



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

REPARACIÓN FALLA AUTOTRANSFORMADOR LÍNEA PARAGUAYA N°1.

Ing. Luis R. Aguirre García

División de Mantenimiento

Entidad Binacional Yacyretá

RESUMEN

En este trabajo presentaremos aspectos resaltantes en la reparación del Autotransformador de la línea Paraguaya N° 1 realizada en la Central Hidroeléctrica Yacyretá durante el segundo semestre del año 2007 e inicio del 2008.

Inicialmente será presentado las hipótesis de la posible falla; actuación del Relé Buchholz acompañados de los análisis de Laboratorio realizados durante todo el periodo de reparación y post-reparación.

El proceso de desencubado y revisión general del mismo a fin de determinar la falla.

Dentro del contenido de este trabajo detallaremos las diferentes etapas del desmontaje acompañadas de tomas fotográficas y algunos gráficos que nos ayudaran a la mejor comprensión de nuestro tema..

1. Trabajos preparatorios.
2. Desmontaje de partes componentes.
3. Trabajos sobre la parte activa.
4. Acondicionamiento del Autotransformador.
5. Secado del Autotransformador.
6. Trabajos realizados Posteriores al secado de la parte Activa.
7. Secado adicional del Autotransformador.
8. Vacío y llenado del Autotransformador con aceite.
9. Ensayos del Autotransformador.
10. Energización del Autotransformador.
11. Observaciones varias.
12. Conclusión.

PALABRAS CLAVES

Autotransformador, Bobina AT, Bobina MT, Núcleo, Cartón aislante, aceite.

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO – CIGRÉ

laguirre@eby.org.ar.



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

INTRODUCCION

Durante el diagnóstico de ATPL1 (mediciones de descargas parciales y en coincidencia con la falla, actuación del relé Buchholz y desconexión antes de los 2 minutos, el 6/03/07, se concluyó hipotéticamente que en el ATPL1 existe un deterioro que provoca una generación intensiva de gases. Por la composición y concentración de gases disueltos en aceite, el defecto puede identificarse como descargas intensivas, en el aceite, entre elementos constructivos metálicos. Las descargas tienen un carácter inestable y casual - aparecen independientemente del régimen de trabajo, pero aparecen con mayor frecuencia durante su energización. Teniendo en cuenta el corto tiempo entre la puesta de servicio y la aparición de los gases en el relé, se puede suponer, que el defecto se encuentra en la parte superior de la cuba, mas probablemente, debajo del yugo superior (deformado). No se detectan rastros de descargas eléctricas intensivas en la superficie exterior de la parte activa y en la superficie interior de la cuba. Es decir, para la detección del lugar exacto de la avería, se requiere efectuar la reparación, con el desarme de la parte activa: desencubado, desarme del núcleo, desmontaje de los arrollamientos de las columnas. Durante la reparación se deberá prever una verificación de la inexistencia de virutas en la aislación y limpieza de la base de la cuba y refuerzo de la aislación en la zona de fijación de la parte activa con los espárragos de fijación lateral.

Durante el periodo de 09 de Octubre de 2007 a 20 de Diciembre de 2007 fueron realizados los trabajos de reparación de Autotransformador 250000/500/220 kV.Fab. N° 152572 LP1. A partir de esa fecha hasta 22 de abril de 2008 se realizó el secado de la parte activa, montaje final, llenado de aceite, ensayos y mediciones en el ATPL1 así como la conexión de Sistema SF6.

Datos técnicos de ATPL1

Potencia: 250000 kVA.

Año de Fabricación: 1995.

Tensiones: 512,5/231kV.

Serie: 152572.

Corrientes: 282/625 A.

Frecuencia: 50 Hz.

N° de fases: 3.

Grupo de Conexión YN auto + d.

Enfriamiento: OFAF

1 Trabajos preparatorios

Durante los trabajos preparatorios se realizaron las siguientes tareas.

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO – CIGRÉ

laguirre@eby.org.ar.



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

- 1.1.1 Ingeniería de transporte del ATPL1 desde el Box a Nave Auxiliar de Montaje.
- 1.1.2 Acondicionamiento de la plazoleta de reparación, iluminación del lugar para trabajos nocturnos.
- 1.1.3 Acondicionamiento de las 2 cisternas para el drenaje de aceite del ATPL1
- 1.1.4 Fabricación de caballetes para el almacenamiento temporario de los aisladores de 500 y 220 kV, fabricación de herramientas sobre medida para utilización en el desmontaje de la parte activa, travesa para izaje del bobinado, soporte para el bobinado, andamios para trabajos, contenedores para el enchapado de la parte magnética, equipo para soldar codos, grampas, cuñas..
- 1.1.5 Equipamiento tecnológico.
- 1.1.6 Esquemas de drenaje de aceite, provisión a la cuba de aire seco, secado y vacío del ATPL1.

2 Desmontaje de partes componentes

- 2.1.1 Desmontaje de equipamiento de medición, protección y cableado.
- 2.1.2 Drenaje de aceite de la cuba y sistema de enfriamiento, tanque de expansión y araca de escape de gases.
- 2.1.3 Traslado del ATPL1 a la nave auxiliar de montaje.
- 2.1.4 Desmontaje de los aisladores de 500 y 220 kV , barra de neutro, torneas de aisladores.
- 2.1.5 Acondicionamiento de la campana para el desencubado (tornillos de ajuste de la parte activa, puesta a tierra de arrollamiento de compensación, ajuste del CBC).
- 2.1.6 Desencubado. Después del desencubado, la parte activa fue cubierta contra polvo y agentes atmosféricos.

3 Trabajos sobre la parte activa

Se realizó el desarme y revisión de cada fase, limpieza de todos los elementos, montaje de la parte activa, correspondiente al plan de trabajos y documentos de diseño del fabricante. Durante el proceso de reparación se desmontaron: vigas superiores, yugo superior de aislamiento, anillos de presión aislamiento del yugo superior, bobina de AT, bobina de MT, bobina de BR, todos los aisladores de separación de bobinados, aislamiento del yugo inferior, izaje hasta la altura de 150 a 200 mm y revisión de la bobina de BT de la parte exterior, el desmontaje completo solo es posible en condición de fábrica en ZTR, con el uso de de los equipos especiales. El izaje parcial de la bobina se aprovechó y revisó el aislamiento de yugo inferior y limpieza del yugo.

Para la revisión de los lugares difíciles de llegar, se utilizó un endoscopio.



3.1.1 Falla encontrada

Durante el desmontaje de la fase T del ATPL1 se ubicó la falla que se presentaba como la perforación no terminada, entre el borde superior e inferior del segundo cilindro (placa de cartón, con espesor de 3 mm.), por fuera del bobinado MT 220 kV. Los conductores de cobre del bobinado no tienen derretimiento, la falla se encuentra solamente en la aislación. El proceso de descarga de arrastre se produjo en el interior del cartón. La presencia de descarga de arrastre ramificada, en ramas finas y lugares particulares (punteados y de gran escala) y la acumulación de carbón testimonian un largo proceso, teniendo un carácter periódico, probablemente relacionado con sobre tensión conmutacional, de tormentas y también posiblemente con regímenes de cargas. En los antecedentes de análisis cromatográficos de aceite de ATPL1, se puede suponer que el proceso se desarrolló a partir del año 2001. El análisis de aislamiento de ATPL1 muestra que la presente falla podría ocurrir solo por la aparición de un factor que produzca una disminución de la rigidez intermedia eléctrica. A nuestro punto de vista (Del Fabricante), el probable deterioro del ATPL1, es un defecto oculto en el material, en este caso en el cartón. El defecto no se reveló durante el control de recibimiento del cartón y durante los ensayos del ATPL1 realizados con alto voltaje, en la fábrica y lleva un carácter casual no sistemático. Así como se puede decir que el defecto pudo aparecer durante la explotación del ATPL1, por cambio de régimen de calentamiento y enfriamiento de material. No se detectaron otros puntos de deterioro, u otros efectos de su ocurrencia.

3.1.2 Solución aplicada

Para la reparación de la falla descrita se utilizaron nuevos materiales electro-aislantes (cartón y papel aislante), adquiridos por la contratista en el mercado local (ARGENTINA), con el fin de disminuir el tiempo de reparación en comparación al tiempo que demoraría traer dichos elementos desde la fábrica (Ucrania). Se cambiaron 5 placas de cartón aislante con espesor de 3 mm. Se restauró la aislación deteriorada del bobinado MT de 220 kV. La reparación se realizó conforme a documentos de diseño originales con personal de fábrica dentro de las instalaciones de la EBY.

4 Acondicionamiento del autotransformador para el secado

- 4.1.1 Instalación de la parte activa en la base de la cuba y ajuste de la misma.
- 4.1.2 Inspección de puesta a tierra de la parte activa
- 4.1.3 Montaje de los dispersores.
- 4.1.4 Montaje de los termopares
- 4.1.5 Montaje de la campana de la cuba, tornea de los aisladores, barra de neutro, CBC y colector.
- 4.1.6 Montaje del esquema de calentamiento de la parte activa, filtrado de aceite y vacío del ATPL1.
- 4.1.7 Se comprobó la estanqueidad del ATPL1. Para el secado de la parte activa se empleó aceite propio de la explotación.



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

5 Secado del Autotransformador

El secado del ATPL1 se realizó por el método de dispersión de aceite caliente y vacío.

5.1.1 Equipamiento utilizado para la realización de esta tarea:

Calefactor tipo HME-120, Equipo de filtrado., Bomba de vacío “Pascal”, Deshumidificador “Hakinson”, Termopares adecuados.

Después de la inspección visual de los dispersores y hermetización de la cuba se efectuó el control de estanqueidad de la cuba por presión residual positiva de 0.3 kg/cm². Se controló la pérdida de vacío de la cuba. La presión residual negativa, anterior al secado era de 5,9 mm de Hg. La presión residual dentro de la cuba del Autotransformador, después del secado se estabilizó en 1,3 mm de Hg.

Cabe resaltar que la cantidad total aproximado del condensado de agua extraído resulto igual a 208 litros.

6 Trabajos realizados posteriores al secado de la parte activa

6.1.1 Drenaje del aceite tecnológico incluido el existente en el fondo.

6.1.2 Desmontaje del esquema de vacío, circulación del colector y dispersores.

6.1.3 Desmontaje de termopares.

6.1.4 Desmontaje de las torteas de los aisladores y barra de neutro.

6.1.5 Desmontaje del CBC.

6.1.6 Desmontaje de la campana de la cuba.

6.1.7 Ajuste del yugo superior.

6.1.8 Inspección del acuñado de la parte activa.

6.1.9 Prensado de los arrollamientos (80% de la tensión de fábrica).

6.1.10 Inspección del sistema de puesta a tierra.

6.1.11 Cambio de las juntas de empalme de la cuba.

6.1.12 Limpieza del núcleo, vigas de los yugos y semibandajes de corrosión.

6.1.13 Lavado de la parte activa por chorro de aceite caliente.

6.1.14 Inspección de ajuste de la fijación de las barras.

6.1.15 Limpieza del fondo de la cuba.

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO – CIGRÉ

laguirre@eby.org.ar.



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

6.1.16 Montaje de la campana.

6.1.17 Ensayos en aisladores de 500 y 220 kV antes del montaje. Resultados satisfactorios.

6.1.18 Montaje del CBC. Se aprovecho la oportunidad y se realizó el mantenimiento completo del contactor, esta tarea estuvo a cargo del personal de MR Brasil.

6.1.19 Montaje de las troteas de los aisladores, barra de neutro, válvula de sobre presión transformadores de corriente, termopares del núcleo y tornillos de ajuste de la parte activa, puesta a tierra del arrollamiento de compensación. La aislación del sector parte activa-cuba resultó 88Mohm.

6.1.20 Se realizó la inspección de las distancias aislantes, inspección ocular de la selectora. (El tiempo real de la deshermetización de la parte activa, después del secado del autotransformador fue de 35 horas y 10 minutos.

6.1.21 Se comprobó nuevamente la estanqueidad del ATPL1.

6.1.22 En el ATPL1 se creó una presión residual positiva con aire seco (punto de rocío menor a 50eC) de 0.25 kg/cm².

6.1.23 Se traslado el ATPL1 a su lugar definitivo.

6.1.24 Se montaron los aisladores, el sistema de enfriamiento, tanque de expansión y cañería de escape de gases.

6.1.25 Se montó los dispositivos de control, protección y cableado.

7 Secado adicional del ATPL1

Se realizaron dos ciclos de secado de la parte activa del ATPL1. La cantidad de condensado de agua extraída es de 7 litros.

8 Vacío y llenado del Autotransformador con Aceite

El vacío del autotransformador se realizó durante 48 horas con presión residual negativa de 0.32mm de Hg.

El ATPL1 se llenó con aceite propio acondicionado. El vacío en el equipo purificador, durante el proceso de llenado era de 0.49 mm de Hg. Se adiciono con aceite nuevo tratado aproximadamente 20 barriles.

9 Ensayo pos-reparación.(Ensayos idénticos a los protocolizados en puesta en marcha)

Revisión de la estanqueidad de ATPL1 por generación de una presión residual positiva, en el tanque de expansión de 0.1 kg/cm² durante 3 horas. Revisión de la resistencia de la aislación R60 con megóhmetros..La medición de corrientes y pérdidas de vacío en tensión 380V. Medición de las



VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

características de la aislación de los arrollamientos del autotransformador. Medición de la característica de aislación de los aisladores de 500 y 220 kV. Medición de la resistencia de los arrollamientos a la CC. Medición del coeficiente de transformación del ATPL1. Análisis cromatográficos del aceite. Verificación de las corrientes de las bombas de aceite. Todos estos ensayos fueron satisfactorios.

10 Energización del ATPL1.

El autotransformador puede ponerse en servicio después de la realización de todas las revisiones previstas para su explotación. Se entrega el ATPL1 a la empresa Japonesa JAPAN CONSORTIUM para la realización de conexión del Sistema de SF6, el 22 de Abril de 2008. Dicha tarea requiere 4 semanas de trabajo.

La energización de ATPL1 se realiza el 22 de Mayo de 2008.

11 Observaciones Varias

Tabla historial Análisis Gases disueltos en Aceite. Luego de la reparación además de estos análisis también realizamos análisis con el Cromatógrafo Portátil Kelman.

Historial de AGD

YACYRETA LP1 (152572 TRA)

Identificación Equipo	52572	Fabricante	ZAPOROZHY	Propietario	EBY
Tipo de Equipo	TRA	N° de Serie	152572	Ubicación	YACYRETA
Tipo de Fluido	ACEITE	Año de Fabricación		Designación	LP1
Volumen de Fluido		Modelo/Tipo		Descripción	
Reglas de Análisis	IEC60599	Rango kV	512	Preservación	
		Rango MVA	250	Enfriamiento	

Tanque	Fecha	Oxígeno	Nitrógeno	CO2	Hidrógeno	Metano	CO	Etileno	Etano	Acetileno	Agua
CUBA	26/08/2008	39	181	3029	746		65				
CUBA	29/07/2008	38	211	3083	783		54				4
CUBA	25/06/2008	37	1386	7141	599		40				
CUBA	02/06/2008	36	502	3254	398		26				
CUBA	29/05/2008	35	1276	3492	333		19				
CUBA	23/05/2008	34	6434	21870	191		10				
CUBA	22/05/2008	33	2622	5865	171		10				
CUBA	03/04/2008	32	65	893	25						
CUBA	23/03/2007	31	1472	4789	116	24	8	28	22	0	76
CUBA	20/03/2007	30	1478	3549	74	4	0	7	3	0	7
CUBA	16/03/2007	29	1383	6706	48	0	0	4	2	0	3
CUBA	14/03/2007	28	1334	4659	161	51	9	26	14		31
CUBA	08/03/2007	27	9029	27856	410	115	19	59	30	3	81
CUBA	06/03/2007	26	1696	6433	402	136	20	54	28	3	81
CUBA	05/03/2007	25	2695	8144	386	111	15	43	25	3	70

12 Conclusión.

Podemos decir que la falla en el autotransformador fue produciéndose por un proceso gradual de deterioro, dando lugar al inicio de un **proceso de ramificación**, que finalmente provocó una avería en el aislamiento. El proceso comienza con una pequeña burbuja de gas, o una partícula conductora extraña, en el papel impregnado de aceite y que normalmente se encuentra en el hueco formado entre



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

los bordes de las espiras adyacentes de una cinta de papel pulido. Por influencia del campo eléctrico establecido por una sobretensión transitoria o, en el caso de una burbuja de mayor tamaño, establecido tal vez por la tensión máxima normal, se produce una pequeña chispa la burbuja, o que aparece en el borde de la partícula y rompe unas cuantas moléculas de aceite y celulosa, depositando una cantidad muy pequeña de de carbono conductor en el interior de la burbuja. Pasado el tiempo y después que se hayan producido muchas chispas de este tipo, llegará un momento en el que la zona de contacto del papel carbonizado se introduzca en el papel y dentro de este ira surgiendo lentamente una ramificación de papel carbonizado. Dicha ramificación (así llamada porque se asemeja a las ramas de un árbol) empieza generalmente en un conductor con carga, o cerca del mismo y se propaga en el aislamiento debido al elevado acampo y a la alta densidad de corriente asociada, en la punta avanzada de la pista carbonizada. Para finalizar vemos que la hipótesis planteada inicialmente "posible falla entre los elementos constructivos metálicos" no se verificó durante esta reparación viendo que esta no presenta problemas, no así como en la aislación.

Actualmente llevamos 5 meses de explotación realizando periódicamente análisis de aceite de rutina y por recomendación del fabricante obteniendo resultados favorables.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Máquinas eléctricas, Editorial Mir, Moscú, Apartado segundo Transformadores, M.P. Kostenko, L.M. Plotrovski.
- [2] Informe Diagnostico de 20 Transformadores Principales y 2 Autotransformadores instalados en C.H.Y. Febrero 2007 a Abril de 2007, ZTR Ucrania.
- [3] Contrato Y-E9 Energomachexport 10 de Diciembre de 1999. Protocolo de Ensayos.
- [4] Informe técnico Reparación Autotransformador Z.T. S.A. Abril 2008.