, que forman parte del Sistema Miguel Alemán. De aquí entonces sucede que para poder dar el abasto necesario de agua a la gran Ciudad de México y área metropolitana, dejando de generar de tal forma que el Sistema Miguel Alemán se encuentra operando como se observa en la Figura 1. Para suplir esta generación se hizo necesaria la creación y entrada en operación de la S.E. San Bernabé, con una capacidad de 990 MVA, 400/230-150 KV, la cual entra en su primera etapa trabajando una operación de 150 KV y posteriormente será de 230 KV.

Una vez que se realicen las conversiones de las líneas de transmisión, así como de algunas instalaciones que lo requieran, ejemplo en los autotransformadores es necesario el cambio de links.

Esta subestación es del tipo telecontrolada, con una sección de 400 KV y otra de 150 KV, ambas aisladas en SF<sub>6</sub> con cuatro circuitos de 400 KV provenientes de la subestación Nopalá (2) y Topilejo (2); tres bancos de potencia con capacidad de 330 MVA's cada uno, y seis circuitos de 150 KV provenientes de las subestaciones: Toluca, Estadio, Alamo, Cuajimalpa, Odon de Buen y Taxqueña. Figura 2.

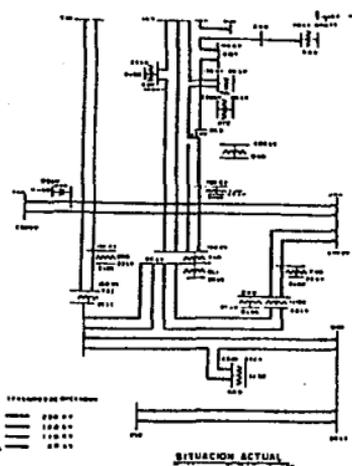


Figura 1

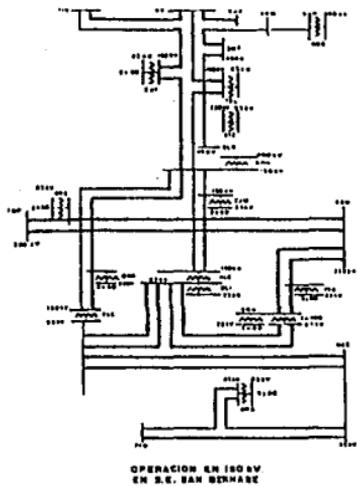


Figura 2

OPERACION EN 150 kV EN S.E. SAN BERNABE

CAPACIDAD EN SUBESTACIONES DEL SISTEMA CENTRAL							
AÑO	400 KV	230 KV	150 KV	115 KV	85 KV	SUBESTACION MENOR A 85	TOTAL
1981	1320	5620	100	-	4000	1634	12674
1982	1320	5620	220	-	4060	1927	13147
1983	1320	6040	520	-	4150	1237	13257
1984	1320	6340	520	-	4240	1237	13657
1985	1320	6400	520	-	4276	1671	14187
1986	1320	6860	520	74	4306	1221	14301
1987	1320	7100	520	74	4368	1609	14991
1988	1650	7200	520	74	4398	1246	15068
1989	1650	7400	520	74	4398	1236	15278
1990	2640	7580	520	74	4488	971	16273

ESTOS VALORES SON DADOS EN MVA (MEGAVOLTSAMPERS).

## **CAPITULO I**

### **RECEPCION EN FABRICA Y EMBARQUE**

## 1.1 PLACA DE DATOS

Autotransformador sumergido en aceite de 185/255/330 MVA. para 400/230 KV. y 130/200/260 MVA. para 400/150 KV.

CLASE OA/FOA/FOA FORMA NUCLEO COLUMNA Ped. No. 85-1-0259 AA1  
 FASES 3 60 Hz SERIE: N 308 - 03

## CAPACIDAD EN KVA

DEVANADO	OA	FOA	FOA	RELACION	°C
SERIE	165000	255000	330000		
COMUN	165000	255000	330000	400/230	55
TERCIARIO	30000	46500	60000		55
SERIE	130000	200000	260000		
COMUN	130000	200000	260000	400/150	55
TERCIARIO	30000	46500	60000		55

## TENSION EN KV

## TABLERO INT. CONECTAR

400 Y T / 230.9 - 230 Y T / 13279 - 10

D - C

400 Y T / 230.9 - 150 Y T / 866 - 10

D - B

## NIVEL BASICO DE IMPULSO EN KV DE ONDA COMPLETA

	SERIE	COMUN	NEUTRO	TERCIARIO
BOQUILLA	1800	1300	200	200
DEVANADO	1425	900	110	110

**% DE IMPEDANCIA**

DEVANADO KV BASE = 400/230 MVA BASE = 330

H-X

H-Y

11 %

X-Y

**% DE IMPEDANCIA**

DEVANADO KV BASE = 450/150 MVA BASE = 330

H-X

H-Y

11 %

X-Y

**ELEVACION DE TEMPERATURA A PLENA CARGA CONTINUA A 3100 MSNM A 55 °C****PESOS APROXIMADOS:**

NUCLEO Y BOBINAS	130,000 Kgs.
TANQUE Y ACCESORIOS	88,776 "
ACEITE	150,000 "
<b>TOTAL</b>	<b>369,404</b>

**CONTENIDO DE ACEITE EN LITROS:**

TANQUE	149,506 Lts.
RADIADORES	13,251 "
CONSERVADOR	4,607 "
<b>TOTAL</b>	<b>167,304</b>

## 1.2 RECEPCION

### A) ASPECTOS RELEVANTES

Para la recepción en planta es importante tener plenamente identificados, los objetivos que se persiguen durante la misma, en estos objetivos se incluyen todos aquellos aspectos que son significativos para cumplir correctamente con la instalación del autotransformador en la subestación. Para ello se hace necesario tomar en cuenta dos aspectos:

Primero las características propias de diseño y funcionamiento (en base a experiencias anteriores) y elaborar un programa de trabajo en segundo lugar como consecuencia del primero. Este programa nos sirve para preparar y supervisar las actividades que se desarrollan en planta, de forma similar a el preparado por el fabricante y el departamento de control y aseguramiento de calidad de la CLYF.

Los objetivos programados son:

- 1.- Anotar datos del equipo y observar las técnicas de vacío, presurizado y pruebas que se ejecutan.
- 2.- Efectuar y ver físicamente que se cumplan con las pruebas eléctricas que marcan las normas internacionales y nacionales (siempre que sea posible) de acuerdo a este tipo de equipo eléctrico.
- 3.- Tomar fotografías de todos los detalles que se consideren importantes en cada una de las etapas.
- 4.- Comentar con el fabricante los cuidados que deberán considerarse para el armado en campo, esto con la finalidad de no ocasionar perjuicios que su reparación en campo eleve los costos de instalación.

- 5.- Vigilar y revisar que el embarque del autotransformador, así como sus accesorios, se realice en forma correcta de acuerdo a lo programado.
- 6.- Hacer que se cumpla en lo mayor posible con el programa de trabajo.

Nuestro programa de trabajo consta de las siguientes actividades:

- Pruebas eléctricas: Relación de transformación, Resistencia de aislamiento, Factor de potencia, Pérdidas dieléctricas.
- Drenado de aceite al tanque principal y banco de enfriamiento.
- Medición del Punto de Rocío, en el interior del tanque principal.
- Desconexión de los cambiadores de tensión por el lado de baja.
- Preparación del interior para su envío a la Subestación, marcas testigos en bobina y núcleo.
- Proceso de Vacío.
- Llenado con nitrógeno de alta pureza.
- Pintura y acabados exteriores.
- Pruebas a boquillas.
- Revisión de accesorios.
- Maniobras de carga y envío del autotransformador.

El programa se realizó de acuerdo a la gráfica que aparece en la fig. 1.2 en ella se menciona el tiempo que se utilizó para cada una.

Es necesario mencionar que para cubrir el programa se contó con la supervisión de ingenieros con amplia experiencia en los transformadores en coordinación con el personal técnico del fabricante y con el auxilio del departamento de Laboratorio de CLYF S.A., que a su vez es el Inspector en el control de calidad.

El autotransformador al que nos referimos en la presente que en la compañía está clasificado como el Bco. T-411 C, es la tercera unidad recibida para completar el pedido, correspondiente a la S.E. San Bernabé.

PROGRAMA DE RECEPCION UNIDAD N-308-03 (CLYFC)

actividad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
1 DRENADO DE ACEITE	█	█																					
2 MEDICION DEL PUNTO DE ROCIO		█	█																				
3 DESCONEXION DE CAMBIADORES			█	█																			
4 PREPARACION INTERIOR			█	█	█	█																	
5 VACIO					█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█								
6 PRUEBA DE ABATIMIENTO							█	█				█											
7 LLENADO CON NITROGENO															█								
8 MEDICION DEL PUNTO DE ROCIO															█	█							
9 PINTURA															█	█	█	█					
10 ACABADO EXTERIOR															█	█	█	█					
11 CAJAS CAMBIADORES B.T.																							
11.1 X1											█	█	█	█									
11.2 X2											█	█	█	█									
11.3 X3												█	█	█	█								
12 PRUEBAS A BOCQUILLAS												█	█	█	█	█							
13 REVISION ACCESORIOS																█	█	█	█	█			
14 MANIOBRAS DE CARGA																					█	█	

## PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

DATOS EQUIPO DE PRUEBA: Marca NORMA

No. Serie: 2851570

Tensión de Prueba: 1000 V.C.D.

Temp. Ambiente: 18 °C

Tiempo de Prueba: 1 minuto

Temp. Aceite: 18 °C

PRUEBAS	LECTURAS EN M		RESULTADO DE LAS PRUEBAS
	MEDIDAS	CORREGIDAS A 20 °C	
[H+X+HoXo]-Y	20,000	17600	BIEN
[H+X+HoXo]-Y+T	20,000	17600	BIEN
Y-[H+X+HoXo]+T	15,000	13200	BIEN
[H+X+HoXo]-T	15,000	13200	BIEN
Y-T	20,000	17600	BIEN

## PRUEBA DE RELACION

ALTA TENSION		BAJA TENSION		RELACION TEORICA	RELACION MEDIDA			LIMITES INTERIOR SUPERIOR	
POS. CAM. DER.	TENSION	POS. CAM. DER.	TENSION		FABE A	FABE B	FABE C	RELACION TEORICA POR 0.995	RELACION TEORICA POR 1.005
1	371528		240000	1.5490	1.547	1.548	1.548	1.5402	1.5557
2	374476			1.5603	1.558	1.557	1.558	1.5524	1.5681
3	377472			1.5728	1.571	1.570	1.571	1.5649	1.5806
4	380516			1.5854	1.584	1.583	1.583	1.5574	1.5933
5	383610			1.5983	1.596	1.595	1.598	1.5903	1.6062
6	388754			1.6114	1.610	1.609	1.609	1.6033	1.6194
7	389950			1.6247	1.623	1.622	1.622	1.6165	1.6328
8	393200			1.6383	1.637	1.635	1.636	1.6301	1.6464
9	398504			1.6521	1.650	1.648	1.649	1.6438	1.6603
10	399864			1.6661	1.664	1.662	1.663	1.6577	1.6744
11	403262			1.6803	1.678	1.676	1.677	1.6718	1.6887
12	406759			1.6948	1.693	1.691	1.692	1.6863	1.7032
13	410295			1.7095	1.707	1.706	1.707	1.7009	1.7180
14	413894			1.7245	1.722	1.720	1.722	1.7158	1.7331
15	417557			1.7398	1.737	1.736	1.737	1.7311	1.7484
16	421285		240000	1.7553	1.735	1.735	1.752	1.7465	1.7640
17	407369		230000	1.7711	1.767	1.766	1.767	1.7622	1.7749
18	411072			1.7872	1.784	1.782	1.783	1.7782	1.7961
19	414844			1.8036	1.799	1.798	1.799	1.7945	1.8126
20	418685			1.8203	1.818	1.815	1.815	1.8111	1.8294
21	422598		230000	1.8373	1.833	1.832	1.833	1.8281	1.8464
22	408038		220000	1.8547	1.850	1.848	1.850	1.8454	1.8634
23	411924			1.8723	1.867	1.865	1.867	1.8629	1.8816
24	415884			1.8903	1.885	1.883	1.885	1.8806	1.8997
25	419922		220000	1.9087	1.903	1.901	1.903	1.8991	1.9182

ALTA TENSION		BAJA TENSION		RELACION TEORICA	RELACION MEDIDA			LIMITES INTERIOR SUPERIOR	
POS. CAM. DER	TENSION	POS. CAM. DER	TENSION		FASE A	FASE B	FASE C	RELACION TEORICA POR 1.000	RELACION TEORICA POR 1.000
1	372662		165000	2.2507	2.256	2.256	2.255	2.2484	2.2709
2	377196			2.2660	2.282	2.282	2.281	2.2745	2.2974
3	381635			2.3129	2.309	2.309	2.309	2.3013	2.3244
4	386170			2.3404	2.336	2.336	2.337	2.3266	2.3521
5	390831			2.3686	2.364	2.364	2.363	2.3567	2.3804
6	395596			2.3975	2.393	2.393	2.392	2.3855	2.4094
7	400481			2.4271	2.423	2.422	2.422	2.4149	2.4392
8	405488			2.4575	2.453	2.452	2.452	2.4452	2.4697
9	410620			2.4886	2.484	2.483	2.483	2.4761	2.5010
10	415885			2.5205	2.516	2.515	2.515	2.5078	2.5331
11	421286		165000	2.5532	2.548	2.547	2.547	2.5404	2.5659
12	388026		150000	2.5868	2.581	2.580	2.580	2.5738	2.5997
13	393200			2.6213	2.615	2.614	2.615	2.6081	2.6344
14	398514			2.6567	2.650	2.649	2.649	2.6434	2.6699
15	403873			2.6931	2.686	2.686	2.685	2.6796	2.7065
16	409563			2.7305	2.723	2.722	2.722	2.7186	2.7441
17	415352			2.7690	2.766	2.760	2.760	2.7551	2.7828
18	421285		150000	2.8085	2.799	2.798	2.799	2.7944	2.8335
19	383228		134500	2.8492	2.840	2.838	2.838	2.8349	2.8634
20	388563			2.8911	2.881	2.879	2.880	2.8766	2.9055
21	394667			2.9343	2.923	2.922	2.922	2.9196	2.9489
22	400647			2.9787	2.966	2.965	2.965	2.9638	2.9935
23	406811			3.0246	3.012	3.010	3.011	3.0094	3.3997
24	413167			3.0718	3.057	3.056	3.057	3.0564	3.0671
25	419725		134500	3.1206	3.105	3.104	3.104	3.1049	3.1362

ALTA TENSION		BAJA TENSION		RELACION TEORICA	RELACION MEDIDA			LIMITES INTERIOR SUPERIOR	
POB. CAM. DER.	TENSION	POB. CAM. DER.	TENSION		FABE A	FABE B	FABE C	RELACION TEORICA POR 0.895	RELACION TEORICA POR 1.005
10	390084		10100	22.8575	22.836	22.813	22.824	22.7432	22.9717
10	240000		10100	13.7192	13.711	13.706	13.711	13.6506	13.7877
15	400180		10100	22.8745	22.836	22.814	22.824	22.7601	22.9888
15	230000		10100	13.1475	13.131	13.127	13.131	13.0817	13.2132
20	400481		10100	22.8928	22.836	22.814	22.826	22.7783	23.0072
20	220000		10100	12.5756	12.551	12.547	12.551	12.5130	12.6387

**PRUEBAS DE FACTOR DE POTENCIA CON ACEITE Y BOQUILLAS**

DATOS EQUIPO DE PRUEBA. Marca DOUBLE

Nº Serie MEH-314

Tension de prueba 10 KV.

Temp. Ambiente 18 °C

Fecha \_\_\_\_\_

Temp. Aceite 18 °C

P O B. C A M. D E R.	CONDICIONES DE LA PRUEBA				LECTURAS EQUIVALENTES <u>10</u> KV.								% FACTOR DE POTENCIA	RESULTADO DE LA PRUEBA
	DE VARIADO				MILL AMPERES				CORRIENTE WATTS					
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
1	BAJO	BAJO			5825	1	38.28	12.5	0.2	2.5				B1817
2	BAJO	BAJO			5728	1	37.28	7.8	0.2	1.8	0.20	0.20		B1817
3	BAJO		ALTA		82	1	82	4.75	0.3	0.98				B1817
4	BAJO	ALTA			52	2	104	12.5	0.2	2.7	0.20	0.20		B1817
5	BAJO		ALTA		34	2	68	7.5	0.2	1.5	0.20	0.20		B1817
6	BAJO		ALTA		18	2	36	5.8	0.2	1.1	0.20	0.20		B1817
CALCULOS							21			1	0.20	0.20		
							3.6			1.0				
1					CONDICIONES DE PRUEBA	55	10	278	0.75	0.2	0.15	0.20	0.20	B1817

**PRUEBA DE RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE AISLANTE**

DATOS EQUIPO DE PRUEBA. Marca BAUR

Nº Serie 72282034

Temp. Aceite 31 °C

Temp. Ambiente 18 °C

Fecha \_\_\_\_\_

SUJETOS DE	VALORES DE RUPURA EN KV.					KV MEDIO	FORMA DE PUNTA	ACEITE TIPO	RESULTADO DE LAS PRUEBAS
	1	2	3	4	5				
	48	54	48	50	45	49	18TH		B1817

## DRENADO DE ACEITE

Durante las pruebas efectuadas (eléctricas y mecánicas) en planta el conjunto en completo del autotransformador se necesitó llenar a su capacidad de trabajo, de tal forma que para iniciar la revisión interna y desmontaje de accesorios se tuvo que drenar el aceite.

Previamente al inicio del drenado se tomaron muestras de aceite para efectuar pruebas de factor de potencia y rigidez dieléctrica, valores que sólo nos servirán de comparación en caso de que se utilice el mismo aceite para cuando se ponga en servicio.

Utilizando la válvula de drenado se instaló una manguera de 2 pulgadas de diámetro la cual se conectó a un sistema de bombeo para aceite instalado en la misma planta la que a su vez enviaba el aceite a depósitos propios.

Para agilizar la salida de el aceite se inyectó nitrógeno de alta pureza, por la parte superior del tanque conservador. El tiempo que se requirió para el drenado completo fue de aproximadamente 10 horas ininterrumpidas, gastándose 17 cilindros de nitrógeno (cada cilindro contiene aprox. 8.5 m<sup>3</sup>) para dejarlo con una presión positiva de 5 Lbs./Pulg.<sup>2</sup>. Dejándolo listo para que después de un reposo de 24 horas, efectuar la prueba de medición del punto de rocío.

## MEDICION DEL PUNTO DE ROCIO

Para continuar con el programa de trabajo se efectuó la prueba de medición del punto de rocío (Ver apéndice II) después del tiempo de reposo del nitrógeno. Para ello se utilizaron dos aparatos:

**MICROVAC HASTINGS  
PANAMETRICS SYSTEM II**

Las actividades a realizarse (ver tabla 1.2.1) son:

- Anotar presión del nitrógeno, del autotransformador
- Anotar temperatura ambiente
- Datos de los aparatos de medición
- Datos y calibración del bulbo empleado

Cada cinco minutos y durante 30 minutos se toman las lecturas siguientes:

Dew point °C

Temperatura del gas °C y del ambiente °C

P.P.M.V.

Presión en el interior del autotransformador

**MEDICION DEL PUNTO DE ROCIO EN EL INTERIOR DEL A.T.  
CON FLUJO DE NITROGENO**

HORA	TIEMPO MINUTOS	DEW POINT °C	TEMP. GAS °C	P.P.M. PRES. VAP. VOL.	TEMP. AMB. MICRONES Hg	°C
17:10	0	-48.6	23.8	35.20	47.88	21
17:15	5	-53.8	23.8	21.02	20.52	21
17:20	10	-55.6	23.7	17.99	15.96	21
17:25	15	-55.8	23.7	16.84	15.96	21
17:30	20	-58.0	23.7	16.47	13.68	21
17:35	25	-58.3	23.6	16.19	13.68	21
17:40	30	-58.3	23.6	15.55	13.68	21
<b>GAS ENTRAMPADO</b>						
17:46	5	-56.0	23.6	15.98	13.68	21
17:51	10	-58.0	23.6	15.98	13.68	21
17:56	15	-55.8	23.6	16.09	15.96	21

TABLA 1.2.1

Cálculo de presión de vapor de H<sub>2</sub>O (micrones Hg): Aplicando la Norma ASTM D2029

[ Dew Point medido VS. volumen % ] / [ 100 x 760 x 1000 ] = Micrones de Hg

Ejemplo:

$$-46.6 \text{ para cálculo} = -46 = 0.0063 / 100 \times 760 \times 1000 = 47.88 \text{ Micrones Hg.}$$

Se observa equilibrio en la presión de vapor de H<sup>2</sup>O y con una temperatura del gas casi constante por lo tanto se consideran los siguientes datos para determinar el % de Humedad residual:

$$\text{Presión de Vapor de H}_2\text{O} = 13 \text{ MHg}$$

$$\text{Temperatura del gas} = 23 \text{ }^\circ\text{C}$$

De acuerdo a las gráficas de Piper.

$$\% \text{ H.R.} = 0.020 \%$$

#### DESCONEXION DE LOS CAMBIADORES DE TENSION POR EL LADO DE BAJA

El autotransformador cuenta en su lado de baja tensión con un cambiador automático bajo carga y éste se encuentra en la parte intermedia entre la bobina y la boquilla de b.t. Por su construcción delicada, se hace necesario darle cuidados muy estrictos para su transporte. Primeramente se desconectan las terminales bobina-cambiador, que son las que nos dan las diferentes relaciones. Para ello se encantan las puntas, tanto de uno y de otro lado y posteriormente se sujetan a los bastidores. Enseguida se desconectan la boquilla y se extrae. Se brida la entrada de boquilla, y se revisa lo siguiente: que no tenga ninguna anomalía en tornillos, roldanas tipo velder, guías bastidores, encintados; se procede a troquelar el cambiador y presurizar la caja una vez que se haya cerrado la entrada de hombre y que sea desacoplada del tanque principal.

## PREPARACION INTERIOR

Primeramente se efectúa un levantamiento interno de acuerdo a planos, de armado de la parte viva, acotamientos, distancias y conexiones. Se procede a desconectar boquillas de alta tensión y se extraen se sujetan guías a bobinas para cada fase. Se efectúan revisión general del núcleo, bobinas, herrajes, soportes y aislamientos. Además se efectuó la revisión de:

- guía de conexión de HoXo.
- barras y aislamientos.
- distancia a tierra y conectores para las boquillas del terciario.

Se pintaron marcas testigos para después comparar en la revisión a su llegada a la subestación, con el fin de detectar posibles desplazamientos ocasionados durante el transporte.

Por último una revisión para ver que no queden objetos extraños, como herramientas, trapos, etc., y limpieza interior general, para posteriormente comenzar con el proceso de secado final (vacío).

Previamente al llenado del transformador con aceite aislante, se sometió a un tratamiento preliminar con alto vacío, para eliminar la humedad que se haya absorbido durante las maniobras de Inspección y armado, interno. El tanque principal, radiadores o enfriadores, tanque conservador, tuberías y accesorios, son incluidos parcialmente.

Después de probar fugas en el autotransformador, se procede a la expulsión del aire o nitrógeno a la atmósfera hasta disminuir su presión hasta cero, continuando con la evacuación por medio de una bomba vacía, hasta lograr dentro del autotransformador una presión absoluta de 1 mm Hg o menor negativa.

Básicamente este es el procedimiento\* seguido; para ello se hizo necesario tomar en cuenta los datos siguientes:

Inicio de vacío (cierre de válvula de entrada o absorción de vacío).

Lecturas cada hora de los Microvac Hastings y del Panametric System II.

Lecturas del Microvac McIaw. (presión en micrones).

Durante el proceso se obtuvieron los resultados siguientes a través de efectuar pruebas de abatimiento (3). Dicha prueba consiste en interrumpir el proceso de vacío momentáneamente, se cierra la válvula de absorción de vacío (que se encuentra entre el tanque principal y la bomba de vacío) sin que se pare en ningún momento la bomba de vacío en un lapso de tiempo de aproximadamente 30 a 40 minutos. Durante este período se toman cada cinco minutos las lecturas de los parámetros que se indican en las tablas 1.2.2, 3 y 4, para posteriormente restablecer, abriendo la válvula antes descrita.

Esta prueba de abatimiento es una forma de valorar las condiciones de humedad que tiene hasta el momento en que se efectúa la prueba en el interior del tanque que se encuentra en proceso de secado. La presión absoluta del autotransformador es originada por el movimiento molecular de un gas, en este caso vapor de agua desprendido por los aislamientos, con la medición de esta presión y la temperatura de los devanados se puede determinar el % de humedad residual que se contiene en los aislamientos, auxiliándonos de las gráficas de Piper (ver apéndice II).

Esta prueba se realizó una vez que se tenía un valor estable en los aparatos de medición. A continuación se presentan las tablas obtenidas durante cada una de las tres pruebas de

---

\* Proceso de vacío, se describe detalladamente en el apéndice II.

abatimiento efectuadas.

PRIMERA PRUEBA DE ABATIMIENTO (AUTOTRANSFORMADOR EN VACIO)

HORA	TIEMPO (MINUTOS)	SYSTEM II			PRES. VAP (MICRONES Hg)	HASTING MICRONES	TEMP. AMBIENTE °C
		D.P. °C	TEMP. GAS °C	P.P.M.V.			
11:30	0	-44.3	26.4	76.52	60.8	123	28
11:31	1	-44.3	26.4	76.52	60.8	125	28
11:32	2	-44.3	26.5	76.52	60.8	130	28
11:37	7	-44.3	26.6	76.52	60.8	140	28
11:42	12	-43.1	26.7	88.12	68.4	157	28.5
11:47	17	-43.1	26.8	88.12	68.4	173	28.5
11:52	22	-43.1	26.8	88.12	68.4	187	28.5
11:57	27	-41.8	27.0	102.3	77.5	200	29.0
12:02	32	-41.8	27.1	102.3	77.5	215	29

TABLA 1.2.2

A las 11:30 se cerraron las válvulas del sistema de vacío.

A las 12:02 se abren válvulas, restableciendo el proceso de vacío.

Tiempo de recuperación del Microvac tipo Hasting de 215 Micrones a 123 Micrones = 24 minutos.

Pérdida de vacío en 32 minutos, según Microvac Hasting = 92 Micrones.

Datos para determinar el % H. Residual:

Dew Point. =  $-42^{\circ}\text{C}$  = 77.5 micrones.

Temperatura del gas =  $27^{\circ}\text{C}$

De acuerdo con las gráficas de Piper:      % H.R. = 0.45

Microvac Hasting = 0.8 %

## SEGUNDA PRUEBA DE ABATIMIENTO AUTOTRANSFORMADOR EN VACIO

HORA	TIEMPO (MINUTOS)	PANAMETRIC SYSTEMS II			PRES. VAP H <sub>2</sub> O MICRONES	MICRO HASTING MICRONES	TEMP. AMBIENTE °C
		D.P.	TEMP. GAS	P.P.M.V.			
		°C	°C				
16:17	0	-62.3	30.9	7.695	6.08	70	29
16:22	5	-62.3	30.8	7.695	6.08	82	29
16:27	10	-60.8	30.8	9.430	6.99	93	29
16:32	15	-60.8	30.8	9.430	6.99	100	29
16:37	20	-60.8	30.8	9.430	6.99	111	29.5
16:42	25	-60.8	30.7	9.430	6.99	121	29.5
16:47	30	-60.8	30.6	9.430	6.99	130	29.5
Se restablece vacío a las 16:48 horas							
16:53	5	-60.8	30.5	9.430	6.99	95	29.5
16:58	10	-60.8	30.3	9.430	6.99	82	29
17:03	15	-60.8	30.2	9.430	6.99	76	29
17:08	20	-60.8	30.1	7.695	6.99	73	29
17:13	25	-62.3	30.0	7.695	6.08	72	29
17:18	30	-62.3	30.0	7.695	6.08	72	29

TABLA 1.2.3

Pérdida de vacío Microvac Hasting en 30 minutos = 60 micrones

Recuperación al restablecer vacío, 30 minutos.

Presión de Vapor H<sub>2</sub>O ó equilibrado = 6.99

Temperatura de gas equilibrado = 30.1 °C

% Humedad Residual = menor 0.1

## TERCERA PRUEBA DE ABATIMIENTO, AUTOTRANSFORMADOR EN VACIO

HORA	TIEMPO (MINUTOS)	PANAMETRIC SYSTEM II			PRES. VAP	MICRO	TEMP.
		D.P. °C	TEMP. GAS °C	P.P.M.V.	H <sup>2</sup> O MICRONES	HASTING MICRONES	AMBIENTE °C
13:05	0	-45.6	33.3	65.57	47.88	95	32
13:10	5	-45.6	33.3	65.67	47.88	104	32
13:15	10	-45.6	33.3	65.67	47.88	112	32
13:20	15	-45.6	33.3	65.67	47.88	118	32
13:25	20	-45.6	33.3	65.57	47.88	123	32
13:30	25	-45.6	33.3	65.57	47.88	130	32
13:35	30	-45.6	33.2	65.57	60.80	137	32
Se restablece vacío a las 15:36 horas							
13:41	5	-45.6	33.1	65.57	47.88	112	32
13:46	10	-45.6	33.0	65.57	47.88	103	32
13:51	15	-45.6	32.9	65.57	47.88	99	32
13:56	20	-45.6	32.9	65.42	47.88	98	32

TABLA 1.2.4

Prueba de hermeticidad al Microvac tipo Hasting, partiendo de 90 micrones en 20 segundos bajo a 1000 micrones; en un minuto llegó a una atmósfera.

Presión de vapor equilibrada = 47.88 micrones

Temperatura de gas equilibrada = 33 °C

% Humedad residual = 0.24

De estos resultados se tomó la determinación que el autotransformador se encuentra seco por lo cual se para el proceso de vacío; las últimas lecturas antes de comenzar a romper el vacío con nitrógeno de alta pureza fueron:

DEW POINT	TEMP. GAS	PPMV	M. HASTING	TEMP. AMB.
-43	25 °C	64.8	68.7 micrones	32 °C

Una vez que se han tomado las lecturas finales, se procede a cerrar la válvula de absorción de vacío y posteriormente a la bomba.

El paso siguiente fue de romper el vacío interno del tanque mediante la inyección de nitrógeno de alta pureza, hasta llevarlo a una presión positiva de 5 Lb/pulg.<sup>2</sup>. Previamente estos cilindros fueron probados (se midió % de H.R.) y después se tomaron los tiempos de inicio y fin de descarga de cada uno, tal como aparece en la tabla 1.2.5

CILINDRO	LOTE No.	D.P. °C	TEMP. GAS °C	P.P.M.V.	PRESION PSI	INICIA	TERMINA
1	7983	-67.0	23.7	2.968	2200	18:45	19:05
2	7833	-64.5	25.0	4.234	2400	19:06	19:48
3	7841	-64.8	27.8	4.063	2500	17:57	18:18
4	7838	-65.2	27.8	3.838	2250	19:04	19:35
5	7914	-63.6	26.5	4.803	2400	17:01	17:25
6	7805	-65.0	27.8	4.008	2520	18:15	18:47
7	7899	-63.5	27.3	4.612	2350	17:27	17:50
8	7986	-63.5	27.6	4.869	2200	18:15	18:38
9	7913	-63.5	27.7	4.803	2200	18:36	17:00
10	7927	-63.6	27.9	4.803	2350	17:52	18:14
11	7895	-63.6	28.0	4.678	2300	19:46	20:04
12	7614	-64.0	28.1	4.612	2300	18:39	19:03
13	7712	-63.6	28.2	4.803	2500	17:00	17:32
14	7817	-63.5	28.3	4.803	2400	18:19	18:43
15	7920	-63.5	28.2	4.678	2400	17:33	17:56
16	7706	-64.2	28.1	4.418	2220	18:15	18:35
17	7840	-64.8	27.9	3.783	2500	18:48	17:09

TABLA 1.2.5

D.P. 1091.80

DEW POINT PROMEDIO =  $\frac{\quad}{\quad} = \frac{\quad}{\quad} = -64.22$ 

17

17

$$\text{TEMPERATURA DE GAS PROMEDIO} = \frac{465.9}{17} = 27.4$$

PRESION DE VAPOR DE H<sub>2</sub>O = 4.63 Micrones Hg

% HUMEDAD RESIDUAL (H.R.) = 0.1

Una vez que se ha alcanzado la presión de cinco libras por pulgada cuadrada con nitrógeno de alta pureza, se dejó reposar por 24 horas como mínimo antes de efectuar la prueba de medición del punto de rocío para posteriormente calcular el % de Humedad residual y así poder determinar el grado de sequedad del autotransformador. El tiempo que se dejó reposar es de acuerdo a las recomendaciones de los manuales de la materia en cuestión ya que es el tiempo en que se estabiliza la atmósfera interna.

Para desarrollar la prueba se tomaron en cuenta las consideraciones siguientes:

- Primero se verificó la presión interna del tanque, observar que no se haya perdido en el tiempo de reposo.
- Se revisaron los sellos instalados por nuestro personal de laboratorio que se colocaron una vez que se terminó de presurizar, esto se hizo con la intención de que no hubiesen alteraciones en el interior y lograr así que la prueba sea bedigna.
- Verificar que la temperatura ambiente no fuera muy extremosa durante la prueba.

MEDICION DEL PUNTO DE ROCIO.- Es importante aclarar que esta prueba se realizó después de haber sometido el tanque del autotransformador a un proceso de vacío continuo (10 días), y aunque se realiza en la misma forma en que se describió anteriormente no es lo

mismo, ya que la primera se hizo, luego del drenado de aceite y las revisiones internas, y la segunda para determinar la salida de la fábrica.

Utilizando el Panametric System II se fueron tomando las lecturas de los diferentes parámetros tal como se indica en la tabla 1.2.6

En esta tabla se puede apreciar los parámetros necesarios para el cálculo del % H.R., y enseguida se muestra la forma en que se obtiene el valor deseado, auxiliándose de las gráficas de Piper (ver apéndice II).

TABLA No. 1.2.6 MEDICION DEL PUNTO DE ROCIO

HORA	TIEMPO (MINUTOS)	D.P. [°C]	TEMP. GAS [°C]	P.P.M.V.	PRES. VAP H <sub>2</sub> O [ ]	PRES. TRAFO P.S.I.	TEMP. AMB. [°C]
9:40	0	-55.0	16.3	15.20	15.96	5.3	15.5
9:45	5	-55.0	16.4	15.20	15.96	5.3	15.5
9:50	10	-55.0	16.6	15.20	15.96	5.3	15.5
9:55	15	-53.7	16.7	17.75	20.52	5.3	16.0
10:00	20	-53.7	16.9	17.75	20.52	5.3	16.0
10:05	25	-53.7	17.1	17.75	20.52	5.3	16.0
10:10	30	-53.7	17.2	17.75	20.52	5.3	16.3
<b>CON FLUJO DE NITROGENO</b>							
10:16	5	-53.7	17.4	17.75	20.52	5.3	16.5
10:21	10	-53.7	17.5	17.75	20.52	5.3	16.5
10:26	15	-52.2	17.6	21.49	22.80	5.3	16.5
10:31	20	-52.2	17.7	21.49	22.80	5.3	16.0
10:36	25	-52.3	17.8	21.26	22.80	5.3	16.0
10:41	30	-52.3	17.8	21.26	22.80	5.3	16.0
<b>NITROGENO ENTRAMPADO</b>							
10:47	5	-52.3	17.8	21.26	22.80	5.3	16.0
10:52	10	-52.3	17.9	21.26	22.80	5.3	16.0
10:57	15	-52.3	18.1	21.20	22.80	5.3	16.0

Datos considerados para determinar el % de Humedad Residual.

Punto de rocío = -52.3

Presión de Vapor de  $H_2O$  = 22.8

Temperatura del gas = 17.8

De acuerdo a las gráficas de Piper % H.R. = 0.36

De aquí que se concluye que el autotransformador está seco y por ende se encuentra en condiciones de enviarse a la S.E. San Bernabé.

### 1.3 PRUEBAS EN FABRICA

En el presente trabajo sólo se mencionan en forma sintetizada las pruebas de diseño que efectúa el fabricante en base a lo que exigen las Normas ANSI, CCONNIE y NEMA, y que por cuestiones propias del fabricante no se realizaron en presencia de nosotros (Depto. de Construcción) y que solamente se concreta a dar la garantía. Pero de alguna forma considero es necesario presentar para indicar la importancia y objetivo de cada una de ellas, en forma sencilla.

- Resistencia de aislamiento.- La finalidad de esta prueba es la de conocer la resistencia de aislamiento de los devanados entre sí y con respecto a tierra.
- Factor de potencia del aislamiento del conjunto.- Su objetivo concreto de esta prueba es la de conocer la calidad y el grado de sequedad de los aislamientos del autotransformador.
- Rigidez dieléctrica.- Aunque el aceite utilizado durante las pruebas en la fábrica no es el mismo que se utilizará para el funcionamiento, se le aplica ésta, para conocer el valor promedio de tensión a la que ocurre la ruptura dieléctrica del aceite.
- Relación de transformación.- Esta determina e indica que el número de vueltas en cada devanado sea el indicado en todas sus derivaciones, así como la correcta conexión de los mismos. Se verifican contra la placa de datos.
- Medición de resistencia óhmica.- Se encarga de verificar la continuidad de todas las conexiones internas de los devanados y para poder obtener los valores de las pérdidas P<sub>R</sub>.
- Tensión aplicada.- Se realiza para probar los aislamientos entre devanados y entre los devanados y tierra. Primeramente se alimenta una cuarta parte de la tensión nominal y se va incrementando hasta alcanzar su valor total en un tiempo no mayor de 15 segundos, por espacio de un minuto, para posteriormente reducir paulatinamente la tensión, sin exceder 5 segundos.
- Tensión inducida.- Esta se encarga de verificar el aislamiento entre vueltas del

autotransformador. Durante esta prueba se incrementan los volts por vuelta del transformador, elevando a su vez la frecuencia, para limitar la densidad de flujo en el núcleo (aprox. ó el 200% del voltaje nominal).

- Pérdidas sin carga y determinación de la corriente de excitación.- Tienen como objeto determinar las pérdidas por histéresis y corrientes parásitas en el núcleo del transformador, así como medir la corriente necesaria para establecer el flujo magnético necesario para Inducir  $V_n$ .
- Pérdidas e impedancia debida a la carga.- Principalmente se trata en determinar las pérdidas en los devanados y conocer el voltaje de impedancia. Esta tensión comprende una componente resistiva efectiva, que corresponde a las pérdidas de carga y una componente reactiva, correspondiente al flujo disperso de los devanados.
- Hermeticidad.- Esta prueba garantiza la hermeticidad del autotransformador para evitar la entrada de humedad y las fugas de aceite.



Una vez que se dieron por concluidas las pruebas efectuadas a el autotransformador en conjunto, se procedió a desmontar cada uno de los accesorios diferentes: indicadores, termómetros, escalera, tubería de liga, banco de enfriamiento, etc. Poniendo mayor atención a el desmontaje de boquillas, cambiadores (torretas), con el fin de observar que durante los trabajos no se suscitarán anomalías, que pudiesen repercutir durante la instalación en San Bernabé.

Para continuar con el programa de trabajo se procedió a efectuar pruebas a las boquillas. Dando los resultados que aparecen en la tabla 1.3.1 .

También se probaron al azar ocho ventiladores su resistencia de aislamiento, aplicando 1000 volts durante un minuto.

88 V23	de	50,000 M	
88 V19	de	50,000 M	
88 V18	de	50,000 M	
88 V25	de	50,000 M	3 FASES VS. CARCAZA
88 V30	de	50,000 M	
88 V20	de	50,000 M	
88 V11	de	50,000 M	
88 V13	de	50,000 M	

Esta fue una forma aleatoria de checar el estado del aislamiento de los motores de los ventiladores, que forman parte de los grupos FOA 1 y FOA 2.

**PINTURA.**- Antes de que se enviara el autotransformador a la subestación, se sometió a una limpieza en todas sus partes exteriores, utilizando manta de algodón humedecida con

## RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EFECTUADAS A BOQUILLAS

DEVANADO	BOQUILLA	No. SERIE	MARCA	TENSION NOMINAL	CORRIENTE NOMINAL	% F.P.	RES. AISL.	OBSERVACIONES
ALTA TENSION	H <sub>1</sub>	C 1478	HAEFELY	400 KV	1000 AMPS.	0.31	20000 M.Ω	
	H <sub>2</sub>	C 1480	"	"	"	0.41	"	
	H <sub>3</sub>	C 1477	"	"	"	0.36	"	
BAJA TENSION	X <sub>1</sub>	C 1493	"	230 KV	1116 AMPS.	0.21	"	
	X <sub>2</sub>	C 1890	"	"	"	0.28	"	
	X <sub>3</sub>	C 1494	"	"	"	0.33	"	
TERCIARIO	Y <sub>1</sub>	85-32671	LAPP INSUL.	34.5 KV	4000 AMPS.	0.29	"	
	Y <sub>2</sub>	85-32662	"	"	"	0.51	"	
	Y <sub>3</sub>	85-32666	"	"	"	0.33	"	
NEUTRO	H <sub>0</sub> X <sub>0</sub>	83-77966	"	"	1200 AMPS.	0.78	"	

NOTA: Los valores son dados, habiendose corregido a una temperatura de 20 °C .

TABLA 1.3.1

alcohol industrial y cepillando las partes oxidadas para después aplicar una capa de pintura, y de esta forma protegerlo de el medio ambiente.

Una vez que secó la pintura, enseguida se marcaron los centros de gravedad y de carga, de tal modo que facilitaran la identificación durante las maniobras de carga, transporte y descarga, tomando como base las indicaciones de los planos de diseño.

**ACABADO EXTERIOR.**- Como parte fundamental se revisaron detalles de acabado, de los cuales enumeramos los más importantes a continuación:

- Se revisaron válvulas; de drenado, de paso y de interconexión, que no estuviesen pegadas, posición correcta y con seguros.
- Revisión de bridas; se observó que fueran de la medida adecuada y que no hubiesen deformaciones, con todos sus tornillos o birlos de sujeción completos.
- Retiro de Gabinetes y Tubería Condwit.- Se constató que se efectuarán las maniobras adecuadas a la hora de desmontar los gabinetes de su lugar que ocupaban en el autotransformador durante sus pruebas, así como también la tubería que converge a ellos y la de liga.

**CAJA DE CAMBIADORES DE B.T.** .- Como se mencionó anteriormente se desacoplaron las torretas de baja tensión. Estas cajas llevan en su interior los cambiadores bajo carga, los que por su complejidad se les da un trato especial, para su embarque se hace necesario que sean troquelados, de tal manera que deban de quedar bien fijos y no exista posibles desajustes durante el transporte. Previamente se revisaron los siguientes aspectos:

- Se verificaron las cuerdas de las guías, el encintado y sujeción de las mismas.

- Se observó que la tornillería, aislamientos del ruptor\* se encontrarán en buen estado.
- Además se revisó que los tres cambiadores estuvieran en la misma posición y que la cuba\* de cada uno de ellos estuviera en la posición adecuada de tal forma que las presiones en el cambiador como en la torreta se conserven equilibradas.

---

\* En el capítulo III se explicará detalladamente la función del cambiador y sus partes principales.

#### 1.4 PREPARATIVOS DE EMBARQUE

Como parte final de la recepción en fábrica y de nuestro programa de trabajo llegó el momento de embarcar el autotransformador en forma seccionada; primero la pieza más pesada: tanque principal y en segundo término los demás accesorios de acuerdo a las necesidades de montaje en campo, con la finalidad de evitar aglomeraciones y reducción de espacio.

Para comenzar, se comentó con el transportista, en presencia del fabricante, la forma en que efectuarían las maniobras de carga y descarga, en fábrica y en la S.E. San Bernabé respectivamente, para hacerles de su conocimiento la necesidad de darle la orientación adecuada al autotransformador de tal forma que no se complicarán las maniobras en el momento de ascenderlo en su base definitiva, ya que su peso es de considerarse.

También se llegó al acuerdo de que se instalasen los registradores de impacto\*, de nosotros (LYF) y de PROLEC, a partir del momento en que se iniciarán las maniobras de carga. Así, como que se ejecutarán en diferentes puntos del recorrido, las pruebas que se consideren pertinentes para monitorear el estado interno y externo del Autotransformador.

A continuación se mencionan los aspectos más importantes que se revisaron durante el embarque.

Una vez que se ha recibido el autotransformador se procedió a elaborar un reporte general de todo lo observado durante la recepción. Posteriormente se elaboró un llenado de reportes

---

\* Este equipo es utilizado para medir el grado de movimiento al que se somete el cuerpo u objeto al que se la instala.

(Ver apéndice II)

con todos los detalles considerados como importante que servirá en un momento determinado para la toma de decisiones para el armado en campo.



**Prueba de aislamiento al núcleo.-** Esta prueba nos permite conocer por comparación si durante el manejo en fábrica no sufrió impactos el equipo, que pudieron ocasionar daños internamente, como un desplazamiento de bobinas, etc.

**Protocolo de pruebas.-** Se revisaron la bitácora y el protocolo de pruebas, para conocer los resultados de todas las pruebas eléctricas que marcan las normas nacionales e internacionales y/o especificaciones del cliente (LYF), a las que fue sometido el equipo en la fábrica.

**Listado de empaques.-** Durante la recepción fue de gran ayuda contar con un listado completo y bien claro con las especificaciones para cada uno de los empaques de los diversos accesorios. En este se describe las dimensiones y lugar en el que se colocarán durante el

armado. Este listado fue proporcionado por el fabricante, y que posteriormente se revisará físicamente y al detalle uno a uno, que deberán corresponder de acuerdo a los planos de diseño.

**Manómetro.-** Mientras es preparado el autotransformador para su embarque (se desensamblan accesorios como: tanque conservador, radiadores, indicadores, etc.), se hace necesario mantener el tanque principal presurizado, para ello se utiliza nitrógeno de alta pureza, y así permanece hasta su llegada a la S.E. San Bernabé. Es aquí que se necesita con un instrumento que mida directamente la cantidad de presión existente en el interior del tanque, por lo que utilizamos un manómetro.

Se verifica que éste sea con carátula clara y con escala de 0 a 1 Kg/cm<sup>2</sup> ó equivalente. Este instrumento nos permitirá conocer si durante el almacenaje ó trayecto se pierde presión, detectar rápidamente la existencia de posibles fugas, y que también nos servirá durante todas las etapas de armado en campo.

Para nuestro caso se utilizó para el trayecto el mismo que viene integrado en el equipo inerte propio del autotransformador.

**Equipo inerte.-** Este equipo es parte del autotransformador y sirve para eliminar el oxígeno y la humedad en el interior del tanque principal. Se revisó que se encontrara en condiciones favorables; bien ajustado y probado, y con todos sus componentes: reguladores de baja y alta, cilindro de nitrógeno, válvulas, manómetro y contactos de alarma.

**Plano e Información técnica.-** El fabricante nos hizo entrega de todo el juego de planos, un instructivo de montaje y algunos folletos con información de instrumentos, accesorios, indicadores, etc., que componen el autotransformador que facilitarán y ayudarán a resolver los problemas que se puedan presentar durante el armado en campo.

Aunado a lo anterior se solicitaron los listados de los accesorios para así, constatar su envío correcto. En dicho listado se consideraban anotar lo siguiente: No. de caja, descripción de lo(s) embarcado, No. de plano de referencia, cantidad y No. de serie. Y que cada una de las cajas lleve el número que corresponda a lo que lleva en su interior, según listado.

Llegado el momento del embarque de la pieza más pesada, se instalaron los registradores de impacto, ante la presencia del transportista, el fabricante, el representante de la compañía aseguradora y nosotros el inicio de marcaje de los impactógrafos y se firmó, anotando la hora, presión y temperatura ambiente, así como la fecha. Enseguida se procedió a colocar candados y seguros con sellos de plomo para evitar que sean alterados durante el recorrido, y que los valores registrados sean los correctos para saber el grado de movimiento y que pueda ser determinante para tener la seguridad de que no sufrió ninguna alteración en la parte interna del tanque principal.\*

Con referencia a los demás accesorios tales como boquillas, ventiladores, tubería, etc., se embarcan por separado en cajas numeradas e identificadas. Los accesorios como: radiadores, tanque conservador, tubos del banco de enfriamiento, entre otros se envían bridados y empaques en todas sus aberturas son enhuacalados evitando que sean estibados en más de dos.

Los accesorios misceláneos se enviaron en cajas forradas por plástico en el interior y además se envolvieron en bolsas de polietileno, bien protegidas y se le anexó una copia de acuerdo a los listados para facilitar su identificación allá en San Bernabé.

## **CAPITULO II**

### **TRANSPORTE Y RECEPCION EN CAMPO**

## 2.1 INICIO DE TRANSPORTE, CONSIDERACIONES

Para la selección del transporte, como es requerido por las leyes de Gobierno por tratarse de una empresa paraestatal, se sometió a concurso; en el que se solicitó que los aspirantes cumplieran con los requisitos marcados, los que se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Transporte eficiente, consistente en: equipo con la capacidad para realizar el transporte, de acuerdo a las características del mismo. Plataformas, grúas, carros piloto, personal capacitado y con alto grado de responsabilidad. Que ofreciera una ruta más corta y segura, con menos riesgos de posibles daños.
- Garantía de un buen servicio y cumplimiento con las fechas pactadas y gran seriedad.
- Sin problema de documentación o registros ante las dependencias gubernamentales correspondientes a su giro.

Este concurso se comenzó, durante los preparativos de embarque, publicándose en forma abierta en los diarios nacionales.

Una vez que entre los varios participantes que presentaron sus proyectos, y después de haber sometido a una exhaustiva revisión por parte de la Compañía de Luz y Fuerza, se determinó quien sería el Indicado para realizar el transporte, descarga y colocación en su base del autotransformador, en su pieza más pesada.

La compañía encargada fue "Luz Especializada", ya que reunió el mayor porcentaje de los requisitos marcados durante el concurso.

A continuación se exponen los datos técnicos presentados por el transportista:

**Equipo a utilizar:**

Una plataforma con dos cuellos de ganso con capacidad de 35 OT

**Segunda opción:**

Dos vigas especiales para carga.

**Equipo modular:**

Marca NICOLAS de fabricación francesa.

8 Ejes con 12 llantas por Eje, en la parte delantera.

8 Ejes con 12 llantas por Eje, en la parte trasera.

Con un total de 192 llantas Marca Michelin (750 x 15)

Cuatro tractores con capacidad para 125 Tons., c/u, llevando en la parte delantera tres tractores y en la parte trasera uno. Cada tractor con un lastre de 15 toneladas cada uno.

- Maniobras de carga en fábrica por cuenta del proveedor (fabricante) o de la CLYF.
- Maniobras de descarga en su base por cuenta del transportista.
- Los permisos oficiales se tramitarán por cuenta del transportista, estos son:  
Solicitud a la S.C.T. para el permiso correspondiente.  
Registro Federal de Contribuyentes de la SHCP.  
Cámara Nacional de Transportes y Comunicaciones.

### DATOS DE EMBARQUE DEL CUERPO MAS PESADO

LARGO	11.56	mts.
ANCHO	4.038	mts.
ALTURA	4.242	mts.
PESO	185000	Kgs.

### CONSIDERACIONES PARA EL TRANSPORTE

#### Máxima magnitud de impactos:

Aceleración Horizontal	menos de	1.5 G
Aceleración Vertical	menos de	.5 G

#### Máxima inclinación permisible:

La inclinación máxima permitida en el plano horizontal en los dos ejes es de 15°

El autotransformador será embarcado con una presión de nitrógeno o aire seco de 0.35 Kg/cm<sup>2</sup>

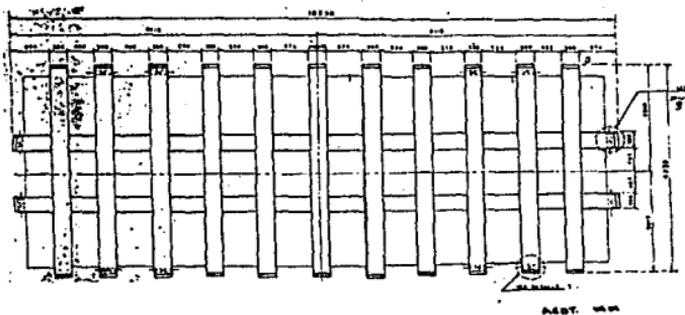
G - Aceleración de la gravedad

### NOTAS

- 1 Para efectos de carga del equipo debe de considerarse que por indicaciones del fabricante el transporte del autotransformador debe de ser soportado sobre toda su base, y bajo esta consideración no deberá flexionarse la base del autotransformador.
- 2 Para efectos de transporte se instalarán detectores de impactos y dos indicadores de

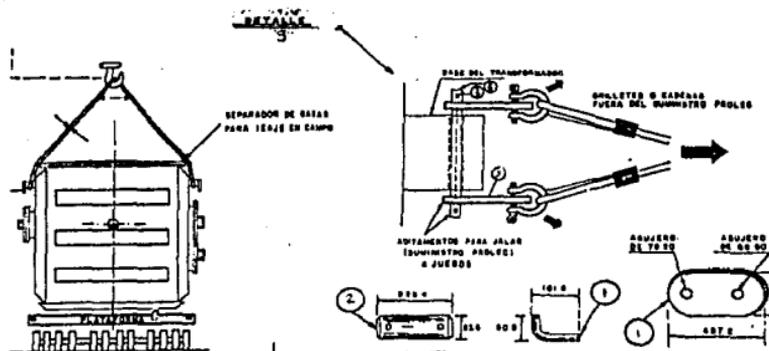
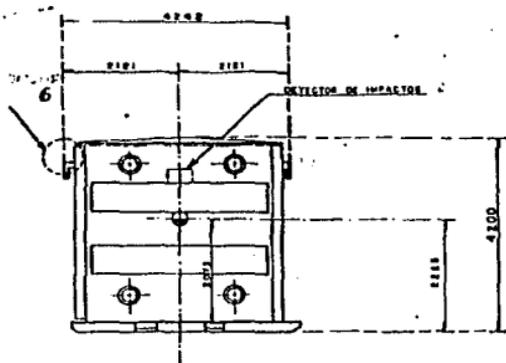
inclinación de acuerdo a lo que establezca el personal técnico de CLYF.

- 3 De no utilizarse grúas para su descarga, el autotransformador deberá de levantarse sobre la plataforma aproximadamente 1", para colocar placas de 1/2" de espesor para su deslizamiento hasta su lugar definitivo.
- 4 La altura de instalación del autotransformador, es del piso a su base de 90 cm.
- 5 La posición de la carga del equipo en la plataforma es tal que, el lado de 400 KV del autotransformador deberá ser orientado al lado oriente de la subestación (Ver plano No. 1761-28940, LYF).
- 6 Para levantar el autotransformador sólo se deberán utilizar los puntos de apoyo y las orejas de izaje.

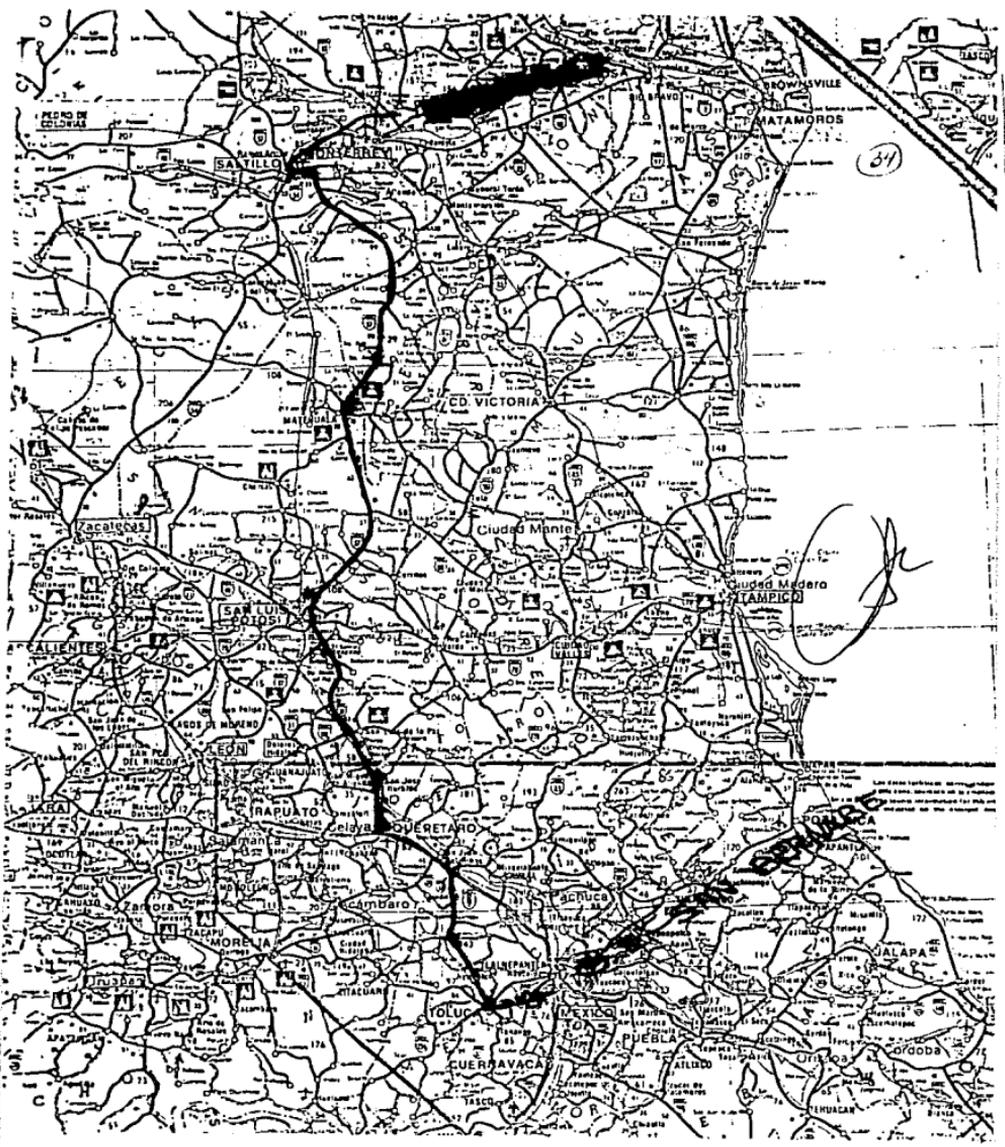


*Base del Autotransformador*





*Detalles importantes a considerar antes de embarcarse y transportarse. "B"*



RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EFECTUADAS A BOQUILLAS								
DEVANADO	BOQUILLA	No. SERIE	MARCA	TENSION NOMINAL	CORRIENTE NOMINAL	% F.P.	RES. AISL.	OBSERVACIONES
ALTA TENSION	H1	C 1478	HAEFELY	400 kv	1000 AMPS.	0.31	20000 M	
	H2	C 1480	*	*	*	0.41	*	
	H3	C 1477	*	*	*	0.36	*	
BAJA TENSION	X1	C 1493	*	230 KV	1116 AMPS.	0.21	*	
	X2	C1890	*	*	*	0.28	*	
	x3	C4194	*	*	*	0.33	*	
TERCIARIO	Y1	85-32671	LAPP INSUL.	34.5 KV	4000 AMPS.	0.29	*	
	Y2	85-32662	*	*	*	0.51	*	
	Y3	85-32666	*	*	*	0.33	*	
NEUTRO	H0X0	83-77966	*	*	1200 AMPS.	0.78	*	

NOTA. Los valores son dados, habiéndose corregido a una temperatura de 20#C.

TABLA 1.3.1

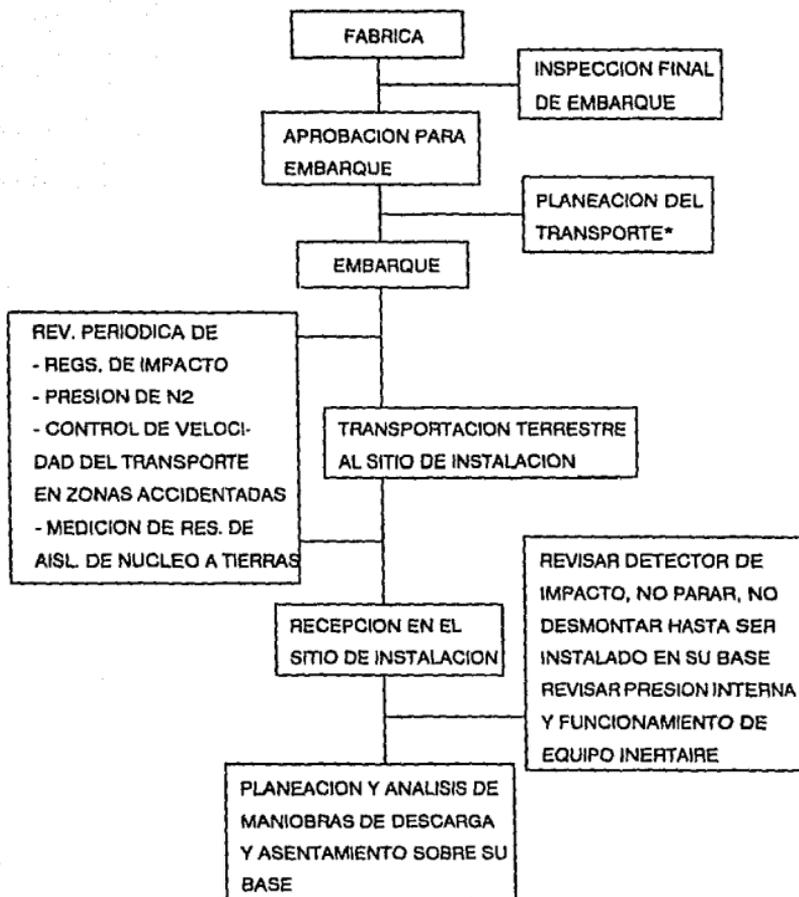


DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL TRANSPORTE

\* Incluye: documentación, capacidad de grúas, registradores de impacto, equipo inercial, características de equipos, forma de transporte.

Para iniciar con los preparativos del transporte, se celebró una reunión entre el fabricante, transportista, aseguradora y nosotros (LYF). En esta se hicieron los comentarios pertinentes y se detallaron los aspectos más relevantes a considerarse en el transporte, de donde se concluyó:

- 1.- Se fijó la ruta a seguir por el convoy, considerándose la más conveniente, por reunir las condiciones más apropiadas, (estado físico del terreno, evitar puentes, tránsito continuo, etc.)
- 2.- A partir del momento en que se embarque el autotransformador, el responsable será el transportista, hasta que llegue a su destino y se coloque sobre su base, permitiendo las revisiones que el cliente (LYF) y el fabricante determinen necesarias durante el trayecto.
- 3.- Cualquier anomalía se deberá notificar a la aseguradora, cliente y fabricante, inmediatamente a el suceso y detener el transporte, hasta que se determinado si puede o no continuar, dependiendo del daño causado al equipo.
- 4.- El cliente se compromete a desalojar y tener libre el camino de acceso y la base, para la fecha y hora de llegada de la plataforma en la S.E. San Bernabé.
- 5.- Una vez que haya llegado el autotransformador a la Subestación se realizará una revisión interna y pruebas eléctricas completas (Res. Aisl., Factor de Pot., etc.) además de la medición del punto de rocío. Estas se efectuarán en presencia del fabricante, aseguradora y transportista.



Posterior a la reunión se procede a comenzar con la instalación de los registradores de Impactos (LYF y PROLEC) en la parte frontal del tanque principal, enseguida se accionan y se sellan en presencia de: transportista, aseguradora y fabricante.

El embarque sobre la plataforma se realizó de la forma siguiente:

Utilizando las grúas viajeras de la misma fábrica, y colocando previamente las gasas de acero en los lugares indicados (ver datos técnicos del A.T.) se procede a subir el tanque principal sobre la plataforma, teniéndose cuidado de no golpearlo y de asentarlo correctamente, bien alineado con respecto a su centro de gravedad.

Posteriormente se pasó a efectuar la colocación de amarres para sujetarlo firmemente a la plataforma, por medio de cadanas, cables, tensores y grapas de acero.

Enseguida se realizó la última revisión en la fábrica antes de iniciar el viaje:

- Se verificó el buen funcionamiento de los registradores de impacto.
- Funcionamiento correcto del equipo inerteaire; reguladores de baja y alta presión, respectivamente, mangueras, válvulas y manómetros.
- Cilindros (2) con nitrógeno de alta pureza, llenos y sin fugas.
- El estado general de las paredes del tanque, así como superficie y amarres.
- Se realizaron pruebas de resistencia de aislamiento al Núcleo y herrajes.

NUCLEO	VS	TANQUE + TIERRA	120	MEGAOHMS
NUCLEO	VS	HERRAJE + TANQUE + TIERRA	140	"
NUCLEO + HERRAJES	VS	TANQUE + TIERRA	42	"
HERRAJES	VS	TANQUE + TIERRA	60	"
HERRAJES	VS	NUCLEO + TANQUE + TIERRA	60	"

- Por último se anotaron los parámetros:

P = 5.6 Lb/Pulg.<sup>2</sup> (interior del tanque)

T = 12°C (temperatura ambiente)

% H. Rel. = 75% (humedad relativa)

Pc = 200 Lb/Pulg.<sup>2</sup>(interior de los cilindros de nitrógeno)

Fecha de partida ; 23 de noviembre de 1989

Es así como llega el momento de iniciar el recorrido. Con respecto a los accesorios, empaques, tornillería y demás piezas del autotransformador, estas fueron enviadas escalonadamente y en común acuerdo a como se solicitarán en base al programa de trabajo de montaje en la Subestación. Por tratarse de piezas de menor peso y volumen estas se transportaron por medio de equipo de LYF.

## 2.2 REVISION DEL AUTOTRANSFORMADOR DURANTE EL TRAYECTO

Durante el recorrido del autotransformador en plataforma, en todo momento se mantuvo comunicación telefónica o por radio de onda corta, de modo que en caso de suceder algún percance que pudiera ocurrir, que afortunadamente no sucedió, tomar las medidas necesarias. De esta forma se decidió efectuar una revisión en viaje. El lugar elegido fue cuando la plataforma llegaba a la Ciudad de San Luis Potosí, procedente de Matehuala.

En la revisión se realizó una prueba de Resistencia de Aislamiento al núcleo y HERRAJES, dando los resultados siguientes:

		MEGGER MCA. GOSSON ELECTRONICO	MEGGER MCA. GOSSON MOTORIZADO
NUCLEO	VS TANQUE+TIERRA	120 MEGAOHMS	140 MEGAOHMS
NUCLEO	VS TAN.+TIERRA+HERRAJES	140 "	130 "
NUCL.+HERRA.	VS TANQUE+TIERRA	45 "	38 "
HERRAJES	VS TANQUE+TIERRA	60 "	56 "
HERRAJES	VS NUCL.+TANQUE+TIERRA	60 "	52 "

Temperatura ambiente = 6 °C

Humedad Relativa = 90 %

Presión en el interior del Autotransformador = 5.8 Lb/Pulg.<sup>2</sup>

Presión en los cilindros de N<sub>2</sub>, para c/u = 200 Lb/Pulg.<sup>2</sup>

En la revisión de los cilindros de nitrógeno se encontró que una de las mangueras se hallaba averiada, la que se sustituyó de inmediato.

Continuando con la revisión de esta etapa, se procedió a ver los registradores de impacto:

Fabricante (Prolec)	-	Sin marcas significativas
CLYF S.A.	-	Sin marcas significativas
Flexión en patines del autotransformador	-	Ninguna
Amarres flojos	-	Ninguno

De acuerdo a los resultados obtenidos se observó que el estado del autotransformador es adecuada, y considerando que la misma compañía transportista ya había anteriormente efectuado el traslado de una pieza idéntica (Unidad 308-02) y desde el mismo lugar se decidió que no sería necesaria ninguna revisión más, sólo en caso de que existiesen alguna anomalía durante la siguiente parte del recorrido, y que la próxima revisión se realizará hasta llegar a la subestación.

Se reinició el traslado, y permaneciendo con la comunicación constante. Mientras que por otro lado en la subestación, se hacían los preparativos correspondientes para recibir a la tercera unidad, despejando camino y base.

### 2.3 RECEPCION EN CAMPO ( SUBESTACION SAN BERNABE)

El día martes 5 de diciembre de 1989 hizo su arribo la plataforma con el tanque principal a la Subestación San Bernabé, sin anomalías. En la hoja siguiente se observa en las fotografías el momento en que va descendiendo la plataforma, hasta llegar a la base del Autotransformador.

Enseguida se procedió a revisar los siguientes puntos:

Presión en el interior del tanque 8 Lb/Pulg.<sup>2</sup>

Presión inerte en buen estado 200 Lb/Pulg.<sup>2</sup>

Equipo inerte en buen estado

Amarres y sujeciones; todos a la misma tensión y sin marcas de posibles desplazamientos.

Revisión de Impactógrafos:

Fabricante (PROLEC) sin marcas significativas

CLYF S.A. sin marcas significativas

No se efectuaron mediciones de Resistencia de Aislamiento al Núcleo y herrajes contra tierra, debido a mal tiempo (exceso de lluvia)

Posteriormente se realizó la prueba de Núcleo, una vez que se contó con la presencia del fabricante, con la finalidad de ver en que estado llegaron los elementos internos (Núcleo, bobina, aislamiento, herrajes, etc.), donde se obtuvieron los siguientes resultados:

		GOSSEN ELECTRONICO	GOSSEN MOTORIZADO
NUCLEO	VS TANQUE+TIERRA	2000 MEGAOHMS	2000 MOHMS
NUCLEO	VS TAN. +TIERRA+HERRAJES	2000 "	2000 "
NUCL. +HERRA.	VS TANQUE+TIERRA	2000 "	2000 "
HERRAJES	VS TANQUE+TIERRA	2000 "	2000 "
HERRAJES	VS NUCL.+TANQUE+TIERRA	2000 "	2000 "

$V_{prueba} = 1000 \text{ V.C.D.}$

Tiempo = 1 Minuto

Temperatura = 16 °C

Y de acuerdo a las normas de LYF, (Subger. eléctrica) los valores obtenidos caen dentro de los límites de acuerdo a las características del Autotransformador.

Con esta prueba se podía afirmar que las condiciones en que habían llegado el Autotransformador eran favorables y ya sólo restaba efectuar la revisión interna, la que se llevaría a cabo cuando quedara instalado en su base. Para continuar se efectúa la maniobra de descarga, no sin antes retirar amarres del tanque, desmontar equipo inerte. Para dejarlo en su base se utilizaron dos grúas con capacidad de 10C toneladas cada una, en forma paralela y en la posición adecuada cuidando el ángulo de giro con centro en la base (charola) del autotransformador. Previamente se toman las medidas de seguridad: Retiro de personal ajeno a la maniobra, limpieza general, paro de tráfico interno en la obra, sujeciones y amarres de izaje en estado correcto, al igual que la coordinación de las grúas. Una vez revisado lo anterior se procedió a ejecutar la descarga con éxito y sin contratiempos es necesario mencionar que la coordinación fue la pieza clave para lograrlo.

Al término de la colocación en su base se revisaron y retiraron los registradores de

impacto, no se encontró ninguna marca anormal. Se programó la revisión interna para el día siguiente.



#### Revisión interna

Como anteriormente se mencionó, esta revisión se hace obligatoria, ya que es de suma importancia conocer el estado interior de los componentes del autotransformador, y así determinar si existió o no algún desperfecto durante el transporte o en la descarga. A continuación se presenta en forma resumida las actividades realizadas, y que son básicas durante las revisiones a cualquier otro tipo de transformador.

Precauciones tomadas antes de realizar la apertura, para la revisión interna del Autotransformador:

- a) No deberá haber mal tiempo\* ; por medio de un higrómetro se mide la humedad relativa del ambiente, no deberá exceder del 60%
- b) Limpieza en el área de trabajo; entrada de hombre en la parte superior, mesa de trabajo, bridas que se destapan (a.t. y b.t.)
- c) Instalar bomba de vacío, posterior a la apertura es necesario realizar un vacío corto para extraer la humedad admitida en el interior, durante la revisión.
- d) Contar con un manómetro o manovacuómetro en la parte superior del tanque con la finalidad de llevar un control de presión positiva y negativa, según sea el caso.
- e) Revisar que se cuente con la herramienta necesaria y equipo, que deberá utilizarse para la revisión.

La revisión se desarrolló de la forma siguiente:

- 1.- Se selecciona la herramienta, ropa y equipo, que se introducirá al interior del tanque.
- 2.- Se abren válvulas para dejar escapar la presión hacia la atmósfera, hasta que ya no sale (mínima, casi cero)
- 3.- Se destapan las bridas de la entrada de hombre, y se permite la ventilación por media hora, con el fin de evitar posible intoxicación por inhalación de nitrógeno. Enseguida se cubren las entradas con plástico sujetadas con cinta de lino o jareta, a la vez que por la parte superior válvula (Fig. ), se inyecta aire seco.\*\*

---

\* A pesar de que es una consideración importante, por necesidades del trabajo, durante el montaje se tuvo que trabajar aún con valores superiores al mencionado por exceso de mal tiempo (Lluvia, nublados).

\*\* El aire seco se utilizó como forma de lograr un ambiente apropiado en el interior, ya que debido a las dimensiones se presentaban dificultades para la respiración, además de evitar la penetración de humedad.

- 4.- Se introduce el personal asignado para la revisión, con ropa apropiada y sin ningún objeto en sus bolsillos, muñecas, cuello, etc.  
Se revisan las marcas hechas en la revisión en fábrica, para saber si hubo desplazamiento en bobina, núcleo, herrajes, sujeciones, soportes y aislamientos.  
Verificar las guías de las conexiones de las boquillas.  
Desprendimiento de pintura u otros materiales.  
Limpieza general, que no existan, ni se dejen objetos extraños.
- 5.- Terminada la revisión se procede a salir el personal, no sin antes de revisar que no quede nada de lo que entró, es para la inyección de aire seco.
- 6.- Una vez corroborado que no ha quedado nada adentro se cierran las bridas de todas las partes en que se abrió.
- 7.- Ya cerrado y apretado (tornillería), se comienza a inyectar nitrógeno hasta alcanzar un valor de 4Lb/Pulg.<sup>2</sup>, con el fin de detectar posibles fugas y si las hay corregirlas; por medio de jabonadura, por otro lado se enciende la bomba de vacío; ya revisado de que no existan fugas, se abren válvulas para dejar escapar la presión de nitrógeno, al llegar a cero presión positiva, se cierra la válvula y se abre la válvula del sistema de vacío en forma paulatina, para evitar un esfuerzo brusco de la máquina.
- 8.- Al cabo de 24 horas de vacío, se para el proceso y ahora se comienza a inyectar aire seco de alta pureza hasta alcanzar una presión positiva de 3Lb/Pulg.<sup>2</sup>. Se inyecta aire seco debido a que se iniciará el montaje interno, de tal forma que se tendrá una atmósfera apropiada y a la vez se mantendrá con presión al autotransformador.

Es aquí que después de la revisión ya se da el visto bueno del tanque, y a partir de esto ya es trabajo de la CLYF S.A. (CONSTRUCCION), su montaje, instalación y puesta en servicio.

Con respecto a los demás accesorios, estos se fueron recibiendo en el orden siguiente; y en acuerdo a como se requirieron para su montaje:

- Cajas de B.T. [Torretas, en su interior llevan un cambiador de derivaciones cada una (3)]
- Cajas de A.T. [Torretas de alta tensión (3)]
- Boquillas de A.T. (3), B.T. (3), Terciario (3), y neutro (3)
- Cajas con tornillería para cada accesorio (varias)
- Cajas con empaques nuevos para sustituir los embarcados en los accesorios, (varios)
- Bancos de enfriamiento: formado por un tanque conservador, 26 radiadores, soportes, cabezales, tornillería y empaques.
- Accesorios misceláneos: Indicadores, termómetros, válvulas de sobrepresión, tubería de cobre, etc.

Todo esto se fue recibiendo con su lista de embarque, y como se mencionará en el capítulo siguiente se revisó cuidadosamente cada uno de ellos y en caso de que no se cumpliera con lo estipulado se regresaba.



### **CAPITULO III**

#### **ARMADO, MONTAJE E INSTALACION**

### 3.1 ARMADO INTERNO

Este tema reviste gran importancia debido a la complejidad de las actividades que se desarrollan, de aquí la necesidad de dividirlo en tres subtemas que abarcan los trabajos realizados en el interior del autotransformador, que se realizaron en diez aperturas.

Previamente al desarrollo de las actividades se requirió contar con los medios necesarios:

- Herramienta necesaria y suficiente, para cada una de las aperturas.
- Material indispensable para la limpieza, acabados y trabajos diversos en el interior.
- Equipo necesario para las actividades; Sistema de vacío (Unidades de tratamiento), reguladores para nitrógeno y aire seco, mangueras, ropa del personal, manovacuómetros, grúa, camioneta, etc.
- Personal. En este sentido se tuvo bastante cuidado al seleccionarlo para los trabajos que se desarrollarían en el exterior, pero principalmente en el interior por la gran importancia, si se considera lo delicado, incómodo y preciso con que se efectúa. Además se les dio una amplia explicación del trabajo que le correspondería realizar e indicándole la importancia de su trabajo para cumplir con el objetivo.

Antes de pasar a ver los subtemas es necesario mencionar los aspectos siguientes, que se realizaron en cada una de las aperturas y que para no hacerlo repetitivo lo mencionaremos desde un principio.

Antes de iniciar la revisión interna, deberá evacuarse el nitrógeno y permitir la ventilación por un tiempo mínimo de media hora.

El personal que se encarga deberá ir cubierto con gorro, cubre boca, polainas de tela y

ropa adecuada; sin llevar nada en los bolsillos, ni relojes, pulsera, anillos, nada de objetos metálicos que puedan caerse en el interior y ocasionen problemas.

El manejo de tornillería y herramienta debe de hacerse de acuerdo a ciertas reglas:

- a) Hacer un listado de la tornillería y herramienta utilizada, que entra al interior.
- b) Asegurar bien la herramienta (sujetarla con cinta de lino, por la parte exterior) que entra o por la necesidad sujetarla en partes visibles en el interior del tanque.
- c) Al terminar el trabajo y antes de cerrar el tanque, debe confrontarse, el listado de lo que entró contra lo que salió y se instaló, para evitar que cualquier objeto ajeno sea olvidado, lo que provoque una falla grave al ser puesto en operación el autotransformador.

Terminada la revisión se procede a cerrar las entradas y lugares abiertos, para posteriormente presurizar con nitrógeno de alta pureza, hasta alcanzar un valor mínimo de 4 Lb/Pulg.<sup>2</sup>, y se procede a verificar si existen fugas, se corrigen si las hay. A continuación, ya que se ha comprobado la hermeticidad del tanque, se tira la presión hasta llegar a 0 Lb/Pulg.<sup>2</sup> y así comenzar con un proceso de vacío por período mínimo de 24 horas. Previamente se ha instalado el sistema de vacío; Enseguida se presuriza con aire seco de alta pureza, para tenerlo listo en la siguiente apertura.

**\*NOTA:** En cada apertura se hace necesario efectuar vacío, para poder disipar la humedad captada durante la misma.

### 3.1.1 CONEXION DE GUIAS DE BAJA TENSION DEL CAMBIADOR DE DERIVACIONES

Para iniciar la primera apertura previamente se hicieron los preparativos necesarios para comenzar:

- Se instala mesa de trabajo, en la que se contaba con la herramienta, equipo menor y materiales que se utilizarían.
- Se abre la válvula, que se observa en la fig. , para tirar (desalojar) el aire seco con que se presurizó después de la revisión que se efectuó cuando llegó el autotransformador, y poder retirar las bridas de las entradas, y a la vez, instalar las torretas.

Para iniciar con el armado interno del autotransformador se comenzó montando las torretas de baja tensión, éstas son compartimientos, cajas, en donde van alojados los cambiadores de derivación bajo carga y sirven de base para las boquillas. Son tres: fase  $X_1$ , fase  $X_2$ , y fase  $X_3$ , que por necesidades del transporte y cuidados del equipo se desmontaron del tanque principal y se enviaron por separadas.

Primero se colocaron gasas a la caja, mientras la grúa encargada de las manobras se alineaba en la posición adecuada y por otro lado se retiraban las tapas que cubrían el lugar en que se instalarían los cambiadores. Una vez retiradas estas, se procedió a limpiar el contorno, quitando el empaque instalado en fábrica y limpiando correctamente, para enseguida colocar un empaque nuevo, adherido con pegamento de contacto uniformemente, mientras que la grúa acercaba la torreta permitiendo con esto que también se le retirará del que se instaló para su transporte, en la parte que asienta con el tanque principal, para enseguida limpiarla y retirar el empaque de fábrica, y así acoplar. Esto se realizó de igual forma para cada una de las fases.

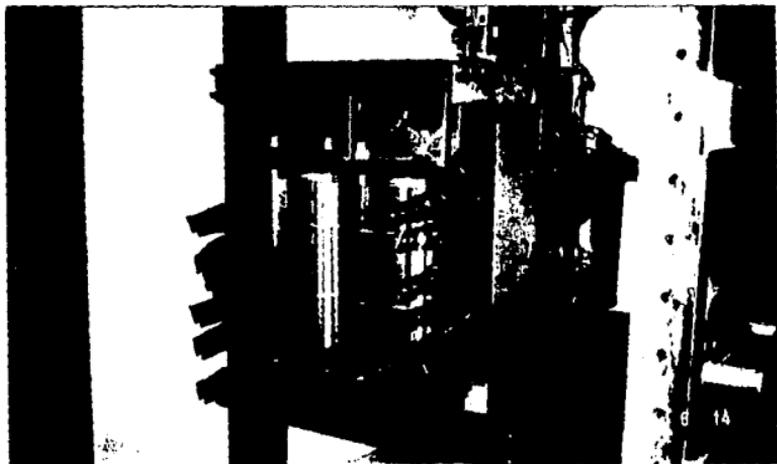
Ya instaladas las tres torretas se procedió a realizar las actividades que se mencionaron anteriormente y preparar la siguiente apertura.

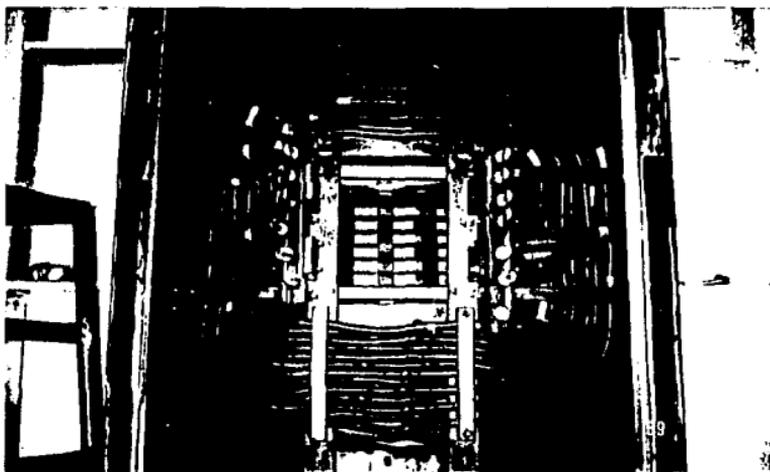
Cabe mencionar que en esta apertura no se requirió que el personal trabajara en el interior del tanque, por lo cual no hubo introducción de herramienta, material u otros, pero de todas formas se llevaron las reglas marcadas. También es necesario mencionar que en cada apertura se consideran tres parámetros importantes para el seguimiento del grado de humedad que se puede llegar a captar durante las aperturas y así poder valorar o definir el proceso de secado a que deberá someterse al autotransformador.

Los tres parámetros que se observan, son: Tiempo, Temperatura, y Humedad Relativa.

Para esta primera apertura los parámetros fueron:

ABRE	CIERRA
t = 9:00 hrs.	10:00 hrs.
T = 17 °C	25 °C
H.R. = 55 %	25 %





*Fig. 3.1.1 a y b: Guías de conexión, por el lado de la bobina (Baja Tensión)*

Para la segunda apertura, ya se contaba con las torretas de baja tensión, por lo que se comenzó con la conexión de los cambiadores bajo carga; las actividades se desarrollaron en la forma siguiente:

Una vez que se tiene la atmósfera interna adecuada y abiertas las bridas de las entradas de hombre en cada una de las fases, esto es en cada uno de los cambiadores. Antes de entrar se dieron las instrucciones necesarias sobre la forma en que se debía de hacer la conexión de cada una de las guías, entre la bobina y el cambiador. Es necesario resaltar que durante el tiempo que el personal estuvo en el interior, se inyectó aire seco de alta pureza; por dos motivos, primero reducir la captación de humedad del medio ambiente y el segundo por lograr tener condiciones favorables, ventilación, respiración, para el personal.

Ya en el interior se revisó el troquel de los cambiadores, éste se colocó para su transportación, ver situación en que llegaron. Enseguida se procede a retirar el mismo troquel y a desamarrar las guías tanto del lado del cambiador como de la bobina, para después ir uniendo punta con punta, cuidando que el acoplamiento entre ellas, sujetadas por dos tornillos de 1/2 pulgada de diámetro a los que se les da un apriete (torque) de 40 Lb/Pulg.<sup>2</sup>.

Posteriormente cada una de las guías es sometida a una prueba de resistencia de contacto\*. Una vez que se midieron todas las guías se procede al encintado con papel crepé impregnado en aceite dieléctrico, de extremo a extremo y de forma uniforme, cubriendo el cobre, hasta alcanzar un espesor de 6" de diámetro, para después pasar una capa con cinta de lino, manteniéndose las distancias de separación y ancho de guías. Ver fig. 3.1.1 a, b, c y d.

El avance que se logró durante esta apertura fue el siguiente:

fase  $X_1$  : 6 guías terminadas.  
 fase  $X_2$  : 6 guías terminadas.  
 fase  $X_3$  : 6 guías terminadas.

Cada uno de los cambiadores lleva un total de catorce guías, de las cuales todas fueron probadas.

Los parámetros en esta ocasión fueron:

ABRE	CIERRA
t = 9:20 hrs.	16:30 hrs.
T = 14 °C	19 °C
H.R. = 52 %	48 %

\* La prueba de resistencia de contacto se realiza con un ducter, midiéndose la continuidad y obteniéndose en valores de resistencia, Ohms.

En la tercera apertura se continuó trabajando con el encintado de las guías restantes, teniéndose un estricto cuidado de adherir capa por capa de papel crepé cuidando la uniformidad y el buen acabado de cada guía. Conforme se iba avanzando se dificultaba cada vez más el encintado, de tal forma que hubo la necesidad de aflojar los bastidores (soportes) para poder dar el espesor requerido cuidando de no juntar guía con guía, lo cual originó que el trabajo fuera más lento.

El avance que se logró en esta apertura fue de:

fase  $X_1$  : 6 guías terminadas, haciendo un total de 12, restan 2.  
 fase  $X_2$  : 6 guías terminadas, haciendo un total de 12, restan 2.  
 fase  $X_3$  : 6 guías terminadas, haciendo un total de 12, restan 2.

Los parámetros fueron:

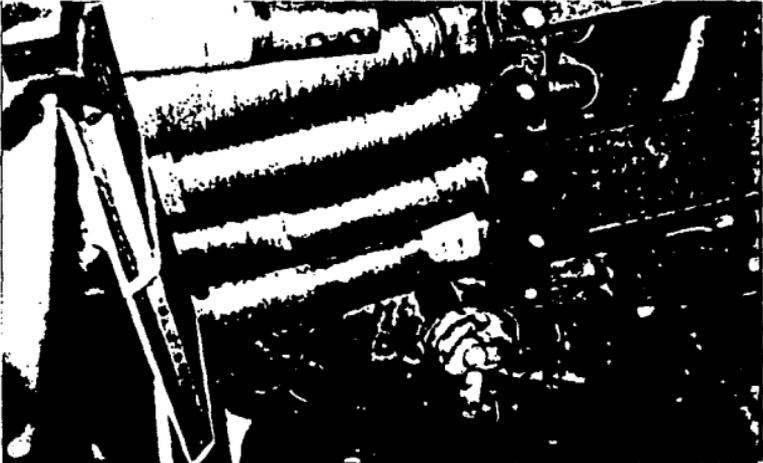
ABRE	CIERRA
t = 9:45 hrs.	17:30 hrs.
T = 17 °C	17 °C
H.R.=49 %	40 %

En la cuarta apertura se había planeado terminar con el encintado de las guías. Al comenzar a trabajar nuevamente con el encintado, se detectó que en la fase  $X_3$ , se habían aflojado las seis guías trabajadas en la apertura interior, y que por el proceso de vacío a que se somete después de la apertura y el presurizado posterior originó su aflojamiento, conside-

rándose también que se debió a consecuencia de un mal encintado, de tal forma que se requirió volver a encintar estas guías, teniéndose más atención a que se realizasen correctamente, en las otras fases no hubo problema y se continuó con el encintado hasta terminar con todas las guías. Al término de encintar las guías en las tres fases, se reapretaron los tornillos de los bastidores para dejarlos nuevamente bien firmes y se hizo limpieza, y enseguida efectuar prueba de polaridad, concluyéndose así la conexión de las guías de bajar tensión al cambiador de derivaciones.

Los parámetros fueron:

ABRE	CIERRA
t = 9:35 hrs.	17:30 hrs.
T = 15 °C	19 °C
H.R.=50 %	39 %





*Fig. 3.1.1 c y d: Medición de resistencia de contactos (Ducter),  
encintado final a las guías entre cambiador y bobina, respectivamente.*

### 3.1.2 MONTAJE DE BOQUILLAS DE ALTA TENSION, BAJA TENSION, TERCARIO Y NEUTRO

Para continuar con el montaje interno del autotransformador el siguiente paso consistió en instalar las torretas de alta tensión  $H_1$ ,  $H_2$  y  $H_3$ . Para estas no llevan cambiador, la tensión es fija (400 KV). Para ello se realizó la quinta apertura al tanque.

En esta ocasión de forma similar a cuando se montaron las de baja; por un lado la grúa se encarga de llevar la torreta hasta el extremo norte del autotransformador, previamente sujeta con gasas de acero, aunque presentó un poco más de trabajo dado que la grúa tenía que extender más su brazo, se tuvo bastante cuidado que el izaje se hiciera lentamente, de tal forma que no se pudiera provocar un accidente. Por otro lado se retiraron las tapas del lado de alta tensión, se quitó el empaque de embarque y se limpió, para que enseguida se colocara el empaque nuevo utilizando para ello resistol 5000; al llegar la caja, se le retira su tapa y se limpia el contorno para posteriormente acoplarla con el tanque principal. De igual forma se hizo con las otras dos fases. Al igual que las de baja tensión también nos sirven de base para las boquillas de alta tensión.

Los parámetros fueron:

ABRE	CIERRA
t = 9:40 hrs.	17:30 hrs.
T = 15 °C	14 °C
H.R. = 50 %	80 %

Durante la sexta apertura se dedicó a la revisión interna, tanto en el lado de alta como en el de baja tensión, efectuando la limpieza correspondiente en donde fue necesario. Además

también se cambiaron los transformadores de corriente tipo dona, que van alojados en la base que asienta a las boquillas  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ,  $H_1$  y  $H_2$ ; y que son utilizados para la protección diferencial del banco.

Este cambio se originó como consecuencia a falla en el proyectista, en las fases  $X_1$  y  $X_3$ , no cumplían con las características requeridas, y en las fases  $H_1$  y  $H_2$  se encontraban invertidos en su posición. Se instalaron los transformadores de corriente adecuados, en  $X_1$  y  $X_3$ , y los otros se invirtieron a su posición correcta. Durante los trabajos se mantuvo la inyección de aire seco con flujo reducido en dos extremos, en esta ocasión se destapó el tanque por los lados de alta tensión, baja tensión y entrada de hombre por la parte superior. Al término se revisaron fugas, y se realizó un proceso más prolongado de vacío. Los parámetros fueron:

ABRE	CIERRA
t = 12:00 hrs.	14:45 hrs.
T = 20 °C	19 °C
H.R. = 45 %	50 %

Para la séptima apertura se programó la instalación de la boquilla de alta tensión las actividades se efectuaron de la forma siguiente:

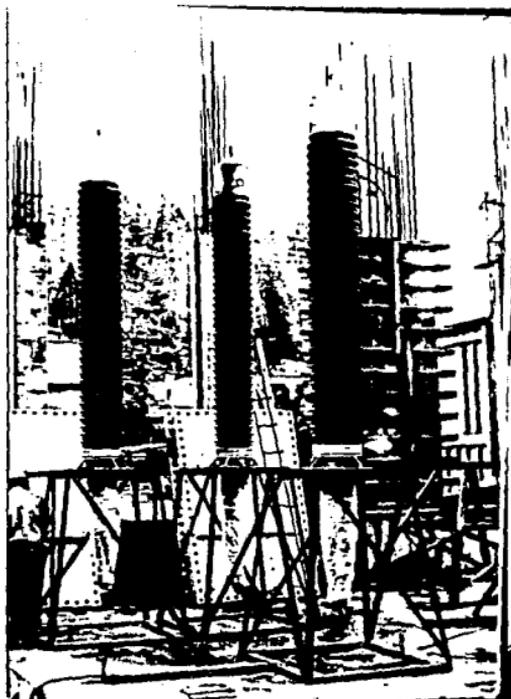
Nuevamente se destaparon las entradas de hombre de cada una de las torretas de alta tensión, además de retirar la brida en que se colocaría la boquilla, en el interior se procedió a instalar los bastidores para soportar las guías una por fase. La guía parte de la bobina y forma un ángulo aproximado de noventa grados, para subir por la parte interna de la boquilla y terminar en él la parte alta, conector. Estos bastidores venían sujetos a la bobina, de donde se desamarraron y se sujetaron; en la parte de afuera se preparaban las boquillas, limpiándolas y colocando los cables y aditamentos para sujetarlas al gancho de la grúa (ver fig. 3.1.2 a, b,

c. y d.)

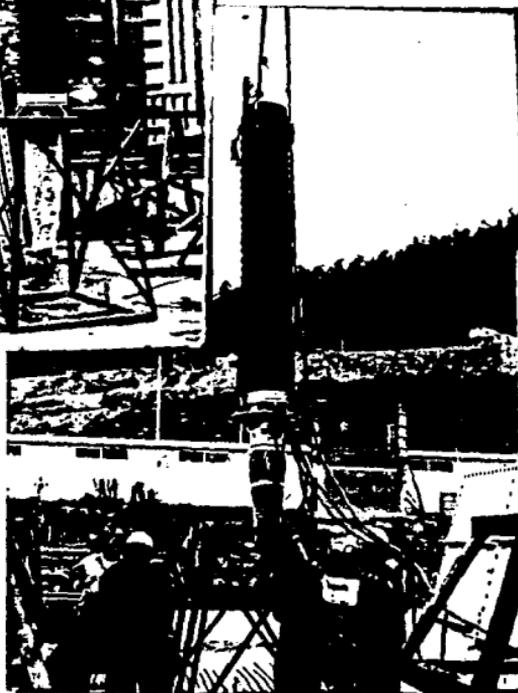
Las boquillas fueron sometidas a las pruebas eléctricas; resistencia de aislamiento, pérdidas y factor de potencia. Como estas son accesorios bastante delicados se tuvieron los cuidados adecuados, coordinados por una persona se comenzó con el izaje de la boquilla hacia su base para ser instalada. En los amarres de sujeción se incluyó la colocación de una polea para que una vez izada se le diera la inclinación (fases  $H_1$  y  $H_2$ ) adecuada. Mientras en la parte interna ya se ha montado el bastidor, se ha conectado la cintilla capacitiva\* se ha encintado las partes necesarias de la guía, la punta de conexión se ha protegido con cinta de lino, se cuida que no se dañe la cuerda en donde se instala la campana conectora, y se amarra por medio de un cordón (jareta) de tal forma que cuando comienza a descender la boquilla se tira del cordón haciendo subir la guía a través de la boquilla, y así hasta que la punta de conexión llega al exterior y la boquilla ya asentó en su base. Entonces se sujeta la punta de conexión al extremo superior de la boquilla por medio de un pasador de acero inoxidable, entonces se retira el cordón y se coloca la campana conectora, cuidándose de no tirar los empaques, o-rings. Mientras se colocan los tornillos para fijar la boquilla. En la parte interna se ha cuidado que la guía pase sin problemas, en seguida se aprietan los tornillos de ceralón y dar solidez al bastidor, dejando bien fija la guía y en condiciones óptimas. Terminadas las actividades, se continuó con las otras dos fases.

---

\* Esta cintilla es una lámina muy fina enrollada en torno a la guía terminal, con esto se tiene un condensador, lo que da lugar a un campo magnético uniforme dentro de la boquilla, reduciendo los esfuerzos magnéticos.



*Fig. 3.1.2. a*

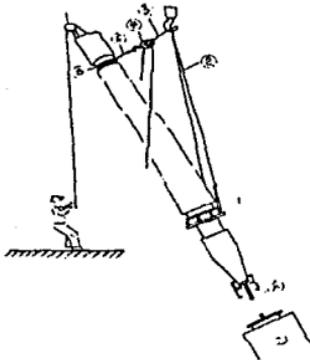


*Figura 3.1.2. b*

Antes de proceder a cerrar se revisó que el trabajo se hizo correctamente y se limpió el interior.

Los parámetros fueron:

ABRE	CIERRA
t = 9:40 hrs.	17:30 hrs.
T = 12 °C	15 °C
H.R.=60 %	70 %



Maniobra de montaje en boquilla de A.T.

- 1.- Sujeción en brida de la boquilla
- 2.- Cable para sujeción
- 3.- Sujeción de polea con gancho
- 4.- Polea con gancho
- 5.- Tensor de inclinación
- 6.- Sujeción de guía interna
- 7.- Base para boquilla
- 8.- Guía de conexión

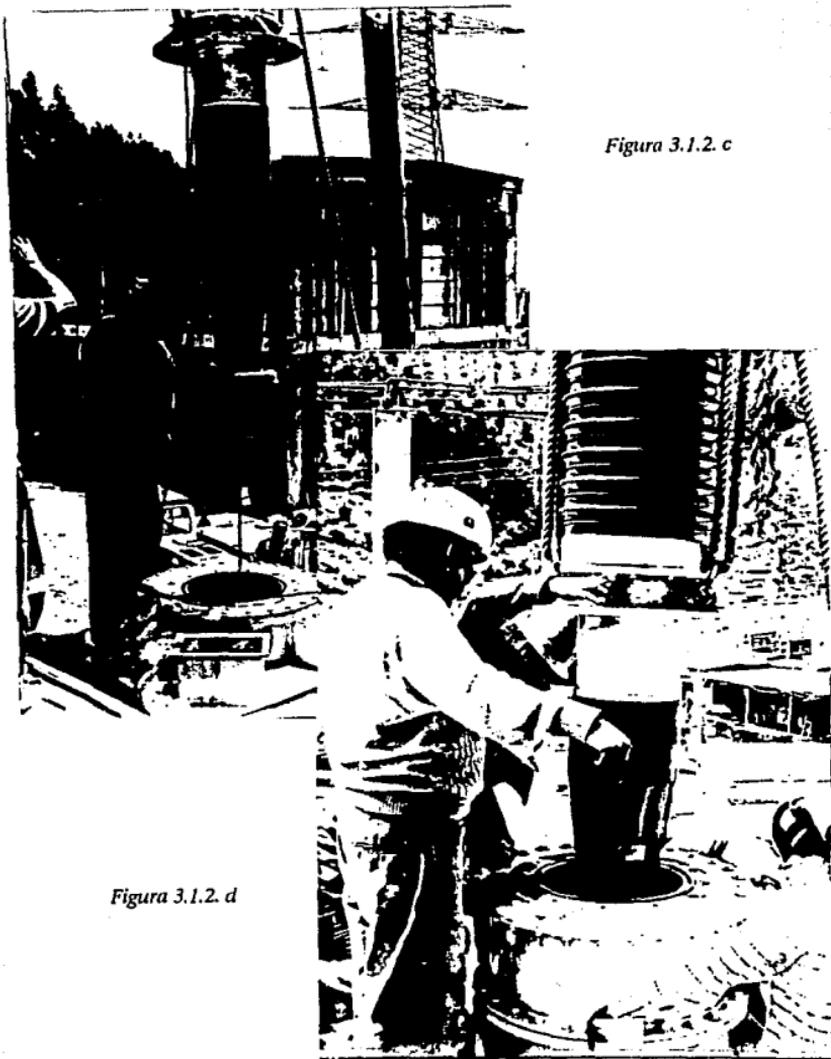
Durante la octava apertura se llevó a cabo el montaje de las boquillas de baja tensión. En cada una de las fases se comenzó a preparar la conexión de la guía que va conectada a la barra conectora interna de la boquilla. Por la parte externa se sujeta correctamente la boquilla cuidando evitar que originen algún deterioro en la porcelana, previamente la barra interna de

cobre se verifica que se encuentre bien apretada, ya que consta de dos partes y se unen con dos tornillos de media pulgada de diámetro. Al igual que en las boquillas de alta tensión, las dos extremas fase  $X_1$  y  $X_3$  van inclinadas con respecto al plano paralelo de su base  $60^\circ$ ; por lo que se instaló una polea en conjunto con el gancho de la grúa, para poder darle la inclinación en el momento de montarlas. Hechos los preparativos necesarios se procede a subir la primer boquilla  $X_1$  a su base, al quedar asentada se sujetó por medio de tornillos, y en la parte interna se conecta la barra a la guía saliente del cambiador de derivaciones con carga, esta se sujeta mediante dos tornillos de cinco octavos de diámetro por dos pulgadas de largo, cabeza hexagonal y dándole un apriete de 40 Lb.-pie. Se revisa que haya quedado correctamente y se procede a colocar el conector campana en la parte superior externa de la boquilla. De igual forma se montaron las fases  $X_1$  y  $X_3$ , con la particularidad que la fase  $X_2$  no lleva inclinación, es totalmente perpendicular a su base. Continuando con las actividades de montaje interno se revisaron y apretaron los tornillos de los bastidores y del cambiador de derivaciones de tal forma de que no existiese alguna duda de lo realizado.

Enseguida se procedió a cerrar las bridas que se destaparon, no sin antes ver que no se hubiese quedado algo en el interior y proceder a las actividades de rutina.

Los parámetros fueron:

ABRE	CIERRA
t = 9:30 hrs.	14:10 hrs.
T = 15 °C	19 °C
H.R.=65 %	55 %



En la novena apertura efectuada al tanque principal, después de tener las condiciones necesarias e inyectando aire seco por dos extremos se abrieron las bridas correspondientes a las fases  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ,  $Y_1$ ,  $Y_2$ ,  $Y_3$  y al neutro  $H_0X_0$ .

Los trabajos desarrollados fueron los siguientes:

Por el lado de baja tensión se revisaron los cambiadores de derivaciones en cada fase: presión de contactos, uniformidad y sincronización, para ello se utilizó el accionamiento manual (como se verá en el subtema 3.3.), que consiste de una caja de mecanismo mecánico o eléctrico, que a través de un juego de flechas, intercaladas en cada fase. Por medio de un manivela se acciona el mecanismo mecánico y se avanza o disminuye según la dirección de giro, es aquí entonces cuando se verifica en el interior de cada una de las fases que: los contactos entre la parte fija ruptor y la móvil selector, del cambiador acoplen correctamente y en su posición de acuerdo con las demás fases y a su vez en correspondencia con la posición del número en la caja de mecanismo, Mando-motor. Para ello se cuenta con mirillas indicadoras en la parte superior de cada una de las torretas, en donde se puede observar que el número corresponde de acuerdo con el Mando-motor.

También se instalaron mamparas; éstas van entre la parte en que se unen el cambiador (torreta) con la bobina (tanque principal) y sirven como separadores.

Se apretó tornillo de drenado de aceite del cambiador (abrir físicamente). Se verificó la tornillería que estuviese completa, tanto la de cerálón como la metálica, se candearon\* los de cerálón calentando los extremos en su cuerda y de esta forma impedir que se corran sus tuercas. De igual forma se efectuó en las otras fases, para terminar en las cajas de baja tensión se procedió a retirar tacones (apoyos) y soldadura que se instalaron para troquelado, para protección del cambiador en el transporte, posteriormente se hizo limpieza general.

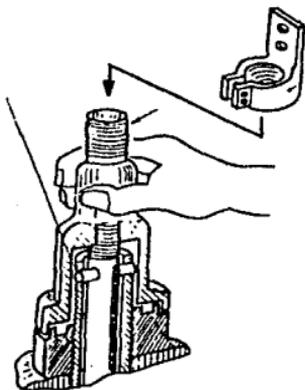
Por el extremo oriente se instalaron las boquillas del terciario (ver figura 3.1.2 e.) con anterioridad se probaron y se instalaron. La forma de conectar es similar a un tornillo, al extremo inferior de la boquilla se le coloca un conector tipo zapata al cual se le conecta la guía que es una solera de varios hilos de cobre en forma trenzada flexible dándole a sus tornillos de sujeción el torque de 40 Lb.-pie. En estas no existió mucho problema al conectarlas por sus dimensiones y poco peso, aparte de que para su instalación se realiza externamente por un costado. A continuación se hizo limpieza y se cambió el empaque de la tapa para enseguida cerrar su brida por donde se conecta.

Para la conexión del neutro  $H_0X_0$ , se hizo por la parte interna, a un lado de la torreta  $X_1$ , y es similar a las del terciario por lo que su instalación no fue problemática, con la diferencia que ésta se conectó introduciéndose en el interior del tanque, por una de las entradas de hombre.

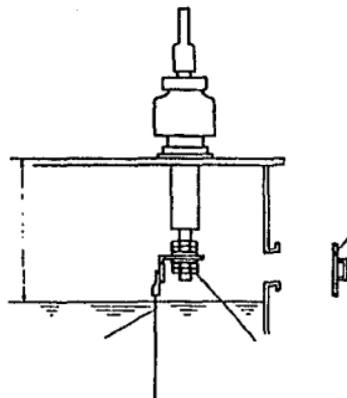
Valuando el trabajo alcanzado hasta la fecha se observó que ya sólo los únicos pendientes eran la conexión de carretes para la unión con el banco de enfriamiento, válvula de drenado de aceite y cambio de empaques.

Los parámetros fueron:

ABRE	CIERRA
t = 9:50 hrs.	16:00 hrs.
T = 15 °C	16 °C
H.R.=70 %	60 %



*Conector Terminal de Boquilla*



*Boquilla de Terciario*

*Figura 3.1.2. e*

### 3.1.3 REVISION FINAL

Para concluir con el armado interno del Autotransformador y como parte final se desarrolló la última revisión o revisión final, y se efectuó en la décima apertura. Los trabajos que se realizaron fueron los siguientes:

Como en las demás aperturas se hicieron los preparativos necesarios, para enseguida retirar las bridas de las entradas de hombre, superiores, en Baja Tensión y Alta Tensión, se quitaron los empaques de fábrica y se colocaron empaques nuevos.

Por otro lado se instalaron los carretes con válvulas de 12 pulgadas de diámetro, superiores e inferiores para unir al banco de enfriamiento, además de instalar el carrete de 6 pulgadas de diámetro para drenado y toma de muestras de aceite en la parte inferior. Una vez instalada esta válvula se procedió a evacuar el espejo de aceite, residuo que se tenía de cuando se llenó en fábrica para las pruebas al Autotransformador en conjunto y que se hace necesario para que cuando se llenara, no se mezclara con el aceite nuevo.

Para continuar se fueron cerrando las bridas de alta y baja tensión, haciendo limpieza y sin dejar residuos de material u objetos extraños. Entonces en forma paralela se dio la última revisión a cada una de las partes en el interior; conexión de boquillas, apriete de tornillería, limpieza, retiro de herramienta y materiales utilizados, y por último el personal, saliendo estos por las entradas superiores, después de estar completamente satisfechos de los trabajos realizados durante las aperturas y sin pasar nada por alto, se cambian los empaques de estas entradas y se cierra finalmente.

Es así como se da por concluido el armado interno, y ahora sí se somete el autotransformador a el proceso de secado.

Los parámetros fueron:

**ABRE**

**t = 8:30 hrs.**

**T = 13 °C**

**H.R.=70 %**

**CIERRA**

**18:00 hrs.**

**15 °C**

**60 %**

### 3.2 PROCESO DE SECADO Y LLENADO FINAL DE ACEITE

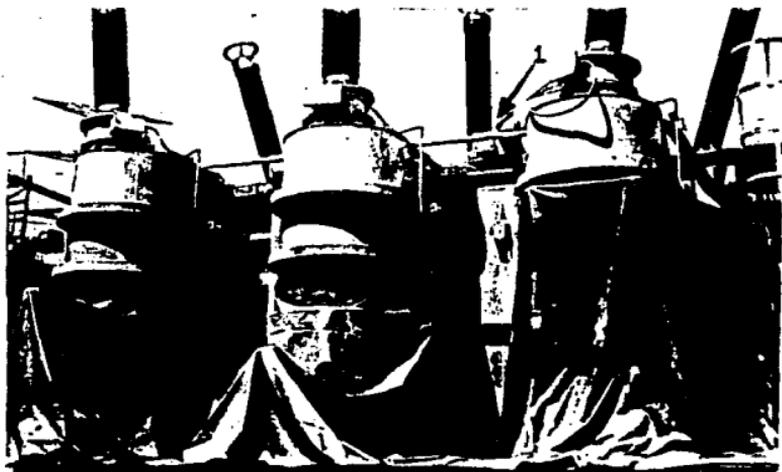
#### 3.2.1 SECADOS PARCIALES

Durante cada una de las aperturas realizadas al autotransformador, al término de ella, se efectuó un proceso de vacío, de tal forma que no se permitiera la acumulación intensiva de humedad en el interior y que se contaminen los aislamientos. Por ello después de cada apertura se sometió a 24 horas de vacío con una bomba, con reforzador, de capacidad hasta 2719 m<sup>3</sup>/hra. de desplazamiento. Durante este tiempo se mantuvo un control de los diferentes parámetros involucrados:

- Vacío. Por medio de dos vacuómetros, uno de mercurio (MC. CLOUD) y otro electrónico (TB-4) en valores de micrones.
- Temperatura. Utilizando un termómetro lineal de 0 a 120 °C
- Tiempo. Por medio de un reloj convencional

Sin interrumpir el proceso hasta terminado el tiempo estimado. Al término del período de alto vacío, se rompía introduciendo aire seco de alta pureza, previamente probado (valor promedio de punto de rocío de -45 °C) por dos motivos: uno se procuraba que en la siguiente apertura se tuviera una atmósfera adecuada para los trabajos internos y para evitar la contaminación de los aislamientos.

Estos secados parciales son necesarios porque de no hacerlos significaría acumular humedad en los aislamientos, lo que ocasionaría posteriores daños en la puesta en servicio o aumentaría los costos en horas-hombre para un proceso de secado prolongado, además de otros gastos. De aquí la importancia de ellos.



1) Válvula V-1

2) Línea de Vácto

Figura 3.2.1

### 3.2.2 SECADO FINAL

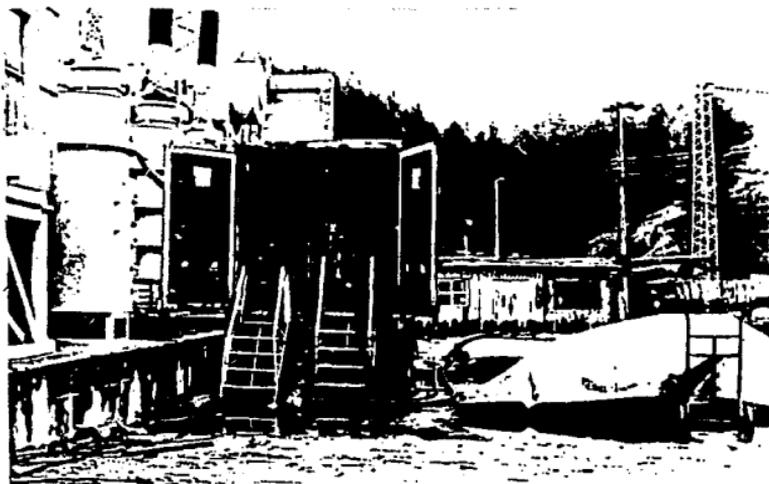
El objetivo que se persigue de secar un transformador es eliminar de sus aislamientos la humedad y gases que hayan quedado atrapados durante el transporte y trabajos internos (armado), restaurando las características óptimas de rigidez dieléctrica y vida térmica de los aislamientos.

Actualmente existen varios métodos para el secado de transformadores, dependiendo su aplicación del tipo de transformador según sea su voltaje, tamaño, contenido de humedad y de los medios que se dispongan para efectuar el secado.

Para el secado del autotransformador se utilizó el secado con alto vacío y aceite caliente. Como en todas las actividades se siguió una línea de trabajo; se prueba y verifica el buen funcionamiento de la U.T.A., así como las conexiones de la línea de vacío. También se prepararon, se introdujeron al tanque principal aproximadamente 60,000 lts. de aceite dieléctrico, previamente reemplazado.

Se preparó el equipo de medición para llevar registrado el control del proceso de vacío en el tanque; se utilizaron dos medidores de vacío (vacuómetros): de mercurio y eléctrico TB-4, termómetro y reloj.

Se volvió a verificar que no existiera fuga en el tanque ni en la línea de vacío y eficiencia de la máquina. Reunido lo necesario para efectuar el proceso de secado final y habiendo realizado la prueba de medición del % H.R., que nos dio el valor de 0.8%, se determinó que se comenzaría con el proceso, el cual se desarrolló en la forma siguiente:



*Llenado final con aceite dieléctrico, utilizando unidad de tratamiento.*

Primero se inicia con la operación de la bomba de vacío y abriendo las válvulas de la línea de vacío. V, fig. 3.2.1 un vacío de 1000 micrones de Hg., se procedió a cerrar la válvula V, de la succión de vacío y enseguida se pone en marcha la bomba de salida de la UTA e inmediatamente la de entrada, iniciándose la circulación de aceite, ver la figura 3.2.1 y 3.2.2, cuando se estabiliza la circulación del aceite se encienden los grupos de resistencias calefactoras de la UTA, (así permanece hasta que la temperatura de la salida y la entrada de la planta de tratamiento se igualan a 75 °C). Nuevamente se abre la válvula V, y así continúa el proceso.

A partir de que se inició el proceso se va registrando cada hora los parámetros de: medición de vacío en micrones de mercurio, temperatura del aceite en °C, tiempo en que se registra la anotación. Para poder realizar esto, se mantiene una guardia permanente de

personal durante las 24 horas diarias mientras dura el proceso.

Cuando se alcanza la temperatura de 75 °C se desconectan los grupos de resistencias, sin detener la circulación, media hora después se suspende la circulación y el vacío; se hacen los arreglos necesarios para drenar el aceite hacia los recipientes, de tal forma que el tanque se desaloje el aceite caliente. La bomba de la UTA se conecta a la válvula de entrada de la pipa y a su vez por la parte alta válvula (4 fig. ) se inyectó nitrógeno de alta pureza para contrarrestar el alto vacío que se ha alcanzado hasta esta etapa y que no permitía la salida del aceite.

Al término de drenar el aceite se para la inyección de nitrógeno y de nuevo se inicia el proceso de vacío, se observó que no se ha perdido el vacío por la introducción del nitrógeno. Durante esta etapa en que se reinicia el proceso se observó que la cantidad de humedad que se expulsa es mayor debido a que por el calentamiento a las bobinas mediante el aceite, estas desprenden la humedad de los aislamientos en forma de vapor de agua.

El proceso se continúa ininterrumpidamente, observándose los valores de los parámetros para poder estimar o calcular el grado de sequedad que se ha alcanzado, esto se valora diariamente. Por medio de una prueba de abatimiento en vacío se analiza si ya es posible alcanzar los valores que se requieren para determinar si ya está o no seco el autotransformador.

La prueba de abatimiento consiste en dos etapas:

- 1a.- En condiciones dinámicas; se toman lecturas de los parámetros cada cinco minutos durante media hora y con el proceso continuo.
- 2a.- En condiciones estáticas; de igual forma se registran los valores de los parámetros cada cinco minutos durante media hora y con la válvula cerrada (sin parar máquinas cerrando sólo la válvula), si durante este tiempo no se registra una pérdida mayor de 50 micrones

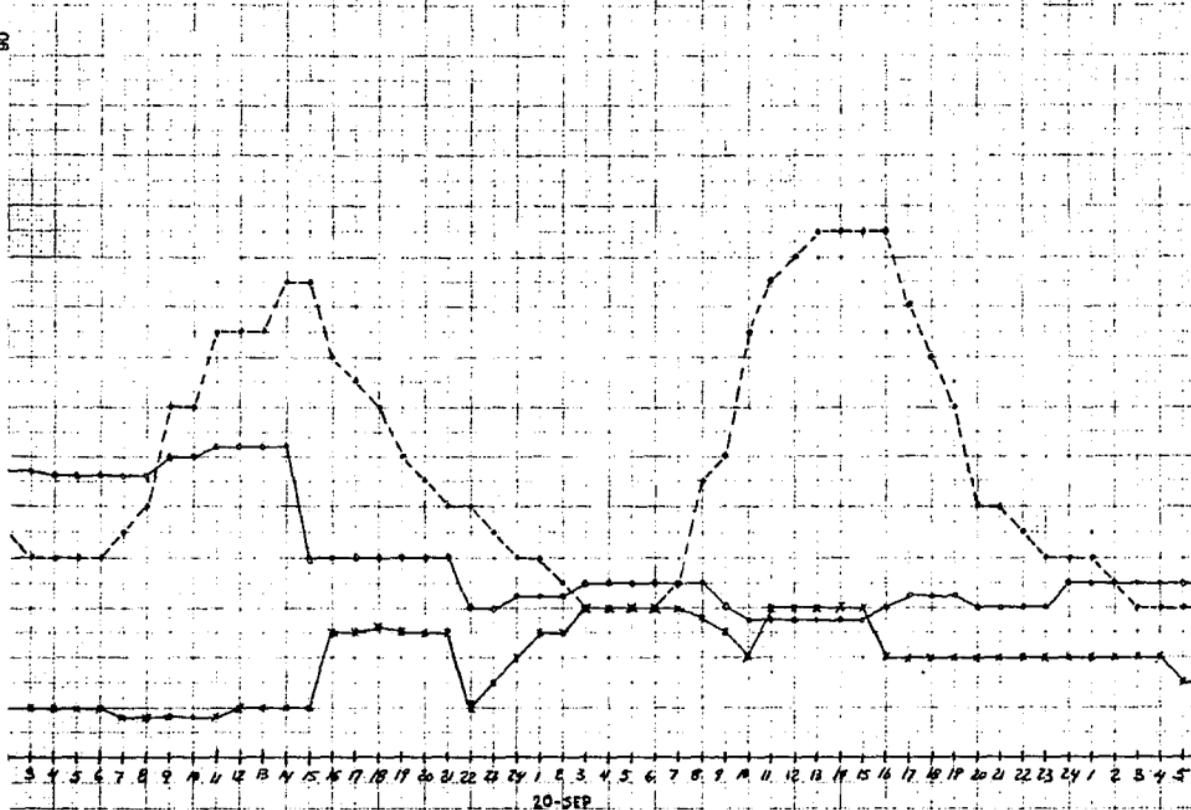
se puede considerar que el autotransformador se encuentra seco.

3a.- Al término de las condiciones estáticas la recuperación del vacío no deberá exceder de más de dos horas de abierta la válvula  $V_1$ .

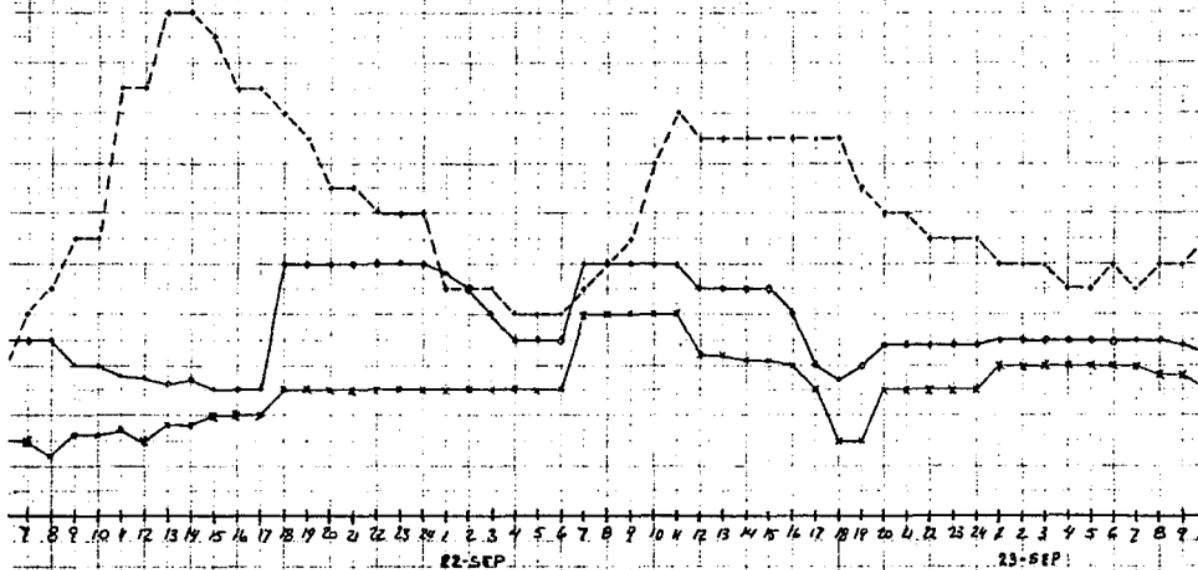
Para desarrollar esta prueba se utiliza un equipo de medición más sofisticado conocido como Panametric System II, el cual nos da el valor directo del Punto de Rocío en el interior, con el cual se calcula el % de Humedad Residual.



80



20-SEP





**TRANSFORMADORES DE POTENCIA** **REPORTE PD202**

SE EN ALBARRAN CANTO ZARAGOZA

NOMBRE DE PLACA: WELLER  
 Marca: WELLER  
 Modelo: WELLER  
 Tipo: WELLER  
 Año: WELLER

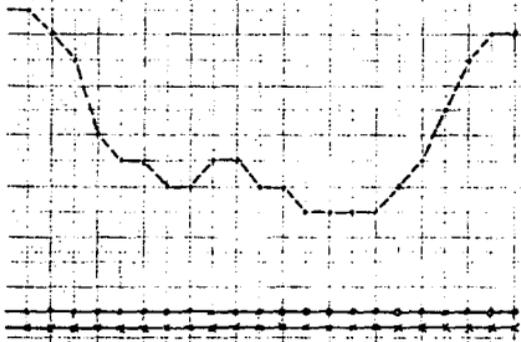
Pruebas de Presion de SF6   
 Pruebas de Fugas de SF6   
 Pruebas de Fugas de Aceite   
 Pruebas de Fugas de Agua

Medidas de Capacidad de Muestreo en % Logadas

Medidas de Equipos de Presion: WELLER  
 Marca: WELLER  
 Modelo: WELLER

Transformador No.	Presion del SF6 (bar)	Letras de SF6	Capacidad de Muestreo (%)	Medidas de Equipos de Presion
1	1.2	WELLER	1.2	WELLER

Q. Amp	T. Amp	W. Amp
6	-0.0	16
10	-0.0	16
15	-0.0	16
20	-0.0	16
25	-0.0	16
30	-0.0	16
35	-0.0	16
40	-0.0	16
45	-0.0	16
50	-0.0	16
55	-0.0	16
60	-0.0	16
65	-0.0	16
70	-0.0	16
75	-0.0	16
80	-0.0	16
85	-0.0	16
90	-0.0	16
95	-0.0	16
100	-0.0	16



15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

26-SEP

SE ROMPE VACIO, PRESURIZANDO CON NITROGENO DE ALTA PUREZA.

### 3.2.3 TRATAMIENTO Y LLENADO FINAL CON ACEITE

Cuando se ha alcanzado el grado de sequedad requerido para el Autotransformador (0.5 %H.R., como mínimo) y se ha verificado con la prueba de medición del % de Humedad Residual, llega el momento de llenarlo con aceite dieléctrico. Este aceite es sometido a un tratamiento para dejarlo en condiciones óptimas antes de que entre.

Como sabemos, el aceite aislante provee de dos tipos de funciones, una física y otra eléctrica:

- La función física es el de enfriamiento por medio de la disipación del calor generado en el curso de la operación de la unidad.
- La función eléctrica de un aceite aislante es la de un dieléctrico, previniendo la formación de arco eléctrico entre dos conductores con una diferencia de potencial elevada.

Las características del aceite que se deben observar y controlar en campo son dos básicamente:

- Debe tener adecuada rigidez dieléctrica que lo haga soportar los esfuerzos dieléctricos impuestos durante el servicio.

$$\text{Rig. Diei.} = 40 \text{ KV}$$

- Debe tener un bajo factor de potencia.

$$\text{f.p.} = 0.5 \text{ Aceite usado}$$

$$\text{f.p.} = 0.05 \text{ Aceite Nuevo}$$

El tipo de aceite utilizado es el "Pemex 1" para transformadores de acuerdo a la Norma Mexicana J-123.

Para que el aceite llegue a la subestación, es transportado mediante pipas tanque y que muchas de las veces llegan a captar humedad. Por ello cuando llegan se sometieron a pruebas para conocer los valores de rigidez dieléctrica y factor de potencia.

Posteriormente se procede a tratarlo dentro de la cámara desgasificadora, de la U.T.A., se recircula por aproximadamente doce horas, se vuelve a probar, ahora se obtienen valores aceptables de rigidez y factor, entonces se procederá a introducirse al tanque principal hasta cubrir la bobina.

Después le corresponde al banco de enfriamiento por separado, no sin antes montar las bombas en cada sección. Y por último es el llenado final; se unen tanque principal con banco de enfriamiento por un lado y por otro con el tanque conservador. A continuación se explica cada etapa en la forma en que se desarrolló.

Primeramente se procedió a llenar el tanque principal del Autotransformador, hasta cubrir bobina sin sobrepasar el link de conexión de Baja Tensión, se realiza prueba de relación de transformación en 230 KV y después se regresa a la posición del link en 150 KV.

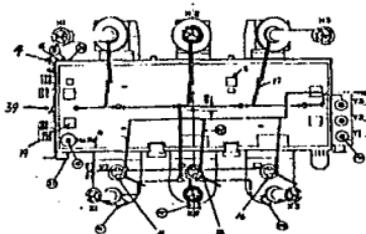
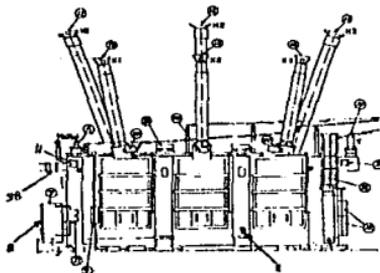
El aceite se introdujo en la forma siguiente: Se tira la presión positiva con que se encontraba y se comienza a efectuar vacío por el tiempo necesario en alcanzar un valor de 1000 micrones de mercurio (aprox. 1 hora). Por otro lado previamente probado, se conectan las mangueras de la UTA; la de entrada a la pipa y la de salida de la planta a la válvula de drenado del tanque principal. Al obtenerse el valor deseado de vacío se ponen en marcha las bombas de aceite y así se mantendrá el llenado, mediante el bombeo y con ayuda del vacío. Cuando ya se ha alcanzado el nivel requerido, se cambia el lugar de la línea de vacío, con el fin de que no se llegue a absorber aceite. Se efectúan los arreglos necesarios y se pasa la línea de vacío a la parte superior del tanque conservador.

Para el llenado del banco de enfriamiento, las válvulas de seis pulgadas de los cabezales de unión entre el tanque principal y el mismo deberán estar cerradas, se instala una línea de vacío independiente a la otra, en la parte superior del banco, cabezal central superior; mientras que la entrada de aceite se hace en la parte baja del cabezal central inferior, válvula para drenado del banco, esta válvula fue adaptada e instalada en campo.

De la misma forma que en el tanque principal se realizó el llenado de cabezales y radiadores, habiendo instalado previamente las motobombas de aceite propias del enfriamiento. Para este llenado no se necesitó alcanzar un gran vacío, por lo que en cuanto el aceite alcanzó el nivel medio de la altura de los radiadores se fue teniendo cuidado y en su momento retirar la línea de vacío, se paró la introducción de aceite al faltar aproximadamente cinco centímetros del volumen total del banco de enfriamiento.

Para realizar el llenado final se instalaron los accesorios siguientes:

Se montaron los relevadores R-S 2001 de cada cambiador fases  $X_1$ ,  $X_2$  y  $X_3$ , y en seguida se llena cada cambiador y es retirado el by-pass entre cambiador y tanque principal, se instala la tubería de drenado del mismo.



**PARTES PRINCIPALES DE LAS FIGURAS:**

- 1.- Caja para conexión de núcleo a tierra
- 2.- Placa para conexión de tierras
- 3.- Caja para conexiones de terciario
- 4.- Válvula para filtrado de aceite
- 5.- Indicador de temperatura de aceite
- 6.- Relevador térmico de sobrecarga
- 7.- Gabinete de control principal (G-2)
- 8.- Placa de características
- 9.- Control del cambiador (MA-7)
- 10.- Equipo Inertaire
- 11.- Caja de conexiones del neutro
- 12.- Boquilla de Alta Tensión
- 13.- Boquilla de Baja Tensión
- 14.- Boquilla de Terciario
- 15.- Boquilla del Neutro
- 16.- Cambiador de derivaciones bajo carga
- 17.- Tubería de venteo, tanque principal
- 18.- Relevador R-S2001, cambiador
- 19.- Registro entrada de hombre, superior
- 20.- Válvula de sobrepresión
- 21.- Relevador Buchholz
- 22.- Válvula de paso tanque conservador-principal
- 23.- Mostrador de Gases (purga) del Buchholz
- 24.- Motobomba
- 25.- Indicador de flujo de aceite

- 26.- Radiadores desmontables
- 27.- Válvula de paso de aceite a radiadores
- 28.- Ventilador de flujo
- 29.- Válvula para llenado de T. Conservador
- 30.- Tanque conservador
- 31.- Indicador del nivel de aceite
- 32.- Gabinete de control del Bco. de enfriamiento (G2\*X)
- 33.- Válvula para llenado compartimiento del cambiador
- 34.- Detector de temperatura de devanado
- 35.- Escalera desmontable
- 36.- Válvula de paso del Bco. de enfriamiento.- Tubería de alim.
- 37.- Gabinete de alarmas
- 38.- Conector dresser
- 39.- Válvula de drenado
- 40.- Caja de conexión de Tc's
- 41.- Tubería de venteo cambiadores

### 3.3 *INSTALACION DE ACCESORIOS*

#### 3.3.1 *MONTAJE DEL BANCO DE ENFRIAMIENTO*

La energía convertida en el circuito magnético y en los devanados de un transformador, se transmite al aceite, que es el medio refrigerante, en el cual se hallan sumergidos estos. Este último a su vez lo transmite al medio ambiente por medio de un sistema de enfriamiento, compuesto por radiadores (ó aletas) que van añadidos al tanque principal o montados por separado.

En el caso nuestro, los radiadores van montados en un sistema de tuberías en paralelo y que convergen en la entrada y salida de los conductos que se unen con el tanque principal, ver fig. 3.3.1.1, además de los radiadores y tuberías se cuenta con bombas y ventiladores, para obtener el enfriamiento por aire forzado.

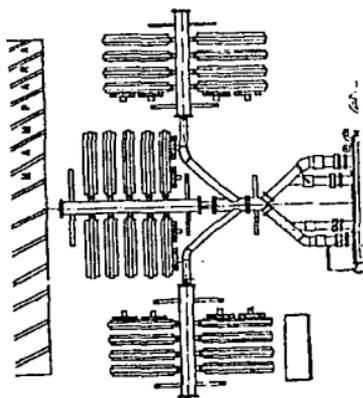
Para efectuar el montaje del banco de enfriamiento se hizo necesario contar con todos sus accesorios y limpios en su interior, o en buen funcionamiento (bombas y ventiladores).

Se comenzó lavando cada uno de los radiadores; por medio de un filtro prensa se conecta al radiador, salida del filtro a la válvula superior del radiador, y la de entrada del filtro a la válvula inferior del radiador, el filtro previamente se cargó con aceite dieléctrico limpio y el radiador colocado en forma vertical, similar a como funciona ya instalado. Entonces se enciende el filtro y se hace circular el aceite a través del interior del radiador hasta que el aceite entrante sea igual en claridad al de la salida del filtro.

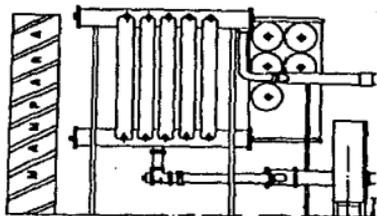
De semejante forma se realizó con los otros radiadores, se revisan y ajustan las válvulas y tapones de purga. También es lavada la tubería, los ventiladores se probaron en su

funcionamiento correcto y en su aislamiento. Para las bombas, sólo se revisaron en forma ocular y se dan por correctos, se probaron en fábrica, y sólo se pueden probar con aceite en gran abundancia.

Para continuar, se instalan las bases de hierro que cargarán el sistema de enfriamiento, a continuación se monta la tubería superior e inferior (cabezales) para posteriormente instalar los radiadores. El banco consta de tres secciones, dos de ellas formadas por ocho radiadores y una bomba cada uno, y la tercera por diez radiadores y una bomba. La secuencia de montaje se continuó instalando los radiadores de la sección más alejada al acceso de la grúa, de tal forma de no verse estorbada, colocando sus empaques correspondientes en sus válvulas, enseguida se pasó a la sección intermedia y por último los radiadores de la tercera sección. Se tuvo bastante cuidado de seguir las indicaciones de diseño para que quedase alineado correctamente y no hubiese dificultad al enlazarse con el tanque principal, como parte complementaria se instaló la tubería de unión, quedando sólo pendiente el conector dresser que se instaló antes del llenado final con aceite.



*Fig. 3.3.1.1 Banco de enfriamiento vista superior, de sus tres secciones.*



*Fig. 3.3.1.1 Banco de enfriamiento vista lateral, se aprecian los ventiladores y las motobombas para aceite, así como su gabinete de control.*

Enseguida se procede a instalar ventiladores en cada sección, los que al igual que las bombas de aceite, se controlan desde el gabinete G2X (subtema 3.3.4) por medio de los indicadores de temperatura de aceite.

Este tipo de sistema de enfriamiento se conoce como FOA, sumergido en aceite enfriado por aire forzado y para este banco se tienen dos FOA 1 y FOA 2.

### 3.3.2 MONTAJE DEL TANQUE CONSERVADOR

Este accesorio se ubica en una base alta, superior a la altura del tanque principal y por separado, fig. , está compuesto por dos secciones independientes entre sí, una pequeña y otra bastante grande. La primera es el que conserva el nivel de aceite en los cambiadores y el otro el del tanque principal. En estos se contiene aceite dieléctrico y se encargan de preservar el nivel de aceite necesario para el funcionamiento del autotransformador. Se une al tanque principal y cambiadores mediante tubería y un relevador Buchholz y un recuperador de gases tipo RS-2001, respectivamente. Estos se instalan para el llenado final de aceite.

Previamente al montaje fue sometido a lavado, cada uno de sus compartimientos y revisión de sus flotadores de los indicadores de nivel, al caer el flotador la aguja indicadora al nivel bajo (LOW) y al subir el flotador la aguja indicadora llegará al nivel alto (HIGH) el nivel de aceite al poner en marcha el autotransformador será en nivel 25, registrado en la carátula del indicador.

Por otro lado se colocaron sus bases en el sitio marcado en el proyecto (ver fig. 3.3.2.1) para enseguida subir el tanque conservador sobre sus bases mediante la grúa, se atornilla para fijarlos y ya bien seguro se retiran los amarres de izaje.

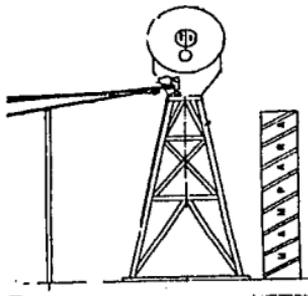


Fig. 3.3.2.1 Tanque conservador

### 3.3.3 TUBERIA DE VENTEO

Debido a las grandes dimensiones del autotransformador, en su interior se tienen espacios en los que difícilmente penetraría el aceite sin dejar de formar burbuja de aire, si no existiera un conducto que sirviese de respiración.

Este conducto está compuesto por un conjunto de tuberías conectadas en paralelo a un tubo central que baja desde el tanque conservador, pasando por toda la parte superior del tanque principal y conectándose a cada una de las fases, tanto baja y alta tensión, como en el terciario y neutro, que son los espacios que por su geometría propician los espacios de los que se hablaba anteriormente. Esta tubería es colocada antes del llenado final con aceite. En la fig. 3.3.3.1, se puede apreciar la ubicación de esta tubería.

Es necesario considerar, comentar acerca de la instalación de esta tubería; cuando se colocó primeramente de acuerdo al diseño de fábrica, se notó al día siguiente que en el transcurso de la tarde y noche se deformó al grado tal que se desprendió en algunas uniones, por lo que se tuvo que efectuar ciertas modificaciones al diseño original; las tuberías que parten del tubo central con dirección a las fases de alta y baja tensión que eran rectas completamente, se cambiaron por otras con una pequeña bayoneta en la parte central de cada tubería, logrando con esto evitar nuevamente las deformaciones debido a los cambios bruscos de temperatura.



*Fig. 3.3.3.1 Instalación de la tubera de venteo*

### 3.3.4 GABINETES DE CONTROL

Los gabinetes de control y conexiones que utiliza el autotransformador para el funcionamiento de los auxiliares, alarmas, control y alimentación propios, se compone de:

- Gabinete G-2 Gabinete principal del autotransformador
- Gabinete G-2X Banco de enfriamiento
- Gabinete G-1 Mando a motor del cambiador de derivaciones bajo carga
- Gabinete de Alarmas
- Gabinete G-4\* Paralelo de bancos

El gabinete G-2, se le llama principal porque a él se congregan todo el cableado que ha de ir a los demás gabinetes, instrumentos, alarmas, señal de transformadores de corriente y alimentación de corriente alterna, y directa, y señalización al tablero de control y medición de la subestación. En la figura 3.3.4.1 se muestra un diagrama de flujo donde se puede observar la relación entre éste y los demás gabinetes.

Como se podrá apreciar, este gabinete concentra todas las conexiones que utiliza el autotransformador y de allí se distribuyen a los demás. Este gabinete se ubica en la parte izquierda del tanque principal, el cableado que llega y sale viaja a través de conductos subterráneos hasta el tablero o por tubo condwit rígido a indicadores, relevadores, transformadores de corriente, y con tubería flexible a gabinete G-1

El gabinete G-2X corresponde al banco de enfriamiento el cual consta de dos grupos FOA

---

\* Este Gabinete no es propio del banco pero por su relación se menciona.

1 y FOA 2, los que se pueden funcionar en manual o automático.- Cuenta con un selector de secuencia que opera de acuerdo al cuadro siguiente:

SECUENCIA	FOA 1			FOA 2		
	1	2	3	1	2	3
1 2 - 3	X	X				X
1 3 - 2	X		X		X	
2 3 - 1		X	X	X		

De tal forma que si por ejemplo tenemos la secuencia del segundo renglón tendremos: en FOA 1 estará 1 y 3, y en FOA 2 está 2. Estos grupos 1, 2 y 3 corresponden a cada uno de los grupos de radiadores que se describieron en el subtema 3.3.1

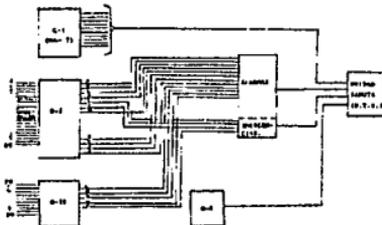
Además contiene un interruptor magnético para cada bomba de aceite y cada ventilador. Los selectores de L/D (Local-Distante); este permite el encendido del equipo de enfriamiento desde un punto distante o desde el propio gabinete, SMFA (Manual-Fuera-Automático); el cual permite situar el encendido del equipo de enfriamiento en un arranque automático, manual e incluso dejarlo fuera por completo.

El gabinete G-1 corresponde al accionamiento de los cambiadores de derivación bajo carga del autotransformador. Este gabinete tiene la capacidad de operar eléctricamente, por medio de un motor, o mecánicamente en forma manual mediante una manivela. Es el encargado de accionar a los cambiadores llevándolos a la posición deseada por medio de los botones de subir o bajar. Cuenta con un indicador de posición de tap, el cual está sincronizado con el de cada uno de los cambiadores, fases  $X_1$ ,  $X_2$  y  $X_3$ .

El gabinete de alarmas contiene los módulos que registran y señalan las alertas y emergencias propias del autotransformador, y que se envían a el tablero general de control y medición de la subestación, para que el personal asignado tome las medidas necesarias para evitar una falla severa al Autotransformador y que pueda ocasionar perturbaciones en el servicio al usuario o al mismo Sistema. Estos dos últimos gabinetes se encuentran ubicados como se muestra en la fig.

El gabinete G-4 es el gabinete mediante el cual se controla el paralelo de Bancos, que como se mencionó anteriormente (Cap. 1), el Banco T-411 C, que es el tema que estamos tratando, forma con las otras dos unidades; T-411 A y T-411 B, el conjunto al que nos referimos al hablar de Paralelo de Bancos.

En este gabinete se encuentran los controles e indicadores que permiten la operación en paralelo de las unidades A, B, C y una futura, de la Subestación San Bernabé. Cada unidad tiene un selector MSI (Maestro-Seguidor Independiente), botones para subir - bajar (Cambiador de Taps), indicación de temperatura de devanado, indicador de posición del Cambiador bajo carga, selector LDR (Local-Distante-Remoto), selector de conectado-desconectado. Adicionalmente el G-4 cuenta con controles e indicadores comunes tales como: Interruptor de alimentación de Corriente alterna e interruptor de Corriente directa, tablero luminoso que indica las condiciones del Banco y botón pulsador para callar alarma.



*Fig. 3.3.4.1 Diagrama a bloques de conexión entre gabinetes de control y alarmas.*

**ALARMAS DE ALERTA**

- A.- Sobreelevación de la temperatura de los devanados 105 °C
- C.- Sobrecalentamiento en la temperatura del aceite 75 °C
- D.- Baja presión en los cilindros de nitrógeno (200PSI)
- G.- Relevador Buchholz
- H.- Falta de flujo en las motobombas
- I.- Bajo nivel de aceite en el tanque conservador (tanque principal)
- J.- Bajo nivel de aceite en tanque conservador (cambiadores)
- K.- Relevador mecánico de sobrepresión en los cambiadores
- L.- Falla en el banco de enfriamiento I (C.A.)
- M.- Falla en el banco de enfriamiento II (C.A.)
- N.- Falla en el banco de enfriamiento III (C.A.)
- O.- Falla en las motobombas y/o falla en los ventiladores

**ALARMAS DE EMERGENCIA**

- B.- Sobreelevación de la temperatura de los devanados 110 °C
- E.- Opera emergencia, relevador Buchholz y/o RS 2001
- F.- Relevador mecánico de sobrepresión del tanque principal
- P.- Falla la alimentación de corriente directa

**IDENTIFICACION DE GABINETES**

- G-1 (MA-7) Mando motor cambiadores bajo carga
- G-2 Gabinete de control principal
- G-2X Gabinete de control del banco de enfriamiento
- G-4 Gabinete de control de paralelo de bancos  
 Gabinete de alarmas (alertas y emergencias)  
 Unidad terminal remota, localizada en el centro de operación y control, del sistema central  
 (operación sistema)

### **3.3.5 ROTULADO Y PINTURA**

Una actividad no del todo prioritaria pero si necesaria al término del montaje e instalación de cualquier equipo que trabaja al intemperie es la pintura aplicada sobre todas las superficies del mismo. La excepción no podía ser el autotransformador, por lo que se procedió a repintar todas sus partes y accesorios, previamente habiendo efectuado la limpieza correspondiente con alcohol industrial, estopa, e incluso lavando con agua y jabón algunas superficies para retirar los escurrimientos de aceite, para permitir una adherencia total de la pintura. Se pintó de color gris arena.

Una vez que se ha terminado con la etapa de pintura se comienza con el rotulado, el cual consiste en indicar o identificar con su nombre correcto a los gabinetes, instrumentos, indicadores, válvulas, relevadores, etc., toda aquella leyenda que es importante para el personal operativo y de supervisión encargado del correcto funcionamiento. El rotulado se hizo con pintura de color rojo.

### 3.4 DETALLES DE ACABADO

#### 3.4.1 INSTALACION Y CALIBRACION DE INDICADORES DE TEMPERATURA

Dentro de la protección con que cuenta un transformador encontramos la utilización de indicadores de temperatura, para el aceite y devanado. Estos indicadores tienen la función de detectar la temperatura que llega a alcanzar tanto el aceite como el devanado durante el funcionamiento del transformador.

El indicador de temperatura de aceite va colocado en la parte superior de la pared del tanque cerca del lado de alta tensión, dentro de una camisa metálica que va inmersa en el aceite se aloja el bulbo sensor, por la parte externa tiene una carátula que es donde se indica la temperatura por medio de una aguja, la que a su vez cuando llega a un valor determinado envía una señal de alerta, para que se tomen las medidas pertinentes por el personal encargado de su operación. La calibración de este instrumento se logra mediante un tornillo de ajuste que lleva en la parte inferior de la carátula, para que el cierre del contacto de alarma opera a los grados que se ajuste (75 °C).

El indicador de temperatura de devanado o en algunos casos llamado relevador térmico, detecta e indica la temperatura máxima del aceite o del devanado de un transformador. También tiene funciones de protección dando una alarma o señal de disparo, así como la función automática para controlar el sistema de enfriamiento, para ello se cuenta con tres contactos con diferente función; el primero se encarga del arranque del primer grupo de enfriamiento (FOA 1); el segundo del otro grupo de enfriamiento (FOA 2) y el tercer contacto se encarga de la alarma de alta temp., para indicar que el transformador se encuentra a una temperatura extrema que puede provocarle daños considerables a la unidad y disturbios al Sistema.

La calibración se hace mediante los tornillos de ajuste ubicados en la parte trasera de la carátula del indicador, para el arranque y la alarma.

El tipo de termómetro utilizado, es uno con resistencia de platino, que es un transductor que opera con el principio del cambio de la resistencia eléctrica de platino en función de la temperatura.

El corazón del termómetro de resistencia de platino es el elemento sensible hecho de una bobina de un conductor de platino de alta pureza con una cubierta de cerámica.

### 3.4.2 PRUEBAS A CONTROLES Y ALARMAS

Cuando se han terminado de instalar todos los accesorios, se ha llenado y revisado en general el trabajo desempeñado, se requiere de efectuar una revisión y verificación de la operación correcta de los controles y alarmas del autotransformador, como parte de garantizar el buen funcionamiento del equipo, así como de poder estar seguro de que brindará un rendimiento total. Para iniciar esta etapa se debe revisar a conciencia hasta quedar convencido de que las conexiones estén correctamente. Además se deben realizar una serie de pruebas de funcionamiento de todos los equipos auxiliares. Esta etapa comprende el control de calidad final interno del personal de montaje.

Las pruebas que se efectuaron son las siguientes:

- Se verifica la operación de cada una de las alarmas, simulando desde su origen hasta la operación local en el módulo de alarma correspondiente.
- Operación de arranque y paro de los grupos FOA 1 y 2, haciendo trabajar en forma simulada el termómetro de la temperatura de devanado, de acuerdo a la calibración a que se determinaron. Esto se logra en su forma más simple al introducir el bulbo sensor en aceite caliente y después dejándolo enfriar.
- Mediante los pulsadores de prueba o bien con nitrógeno forzado, a través de la purga de relevador Buchholz, probar el cierre de contactos de alarma y disparo del mismo.
- De igual forma con los relevadores R-S2001.
- Arranque, paro y sentido de rotación de los grupos de enfriamiento, ventiladores y motobombas de aceite.
- Prueba de lámparas de los diferentes módulos de alarmas.
- Operación normal del cambiador bajo carga en forma manual y automática, haciendo un recorrido completo de todos los taps, operando los botones de subir y bajar, así como la

palanca manual.

- Se deberán recibir las alimentaciones de corriente directa y alterna.
- La señalización de alarmas y operación de equipo en el gabinete G-4 y en G-2X, y en el tablero general de señalización y control.

Cabe mencionar que estas pruebas son muy importantes por lo que no se pasó ninguna por delante.

Se instaló el relevador Buchholz del tanque principal al tanque conservador y se instalaron los deshidratadores del conservador (tanque principal) y del compartimiento del cambiador.

Con la línea de vacío instalada en la parte superior del conservador y la entrada del aceite por la válvula de drenado del conservador, se completó el volumen de aceite requerido, haciendo vacío espaciadamente y controlando la entrada de aceite mediante los indicadores de nivel de aceite hasta llegar al nivel de high (alto), entonces se suspende la inyección de aceite, se retira la línea de vacío y se deja reposar. Al día siguiente se abrieron las válvulas de interconexión entre tanque principal y banco de enfriamiento, se destapan los tapones superiores de cada radiador para que escape el aire (se purga), entonces el nivel en las carátulas de los niveles de aceite desciende, se colocan intermedio entre 25 y high, se ha llenado totalmente con aceite el Autotransformador.

## **CAPITULO IV**

### **PUESTA EN SERVICIO**

#### 4.1 ENTREGA A LOS DEPARTAMENTOS RECEPTORES

Antes de pasar a la etapa de entrega de equipo a los departamentos receptores, se efectuó una serie de pruebas de funcionamiento de todos los equipos auxiliares, ventiladores, motor de los cambiadores, bombas de aceite, etc. Con el objeto de garantizar el buen funcionamiento del equipo instalado, agilizar la entrega y encontrar el menor número de fallas. Las pruebas desarrolladas fueron las siguientes:

- 1) Se verifican la correcta operación de las alarmas, simulándose desde su origen hasta la operación local en el módulo de alarmas correspondientes.
- 2) Operación de arranque y paro de los grupos FOA 1 Y FOA 2, haciendo trabajar en forma simulada el termómetro indicador de la temperatura de devanado.
- 3) Mediante los contactos del relevador Buchholz con puente se opera la alarma y la emergencia (DISPARO), o bien por medio de nitrógeno inyectándose por la tubería de purga. De igual forma a los relevadores RS-2001, de cada uno de los cambiadores.
- 4) La operación correcta de los pulsadores, botones y control en general de cada gabinete.
- 5) Operación normal del cambiador de derivaciones en baja, por medio de su motor y con la manivela.
- 6) Prueba de lámparas de señalización de cada gabinete.
- 7) Operación correcta del equipo inerte, cilindros llenos y sin fugas.
- 8) Sequedad de la sílica en el equipo deshidratador.
- 9) Fugas: Se revisó cuidadosamente que no existan fugas. Las partes principales donde se llegan a presentar son:
  - Entrada de hombre.
  - Tapa principal.
  - Bases de boquilla.
  - Bridas de acoplamiento.

Tubería de liga (o venteo)

Radiadores.

Motobombas.

Indicadores.

Soldaduras.

Entonces se tuvo cuidado de no pasar por alto cualquier mancha de aceite en estos accesorios o en otro lado del autotransformador.

10) La pintura y los rótulos en forma correcta.

Al término de estas actividades se procede a programar la cita con los departamentos encargados de recibir el equipo instalado. Estos departamentos también son parte de la Compañía y son: Mantenimiento Eléctrico, Laboratorio, Operación Subestaciones y Operación Sistema. Cada uno de ellos cumple ó mejor dicho tiene un fin.

Mantenimiento Eléctrico, como su nombre lo dice es el que se encarga de las reparaciones del equipo en las subestaciones durante su vida útil.

Laboratorio es el departamento de control de calidad y sobre todo el que revisa la correcta funcionalidad de los equipos de protección y medición de las subestaciones.

Operación Subestaciones es el personal que directamente se encarga de la operación del equipo dentro de las Subestaciones del Sistema de la Compañía y que es donde se realiza la distribución de la energía eléctrica.

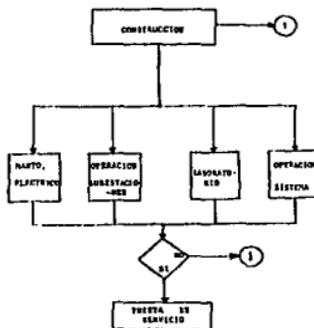
Operación Sistema es por definición el encargado de supervisar y comandar los enlaces, conexión e interconexiones de la red eléctrica dentro de la Zona Distrito Federal y Zona Metropolitana.

Cuando la instalación y las pruebas eléctricas han sido efectuadas en su totalidad y una vez que se tiene la completa seguridad de que ya no se tienen fallas o faltantes se cita a los receptores.

La forma de entrega se divide en dos partes principales:

- 1.- Primeramente se hace una simulación de la operación del equipo (alarmas) y gabinetes de control, se revisan el acabado de alambrado, funcionamiento de controles, equipo Inertaire, etc.  
Se revisa la secuencia de fases, el arreglo del neutro, conexión de tierras, pintura rotulado, placas descriptivas e indicativas de los accesorios, incluyendo la placa de características.
- 2.- La segunda etapa y definitiva de entrega es la que se realiza durante la puesta en servicio y toma de carga. En esta etapa se hace entrega del reporte final de montaje y el protocolo de pruebas.

A continuación se puede observar un diagrama ilustrativo de como se realiza la entrega a los departamentos receptores:



#### **4.2 PROGRAMACION PARA LA PUESTA EN SERVICIO**

Una vez que se cumplió con la primera etapa de la entrega a los departamentos receptores, se elabora en común acuerdo con ellos mismos, la fecha para la puesta en servicio prueba con potencial la toma de carga.

Se elabora un programa, y se coordinan los detalles necesarios. En este programa se contienen todas las actividades para toda la subestación en conjunto. Más nos enfocaremos a nuestro tema concerniente.

Por nuestra parte se hacen las consideraciones previas a la puesta en servicio que consistieron en revisar lo siguiente:

- Nivel de aceite del transformador.
- Nivel de aceite en el Cambiador.
- Agujas de arrastre en posición original.
- Purgar relevadores: Buchholz y RS-2001.
- Válvulas de bombas y radiadores abiertos.
- Válvulas del Relevador Buchholz abiertas.
- Válvulas del Relevador RS-2001 abiertas.
- Prueba de lámparas en el módulo de alarmas.
- Cierre de toggle switch de todas las alarmas.
- Cuchillas de emergencia (DISPARO BUCHHOLZ) cerradas.
- Válvulas de sobrepresión con contacto listos para operar.
- Interruptores termomagnéticos de grupos FOA y control del cambiador de derivaciones bajo carga en posición cerrada.
- Los cambiadores en posición nominal.

- **Purga de radiadores y motobombas.**
- **Secundarios de TCS en corto circuito si no están conectados a su carga.**
- **Conexión de tierra bien fijas.**
- **Hacer revisión final para constatar que no existe ningún bushing en corto o a tierra, y que no se haya dejado ningún material o herramienta sobre la cubierta del autotransformador.**
- **Los bushings en sus conexiones a sus zapatas de línea con el apriete correcto.**

#### 4.3 PRUEBA CON POTENCIAL

El día en que se efectuó la prueba con potencial fue realizado el 12 de diciembre de 1990. Este día era el momento en que se verían los resultados logrados después de casi 15 meses de labores, desde la recepción en la fábrica hasta la entrega en operación al Sistema Eléctrico Central, que maneja Compañía de Luz y Fuerza.

Para lograr alcanzar esta actividad se requirió, momentos antes de ser energizado el autotransformador T 411-C (Al igual que las otras dos unidades y la Subestación en general) de hacer la revisión final, ver cuadro en la fig. 4.3.1

Este es un patrón que ha sido elaborado en base a las experiencias de muchos años y otras bastantes obras de construcción de subestaciones, sin dejar de considerar que este tipo de equipo con las características descritas eran instalados en el País, por primera vez.

Teniendo como bases los principios de una coordinación precisa y completa comunicación para el desarrollo de la puesta en servicio.

Habiendo terminado con la revisión final completa los pasos siguientes fueron:

- Se posicionaron los selectores del Banco T 411-C en control local, de igual forma las otras dos unidades T 411-A y T 411-B.
- Cada unidad se colocó en el tap nominal.
- Se acordó la zona de Bancos de Potencia con una cinta de seguridad y retiro del personal de la misma, detrás de la cinta de seguridad.
- Se colocaron los selectores del banco de enfriamiento en automático para cada unidad, en sus dos grupos FOA.

- Se comunicó con el Centro de Operación y Control, de Op. Sistema para dar inicio a la... excitación con potencial eléctrico.

Siendo las 11:30, se cierra el Interruptor correspondiente a la Línea Cuajimalpa 1 y 2, respectivamente; de tal forma que se energizan las barras B 1 y B 2 de 150 KV.

Para las 11:40 se cierran cuchillas del Banco T 411-A, T 411-B y T 411-C, enseguida su interruptor propio, que enlaza a los Bancos y las Barras de 150 KV. En este momento se excitan las tres Unidades escalonadamente una tras otra.

A continuación es permitido el acceso al personal de nosotros, para la revisión de los Bancos ya excitados. Acercando el oído, en lo mayor posible, a la pared del tanque principal para escuchar el nivel de ruido en su interior; el sonido es constante y no se escuchan ruidos anormales. Los indicadores de temperatura permanecen igual que antes de excitarse con tendencia a subir conforme va transcurriendo el tiempo. Las alarmas permanecen estables (no operó ninguna); de igual forma los grupos FOA's de cada Unidad permanecieron sin activarse.

Después de media hora de estar excitados los Bancos se procede a realizar un "barrido" (recorrido) de los diferentes taps, iniciando del nominal al extrasuperior, No. 33; después se regresa uno a uno hasta el tap inferior No. 1 y por último se regresó al tap nominal 17, esto se hizo en forma sincronizada e independientemente cada Unidad. Para continuar se procede a excitar por el lado de alta tensión, desconectando primeramente por 150 KV.

Siendo las 13:00 aproximadamente a través de la Línea Nopala 1 y 2, se cierra interruptor para excitar Barras 1 y 2 de 400 KV, respectivamente.

PRECAUCIONES PREVIAS A LA PUESTA EN SERVICIO

NÚM.	CONCEPTO	REVISIÓN
1	NIVEL DE ACEITE DEL TRANSFORMADOR	✓
2	NIVEL DE ACEITE DEL CAMBIADOR DE DERIVACIONES	✓
3	AGUJAS DE ARRASTRE DE TERMOMETROS EN POSICION ORIGINAL	✓
4	PURGA DEL RELEVADOR BUCHNOLZ	✓
5	PURGA DE BOQUILLAS 11, 14, 11, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22	✓
6	VALVULAS DE BOMBAS Y RADIADORES ABIERTAS. VALVULAS DE RADIADORES 101, 102, 103, 104, 105	✓
7	VALVULAS DE RELEVADOR BUCHNOLZ ABIERTAS	✓
8	VALVULAS DE PURGA BUCHNOLZ CERRADAS	✓
9	VALVULAS DE RECUPERADOR DE GASES ABIERTAS	✓
10	PRUEBA DE LAMPARAS EN MODULO DE ALARMAS	✓
11	INTERRUPTORES DE LAMPARAS CERRADOS EN MODULO DE ALARMA.	✓
12	CUCHILLAS DE DISPARO DE BUCHNOLZ Y RECUPERADOR DE GASES CERRADOS	✓
13	TERMOMAGNETICOS DE GRUPOS P0A Y CAMBIADOR EN POSICION CERRADO	✓
14	CAMBIADORES DE DERIVACIONES CON O SIN CARGA EN POSICION NOMINAL TP1, TP2	✓
15	SEGURIDAD CAMBIADOR SIN CARGA PARA QUE NO SEA OPERADO CON EL TRANSFORMADOR ENERGIZADO	✓
16	BOQUILLAS NO CORTOCIRCUITADAS Y/O A TIERRA 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100	✓
17	LIMPIEZA ABSOLUTA EN LA CUBIERTA DEL TRANSFORMADOR	✓
18	TC's CONECTADOS A SU CARGA O EN CORTO CIRCUITO TCs A CERRADO, TCs en posición TCs en posición	✓
19	TP's CONECTADOS PERO NO CORTOCIRCUITADOS NO TIENEN TP'S	✓
20	APRIETE CORRECTO ENTRE BOQUILLAS Y ZAPATAS DE LINEAS 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100	✓
21	A PRUEBA DE CAMBIADOR AUTOMATICO BAJO CARGA, PROBADO EN SERVICIO.	✓

PURGA A CAMBIADORES 11, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100; REVISION CAMBIADORES 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100

REVISION:



CORRECTO

INCORRECTO

SIN REVISAR

POURGA RADIADORES OK ✓

OBSERVACIONES:

CONEXION BUJIA A TIERRA OK; REVISION MECANICA - 2.9 MA, 10/22 ✓

13 K CU POSICION FUERA DURANTE LA PRUEBA DE POTENCIAL ✓

MIRILLA BUCHNOLZ CAMBIADOR X, X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub> NIVEL DE ACEITE BOQUILLAS 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100

CUCHILLA DE DISPARO POR TEMP. 110°C ✓

R E C I B I E R O N

NOMBRE	FIRMA	FECHA	DEPARTAMENTO
Ingen. L. Martínez M.	<i>[Signature]</i>	22-Dic-90	Operación Sistema
ING. M.A. VIZQUEZ LEIVA	<i>[Signature]</i>	22/Dic/90	SUBESTACIONES

I N G . R E S I D E N T E

NOMBRE	No. DE TRABAJADOR	FIRMA	FECHA

XC-88	Rev.																		
-------	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Enseguida se hace el cierre del interruptor propio de cada Banco de forma escalonada. De igual modo que en baja tensión se procede a su revisión, sin encontrar ninguna anomalía.

Para las 14:00 horas se vuelve a excitar por el lado de 150 KV sin desconectar el lado de alta tensión. Así permaneció. A las 15:00 se comienzan a operar las Unidades desde el Gabinete G-4. Para ello en los G-1 de los Autotransformadores se coloca el selector en posición distante (D) y para G-4 en la forma siguiente:

T 411-A SEGUIDOR;      T 411-B SEGUIDOR      Y      T 411-C

Y en forma sucesiva como lo indica el cuadro de la fig. 4.3.2

El siguiente paso fue colocar a G-4 en su selector en la posición remota para que Operación Sistema (C.O.C.) se encargará de su operación desde la misma central.

De esta forma se daba por culminado en forma correcta y exitosa la toma de potencial eléctrico el Banco T 411-C, además de las otras dos unidades y el conjunto en forma completa de la S.E. San Bernabé. Ya sólo restaría que tomase carga de acuerdo a las disposiciones y necesidades del Sistema.

INTRUCCIONES DE OPERACION PARA EL CAMBIO DE DERIVACIONES

INTRUCCIONES DE OPERACION PARA EL CAMBIO DE DERIVACIONES BAJO CARGA  
DE LAS UNIDADES A, B y C CORRESPONDIENTES A S.E. SAN BERNABE

SELECTOR EN G-4 LDR			SELECTOR EN G-4 MSI			L=LOCAL D = DISTANCIA R = REMOTO	M O= MAESTRO S = SEGUIDOR I = INDEPENDIENTE	
UNIDAD			UNIDAD			FUNCION		
A	B	C	A	B	C			
L	R	R	I	M	S	UNIDAD A	CUANDO SE DESEA HACER	
R	L	R	M	I	S	UNIDAD B	CAMBIOS EN UNA UNIDAD	
R	R	L	M	S	I	UNIDAD C	DESDE G-1	
D	D	D	I	M	S	UNIDAD A	CUANDO SE DESEA HACER	
D	D	D	M	I	S	UNIDAD B	CAMBIOS EN UNA UNIDAD	
D	D	D	M	S	I	UNIDAD C	DESDE G-4	
D	D	D	M	S	S	UNIDAD A COMANDA A UNIDADES B y C	CUANDO SE DESEA HACER	
D	D	D	S	M	S	UNIDAD B COMANDA A UNIDADES A y C	CAMBIOS EN PARALELO	
D	D	D	S	S	M	UNIDAD C COMANDA A UNIDADES A y B	DESDE G-4	
R	R	R	M	S	S	UNIDAD A COMANDA A UNIDADES B y C	CUANDO SE DESEA HACER	
R	R	R	S	M	S	UNIDAD B COMANDA A UNIDADES A y C	CAMBIOS EN PARALELO	
R	R	R	S	S	M	UNIDAD C COMANDA A UNIDADES A y B	DESDE SISTEMA	

**PRUEBAS Y MEDICIONES DURANTE LA PUESTA EN SERVICIO DEL  
AUTOTRANSFORMADOR T 411-C No. SERIE N308-03**

Hora	Temperatura	Temperatura	Posición	Medición	Medición
	Ambiente	Aceite	Tap	en 400 KV	en 150 KV
13:20	17.1 °C	20 °C	9	409 KV	-
13:35	17.1	20	10	409	-
13:50	17	20	11	409	-
14:45	17	20	12	409	-
15:00	16.7	20	13	410	-
15:15	16.5	20	14	411	155
15:30	16.5	20	15	412	155
15:45	16.5	20	16	410	151
15:46	16.3	20	17	412	151
15:47	16.3	20	18	412	151
15:48	16.2	20	19	412	151
15:49	16.3	20	20	412	151
15:50	16.3	20	21	412	151
15:51	16.1	20	22	412	151
15:52	16.1	20	23	412	151
15:53	16.1	20	24	412	151
15:54	16.0	20	25	412	151
15:55	16.0	20	24	412	151
15:56	16	20	23	412	151
15:57	16	20	22	412	151
15:58	16	20	21	412	151
15:59	16	20	20	412	151

Hora	Temperatura	Temperatura	Posición	Medición	Medición
	Ambiente	Aceite	Tap	en 400 KV	en 150 KV
16:00	15.9	20	19	412	151
16:01	15.9	20	18	412	151
16:02	15.9	20	17	412	151
16:03	15.9	20	16	412	151
16:04	15.9	20	15	412	151
16:05	15.9	20	14	412	151
16:06	15.9	20	13	412	151
16:07	15.9	20	12	411	152
16:08	15.9	20	11	411	152
16:09	15.9	20	10	411	151
16:10	15.9	20	9	411	151
16:11	15.9	20	8	411	151
16:12	15.9	20	7	411	153
16:13	15.9	20	6	411	153
16:14	15.8	20	5	411	154
16:15	15.9	20	4	411	154
16:16	15.9	20	3	411	154
16:17	15.8	20	2	411	154
16:18	15.8	20	1	411	154
16:20	15.8	20	9	413	164

Estas mediciones se realizaron después de una hora con veinte minutos de haberse excitado el autotransformador, por lo que hasta la última lectura llevaba ya cuatro horas de energizado sin tener ningún problema.

TIEMPO	TEMP. DE ACEITE			POSICION TAP	MEDICION EN A.T. (400 KV)	OBSERVACIONES
	411-A	411-B	411-C			
12:15	18	16	15	8	402 KV	12:15 entra 411 A
12:20	18	16	15	8	402	12:16 entra 411 B
12:25	20	18	16	8	402	12:17 entra 411 C
12:30	20	18	16	8	402	A las 13:13 se colocó
12:45	20	18	16	8	402	el selector en G-4
13:00	20	18	16	8	405	en señal remota para
13:15	20	19	17	8	405	que operara Sistema.
13:30	20	19	17	8	405	
13:45	20	19	17	8	404	A las 16:00 se prue-
14:00	20	19	17	8	404	ban los bancos de
14:15	20	20	17	8	402	enfriamiento de cada
14:30	20	20	19	8	401	Autotransformador.
14:45	20	20	20	8	401	
15:00	20	20	20	8	401	*Toma de muestra
15:15	23	23	20	8	401	de aceite en cada
15:30	23	23	20	8	401	Banco, para análisis
15:45	25	24	20	8	401	en Laboratorio.
16:00	25	25	20	8	401	
16:15	25	25	22	8	401	El funcionamiento de
16:30	25	25	23	8	401	las Unidades es
16:45	28	25	23	8	401	correcto.
17:00	28	25	23	8	401	
17:15	20	20	18	8	410	
17:30	20	20	18	8	410	

Esta operación se realizó el día 13 de diciembre de 1990, un día después de haberse efectuado prueba con potencial.

## CONCLUSIONES

Después de haber terminado con la descripción del proceso de montaje y puesta en servicio del Autotransformador T-411 C de la S.E. San Bernabé y habiéndose explicado las actividades más relevantes presentó las conclusiones particulares de cada tema y una en general, con el propósito de que el trabajo antes descrito sea más claro.

Primeramente se observa en el capítulo primero, que la experiencia en el montaje de transformadores pone de manifiesto que el seguimiento de los mismos desde su fabricación y apoyados en programas de actividades, permite alcanzar óptimos resultados que se ven reflejados en los costos de instalación y también en la calidad del trabajo ejecutado. Por lo que es necesario la planeación de un trabajo sin pasar por desapercibido el menor detalle, lográndose así una buena programación de actividades.

Resulta importante y fundamental que el encargado de la recepción en fábrica (Ing. Residente de Obra) se integre y documente, auxiliándose de manuales, instructivos, estadísticas, normas nacionales extranjeras, protocolos para el caso de pruebas eléctricas.

Cuando se llegan a presentar dudas e incertidumbres, es necesario recurrir o consultar con sus jefes inmediatos o con aquellos de mayor experiencia para poder encontrar solución a dichos problemas. El no hacerlo puede repercutir posteriormente, ocasionando daños al equipo o personal relacionadas a esta labor que pueden ser no reparables.

En el segundo capítulo se hizo ver la importancia de llevar el control preciso de las condiciones en que se transporta y cuando llega a su sitio de instalación. Con esto se refleja o debe entenderse que cuando se comienza una tarea habrá que terminarla en forma completa y más aún si se trata de equipo tan delicado; siempre y cuando no existan inconvenientes que

no estén a nuestro alcance resolverlos. Para ello es necesario contar con los recursos necesarios: personal, herramienta, equipo, material, etc...

Durante la etapa de armado y montaje se realizaron actividades bastante laboriosas y complejas; como en el caso particular del encintado de guías entre bobina y los cambiadores en cada una de sus fases (por el lado de baja tensión) en las que se observó claramente de la determinación de un programa sobre la actividad a realizar. Éste contó con el apoyo técnico del Ingeniero y lo práctico con el personal de montaje, donde se aprecia en forma bien definida la relación que guarda la teoría y la práctica. La importancia de efectuar las conexiones de acuerdo al diseño para lograr obtener las relaciones de tensión eléctrica (voltaje) deseada; y de la forma en que lo realiza el personal nos referimos al acabado, limpieza y calidad en su trabajo, basado en la experiencia, como se demostró una vez que se puso en servicio el Autotransformador.

Así como se ha planteado el ejemplo antes citado, se podrían mencionar más ejemplos, pero no se trata de esto. Durante estas actividades se experimentó algo que es muy común; se encontraron algunas fallas durante el armado: en los transformadores de corriente no correspondían a las características deseadas para la protección diferencial corta; los conectores de las boquillas eran demasiado pesados para el pequeño espacio de rosca en los que se deberían montar, etc., de los que conforme se presentaron se fueron resolviendo gracias a la experiencia y aplicando un poco de teoría.

Mediante lo explicado se quiere resaltar que es necesario que el profesional esté siempre al día en cuanto a sus avances en la labor que dirige, porque de otra forma, se generarán problemas en las mismas. Por lo tanto, la supervisión en el trabajo deberá estar siempre presente. También es importante crear conciencia, en el personal que se dirige y que es directamente el que realiza los trabajos del papel tan importante que juegan en las labores de

tal forma que se sientan en un ambiente propicio para el desarrollo íntegro de su capacidad de trabajo.

Para el cuarto capítulo se observó que es la etapa de evaluación del trabajo encomendado a la Gerencia de Construcción; es la definición clara de tener seguridad de haber realizado un trabajo correcto, y que se sometió a la revisión por parte de otros departamentos de la misma compañía.

Con la puesta en servicio se demostró que el trabajo en conjunto de las diferentes áreas de Construcción fue un éxito, lo cual valora el trabajo realizado. Es preciso resaltar que durante la puesta en servicio de la Subestación San Bernabé, en la que se manejan altas tensiones, 400 y 150 KV, se cuidó de observar las medidas de seguridad para evitar accidentes fatales, de donde, como ya se dijo anteriormente, el ingeniero será el responsable de que se cumpla con ello.

Como conclusión general de la presente tesis mencionaré lo siguiente:

El profesionalista que egresa de las escuelas de enseñanza superior, comúnmente no cuenta con experiencia en su ámbito para el que estudió. Por lo que debe valorar a aquellos factores, tanto humanos como material, que intervendrán para su desarrollo profesional. Esto quiere decir que se debe fomentar hacia uno mismo la tarea de entender, compartir y aportar sus conocimientos con toda aquella persona con la que tendrá relación de trabajo. Para ello se tendrá que sustentar y apoyar con sus conocimientos adquiridos a través de sus estudios, por lo que es obligación tener bien fundamentados y actualizados conforme se irá requiriendo. Además debe ser inquieto, capacitarse y adiestrarse día con día dentro de su campo de trabajo.

## APENDICE I

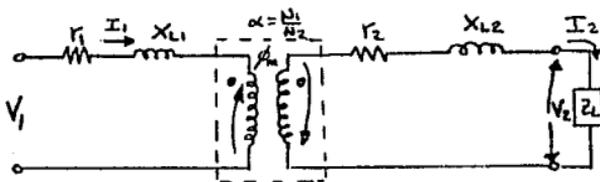
### TEORIA DEL TRANSFORMADOR

Cuando existe inducción mutua entre dos bobinas o devanados, entonces un cambio de corriente en una de ellas induce una tensión en la otra. Los dispositivos que funcionan con base en este principio reciben el nombre de transformadores. Todo transformador tiene un devanado primario y uno o más devanados secundarios.

El devanado primario es el que recibe energía eléctrica de una fuente de energía y acopla esta energía al devanado secundario por medio de un cambio magnético variable. La energía aparece como una fcm en el devanado secundario y si se conecta una carga al secundario, entonces la energía es transferida a la carga. La transferencia de energía se efectúa completamente a través del campo magnético. Entonces el transformador funciona como dispositivo de acoplamiento. Los transformadores son indispensables en la distribución de potencia de C.A. ya que pueden convertir potencia eléctrica en condiciones dadas de corriente y tensión a la potencia equivalente, con otros valores de corriente y tensión.

En un transformador con secundario abierto, el primario funciona esencialmente como un inductor. Esto significa que la corriente primaria está atrasada  $90^\circ$  con respecto a la tensión aplicada y al mismo tiempo está adelantada  $90^\circ$  a la fcm. La mayor parte de los transformadores están diseñados para que tengan una elevada fcm. Inducida en el primario cuando se abre el secundario, de manera que la corriente primaria es muy baja.

Cuando se conecta una carga al secundario de un transformador, hay corriente en el secundario. Como en cualquier inductancia, la corriente en el devanado secundario estará atrasada  $90^\circ$  con respecto a la tensión secundaria que la produce.



*Transformador Ideal*

La autoinducción en una bobina o conductor en realidad es una fuerza contra electromotriz que se genera cuando el campo magnético originado por el flujo de corriente corta a la bobina o conductor. Si las líneas de flujo del campo magnético se expanden o contraen en una bobina, cortarán los devanados de otra bobina cercana, también se induciría una tensión en esa segunda bobina. La magnitud de la fem inducida de esta manera depende de la posición relativa de las dos bobinas. Esta inducción de fem en una bobina, o conductor por líneas de flujo generadas en otra bobina o conductor, recibe el nombre de inducción mútua.

La inducción mútua depende del eslabonamiento de flujo entre las bobinas. El grado de encadenamiento de flujo se expresa por medio de un factor que se llama coeficiente de acoplamiento. Cuando todas las líneas de flujo de cada bobina cortan o se concatenan con la otra, el coeficiente de acoplamiento es 1, que es el valor máximo. Cuando se conoce el coeficiente de acoplamiento entre dos bobinas, la inductancia total de las dos bobinas se determina por:

$$M = k (L_1 \times L_2)^{1/2}$$

Donde M es la inductancia total de las dos bobinas mutuamente acopladas, dada en henrys; k es el coeficiente de acoplamiento;  $L_1$  y  $L_2$  son las inductancias de cada una de las

bobinas expresadas en henrys.

Cuando existe muy poca corriente en el secundario de un transformador que contiene una carga resistiva, la tensión y la corriente tanto en el primario como en el secundario están defasadas 90 grados. Pero al aumentar la carga en el secundario, se reduce el ángulo de fase entre la tensión y la corriente primarias y entre la tensión y la corriente secundarias.

Un transformador transfiere potencia eléctrica del primario al circuito secundario. La potencia que es transferida está determinada por la corriente del secundario que, a su vez, depende de la potencia que requiere la carga. En un transformador ideal, la potencia en el primario es igual a la potencia en el secundario. Puesto que la potencia es igual al producto de la corriente por la tensión, la ecuación que determina la relación entre la potencia primaria y la secundaria es idealmente:

$$E_p \times I_p = E_s \times I_s$$

Una aplicación importante del transformador es la transmisión de potencia de un circuito primario a un secundario sin que ésta se vea afectada, esto se logra debido a que con una tensión aplicada en el primario, la tensión en el secundario dependerá del número de espiras en el devanado secundario, comparado con el número de espiras del devanado del primario.

Cuando el devanado secundario tiene más espiras que el primario, la tensión en el secundario es mayor que el voltaje en el primario. En este caso, ocurre un aumento de tensión y al transformador se le llama transformador elevador de tensión. Asimismo, si el devanado secundario tiene menor número de espiras que el primario, la tensión secundaria será menor que la primaria y el transformador se le conoce como transformador reductor de tensión. En un transformador ideal la relación exacta entre las tensiones primaria y secundaria ( $E$ ) y su número de espiras ( $N$ ) se determina por la ecuación:

$$E_p \times N_p = E_s \times N_s \quad \text{ó} \quad E_p \times E_s = N_p \times N_s$$

El número relativo de espiras en los devanados ( $N_p / N_s$ ) recibe el nombre de relación de transformación y generalmente se expresa como una proporción. Puesto que la relación de transformación determina la relación entre las tensiones primaria y secundaria y puesto que, idealmente, la potencia del primario es igual a la del secundario, entonces debe existir una relación entre espiras y las corrientes primaria y secundarias. Esta relación se expresa por medio de la ecuación:

$$I_p \times N_p = I_s \times N_s \quad \text{ó} \quad I_p / I_s = N_s / N_p$$

Un autotransformador se define como un transformador que tiene un sólo arrollamiento. La acción de un autotransformador es básicamente la misma que la de un transformador común de dos devanados. La potencia se transfiere del primario al secundario por medio del campo magnético cambiante, y el secundario a su vez regula la corriente del primario para establecer la condición necesaria de potencias iguales en el primario y el secundario. La cantidad de elevación o reducción en la tensión depende de la relación de transformación (espiras) entre los devanados, considerando a cada devanado como separado, aunque algunas de las espiras sean comunes a ambos devanados, primario y secundario.

Las ventajas de utilizar autotransformadores es que:

Mayor capacidad en KVA. (Se logra obtener)

Las pérdidas son menores.

Mayor rendimiento.

Menor costo en su fabricación.

Por último señalaremos que tanto los transformadores como los autotransformadores se fabrican de una fase, tres fases, etc. y para cada tipo de estos existe un análisis teórico más profundo, por lo que se recomienda que se consulten textos más especializados.

## APENDICE II

### TEMAS SIGNIFICATIVOS

#### HUMEDAD RESIDUAL EN LOS AISLAMIENTOS

Los aislamientos sólidos de los transformadores de potencia están compuestos principalmente de papel, cartón y madera; generalmente un 95% de estos aislamientos son papel "kraft" y cartón "press board", los cuales tienen como principal componente la celulosa, la que desde el punto de vista físico, son materiales higroscópicos, conteniendo de un 8 a un 10% de su peso en humedad.

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

#### DETERMINACION DE HUMEDAD RESIDUAL

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

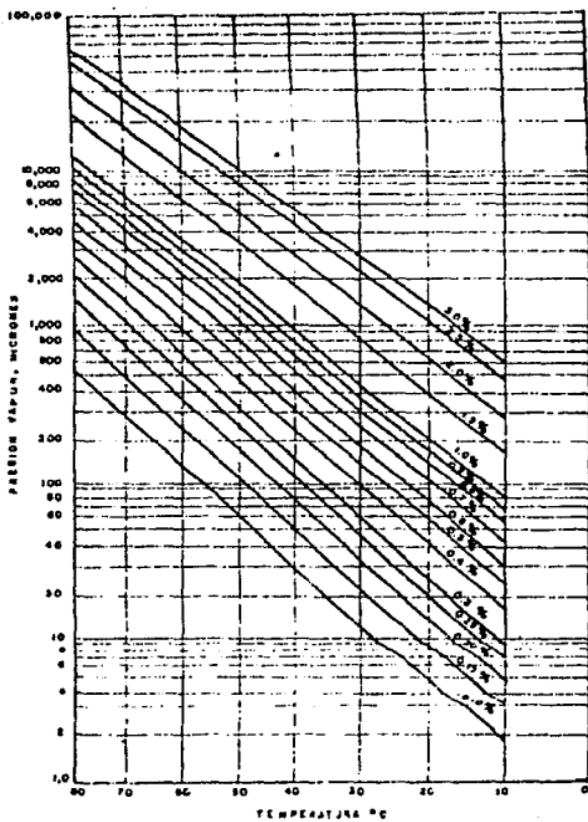
## METODO DEL PUNTO DE ROCIO DEL GAS (NITROGENO O AIRE SECO)

El punto de rocío de un gas es por definición, la temperatura a la cual la humedad presente (vapor de agua contenida en el gas) comienza a condensarse sobre la superficie en contacto con el gas; en base a este valor, se puede determinar sobre un volumen conocido la cantidad total de agua contenida en él, así como su humedad relativa. La cantidad de agua en el papel, se determina como una función de la humedad relativa del gas con el cual está en contacto cuando está expuesto hasta alcanzar condiciones de equilibrio entre sus respectivas humedades.

El procedimiento general consiste en llenar el transformador con un gas seco (aire o nitrógeno), de tal manera que al cabo de un cierto tiempo (24 horas mínimo), en el cual se alcance el estado de equilibrio en humedad, se mida el punto de rocío del gas y con este valor determinar la humedad residual en los aislamientos.

Alcanzado el punto de equilibrio, se efectúa la medición del punto de rocío y se determina la temperatura de los devanados, preferentemente por el método de medición de resistencia óhmica.

Con la presión de vapor obtenida y la temperatura de los devanados, se determina la humedad residual con la gráfica de la figura siguiente (Gráfica de Piper)



Gráfica de Piper

## SECADO DE TRANSFORMADORES

El objetivo de secar un transformador de potencia, es eliminar de sus aislamientos la humedad que se capta durante las revisiones, inspección y trabajos internos.

Para secar un transformador en campo se pueden utilizar dos métodos principalmente; dependerá tomar la decisión de acuerdo a: el tipo de la clase de aislamiento, contenido de humedad y de los medios de los que se disponga.

- 1.- Secado con alto vacío.
- 2.- Secado con vacío y recirculación de aceite caliente.

**Secado con alto vacío.** Este método consiste en sujetar a los transformadores a vacíos muy altos a temperatura ambiente, durante largos periodos de tiempo de acuerdo con la expansión y extracción de su humedad a los límites establecidos (generalmente los transformadores se fabrican con la capacidad de soportar vacío completo). Para lograr vacíos altos es necesario utilizar bombas de vacío del tipo rotatorio de un solo paso\* selladas con aceite capaces de alcanzar vacíos del orden 50 micrones (0.050 mm de Hg) y en algunos casos completar estas bombas con un soplador (reforzador, booster) en serie con la misma, con lo que es posible alcanzar hasta un micron.

**Secado con vacío y calor (aceite caliente).** Este método tiene por objeto acelerar la ebullición, expansión y extracción del agua en forma de vapor, obteniéndose secados de transformadores en tiempos muy cortos.

---

\* Actualmente se cuenta con bombas de dos pasos, que proporciona mayor eficiencia.

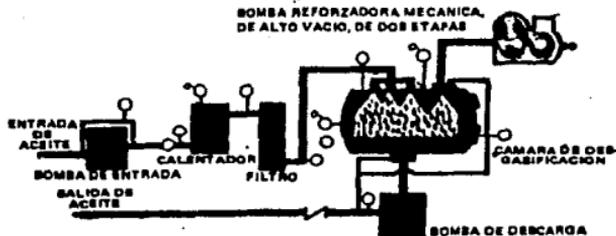
El alto vacío se logra de la misma forma como se indicó anteriormente, y el calor es proporcionado por aceite previamente calentado por circulación a través de un grupo de resistencias y a su vez circulando dentro del transformador bañando los devanados.

El equipo utilizado para lograr el secado con que se cuenta es:

- Unidad de tratamiento de aceite: consta de dos bombas de vacío, una cámara desgasificadora, cuatro grupos de resistencias calefactoras de 48 KW cada uno, y dos bombas de aceite de capacidad de 40 gpm cada una.

Como se mencionó en el capítulo tres, el proceso va en función del seguimiento que se le lleve al transformador. Para ello se realizan las pruebas de abatimiento en vacío.

En la figura siguiente se observa el diagrama del funcionamiento y los componentes de una unidad de tratamiento.



**BIBLIOGRAFIA**

- **Procesos de prueba para transformadores de potencia.**  
**Tesis Profesional, Luis F. Canela González. 1983.**
  
- **Máquinas Eléctricas y Transformadores.**  
**Irving L. Kosow. Editorial: REVERTEE. 1980**
  
- **Curso de transformadores y motores trifásicos de inducción.**  
**Gilberto Enríquez Harper. Editorial: LIMUSA. 1982.**
  
- **Manual Eléctrico Industrias CONELEC.**  
**Tercera Edición.**
  
- **Transformadores.**  
**Ing. Héctor M. Pacheco Valencia. Editores Técnicos. 1983**
  
- **Manual Elemental de Electricidad.**  
**Harry Milafay. Serie UNO-SIETE. Editorial: LIMUSA. 1984**
  
- **Electricidad Simplificada.**  
**Henry Jacobowitz. Editorial: SAYRLOS. Decimoséptima edición. Junio 1983.**
  
- **Instructivo para el montaje de transformadores de potencia.**  
**Ing. Rodolfo Galván Flores. 1985**

- **Manual de Instalación, Operación y Mantenimiento Autotransformador  
330 MVA, 400/230-150 KV. PROLEC, S.A. DE C.V. 1988**
- **Circuitos Eléctricos Serie Schaums  
Joseph A. Edminister  
Mc. Graw Hill. 1984**