Estudio de casos sobre degradación de la celulosa

Parte Nº 2

1. Introducción.

Siguiendo el estudio iniciado en el artículo de **Estudio de Casos sobre Degradación de la Celulosa Parte Nº 1**, y considerando lo desarrollado en el artículo de **Degradación de la Celulosa en Transformadores en Aceite**, expondremos, en esta segunda parte, otro estudio de caso relacionado con el proceso de degradación de la aislación sólida-celulosa.

Mantendremos la misma estructura, por lo que para facilitar la interpretación del análisis, hemos organizado el estudio en los siguientes ítems: 1) Características del transformador, 2) Historia Clínica, 3) Análisis, y 4) Conclusiones.

A continuación desarrollamos las distintas fases de este caso.

2. Estudio del caso.

2.1 Características del transformador

Potencia:	2000 kVA
Relación:	13,2 / 0,4 kV/kV
Año de Fabricación:	1994

2.2 Historia Clínica

Para este caso, los parámetros de interés para el estudio, indicados en la primer tabla, serán: **Contenido de Humedad en el aceite** (**Hm** en ppm), **Contenido de Acidez en el aceite** (**Az** en mgKOH/gr de ac), **Tensión Disruptiva – Rigidez Dieléctrica** (**RD** en kV), **Contenido de Inhibidor** (**IN** en g/l),**Temperatura del medio aislante** (**Tm** en ºC).

En la segunda tabla (**Tabla de contenidos de gases y compuestos furánicos)** se detallan los parámetros asociados a la cromatografía gaseosa, y los resultados derivados del análisis de furanos. Tendremos: **Metano** (**CH_4** en ppm), **Etileno** (**C_2H_4** en ppm), **Etano** (**C_2H_6** en ppm), **Acetileno** (**C_2H_2** en ppm), **Hidrógeno** (**H_2** en ppm), **Monóxido de Carbono** (**CO** en ppm), **Dióxido de Carbono** (**CO2** en ppm), **Total de**

Gases Combustibles (**TGC** en ppm), **2-Furfural** (**2-FAL**, en µl/l) y el **Grado de Polimerización** (**GP**) de la celulosa.

Se realizó solamente un cambio del líquido aislante (control Nº 7), sin registrar tratamiento del mismo, a lo largo de la historia clínica.

Los controles sobre el transformador abarcan un período que va del 10/02/06 al 17/01/11, destacando que la máquina posee una antigüedad de 16 años.

Como ocurrió en la Parte 1, aquí también indicaremos el parámetro Rigidez Dieléctrica con la sigla UD, haciendo referencia a la Tensión Disruptiva, medida en kV.

Las siglas indicadas corresponden a:

Ct: Control (refiere en general a controles de Referencia Inicial, como de Seguimiento).
NPT: Nuevo y Previamente Tratado.
RB: Relé Buchholz.

También se mantiene la referencia de colores, para indicar el estado del parámetro en cuestión:

Negro: Aceptable.
Naranja: Dudoso.
Rojo: Inaceptable.

Los límites para el análisis, corresponden a lo especificado por las Normas aplicadas, y las Recomendaciones Prácticas adoptadas. También se ha tenido en cuenta la experiencia acumulada en el análisis y diagnóstico.

Ct	Fecha	Hm	Az	RD	In	Tm	Trabajos realizados / Observaciones
1	10/02/06	20	0,06	> 60	1,2	52	Pérdidas por fase V de MT, mando de conmutador y juntas de RB.
2	15/07/06	-	-	-	-	42	Ajuste de las fases de MT, BT y mando del conmutador. Reemplazo de juntas de brida de RB
3	05/04/07	-	-	-	-	-	Termografía
4	27/02/08	49	0,1	47	0,6	75	Se recomienda reemplazar el líquido aislante
5	07/06/08	20	0,2	-	-	40	Se agregan 20 L de YPF64 NPT. Se recomienda reemplazar el LA y controlar cargas

6	07/11/09	30	0,15	38	0,5	45	Elevada Acidez y bajo contenido de inhibidor. Reemplazar el LA y controlar cargas
7	27/02/10	-	-	> 60	-	46	Vaciado, limpieza parte activa, se carga aceite YPF64 NPT
8	24/04/10	-	-	-	-	40	Reemplazo de o'ring de de mando conmutador. La resistencia de los arrollamientos en sección W-U posee un valor cercano al límite permitido. Se recomienda controlar
9	12/08/10	15	0,03	24	3	46	Pérdidas a través del RB (bridas y borneras). Se recomienda reemplazar el RB. Controlar cargas
10	06/10/10	-	-	37	-	49	Pérdidas a través del RB (bridas y borneras). Se recomienda reemplazar el RB. Se corrobora la existencia de problema interno. Degradación de la celulosa relacionada con el nivel de cargas. Baja confiabilidad.
11	17/01/11	-	-	-	-	60	Termografía y toma de muestra. Prever intervención y reparación en planta

Tabla de contenidos de gases y compuestos furánicos

Ct	CH_4	C_2H_4	C_2H_6	C_2H_2	H_2	CO	CO_2	TGC	2-FAL	GP
1	8	120	3	0	9	930	7200	1070	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	8	220	5	0	49	2000	16000	2282	1,24	441
5	8	220	3	0,4	11	1100	19700	1342,4	0,51	546
6	13	180	8	0	22	900	13100	1123	1,7	401
7	16	200	13	0	18	770	15800	1017	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	99	200	18	0,9	26	310	5100	653,9	-	-
10	86	250	24	0,6	17	310	5400	687,6	-	-
11	49	260	25	0,3	18	750	7200	1102,3	-	-

2.3 Análisis

A partir de la historia clínica podemos determinar los distintos estados alcanzados por el transformador, a lo largo de su mantenimiento. Tendremos:

- En el control Nº 1 del 10/02/06, se detectó un valor levemente alto de acidez en el líquido aislante. De los resultados de la cromatografía gaseosa se estableció que la máquina no poseía problemas internos. Se recomendó mantener bajo control el parámetro Acidez.

- Observamos que recién en el control Nº 4 (27/02/08) se realizó el seguimiento integral, en donde destacamos que el Contenido de Inhibidor cayó a valores inaceptables (caída del 50 % en dos años). También observamos el alto valor de Acidez (0,1 mgKOH/gr de ac, representando un aumento del 67 % en dos años de servicio).

- De este control es muy importante destacar el resultado del Análisis de Furanos, en donde podemos ver que el componente 2-FAL (1,24 ppm) y el Grado de Polimerización (441), alcanzaron valores que indicaban una muy probable degradación de la celulosa.

- Siguiendo con el mismo control, los resultados de la cromatografía gaseosa, nos da indicios para asumir que existe un sobrecalentamiento generalizado en el interior de la máquina, y en donde los contenidos de CO y CO_2, son consecuentes con el proceso de degradación de la celulosa.

- Por tal motivo, en el control Nº 4, se recomendó reemplazar el líquido aislante, y mantener bajo control los factores de degradación de la aislación sólida.

- De los resultados obtenidos en el control Nº 5 (07/06/11) se puede observar la tendencia creciente del parámetro Acidez, así como se corrobora la existencia de un sobrecalentamiento general, con una posible actividad de descargas. Destacamos los niveles de los gases CO y CO_2, los cuales son evidencia probable de la degradación de la celulosa, y en donde los componentes ácidos, contenidos en el líquido aislante, actúan como catalizadores de este proceso (ver artículo **Degradación de la Celulosa en Transformadores en Aceite**). Los resultados de 2-FAL y GP nos demuestra esta hipótesis. Se recomendó, nuevamente, el cambio del líquido aislante, aconsejando al mismo tiempo que se controlen las cargas sobre la máquina.

- El siguiente control integral (control Nº 6, realizado el 07/11/09), nos muestra la tendencia prevista, en donde la elevada Acidez (0,15 mgKOH/gr de ac), y el bajo Contenido de Inhibidor (0,5 g/l), resultan evidentes. Es importante destacar la caída de la UD (en el orden del 20 %), con un contenido de Hm en el límite recomendado.

- De los resultados de la cromatografía, observamos que prácticamente se mantienen los niveles de gases, en donde se debe prestar atención a los contenidos de CO y CO_2. Los resultados de furanos siguen demostrando evidencia de una aislación sólida en procesos de degradación. Se advierte sobre estos estados, recomendando en tal sentido el cambio del líquido aislante, en forma urgente.

- Finalmente, en el control Nº 7 (27/02/10), se procede a realizar el cambio del líquido aislante. En la tabla de contenidos de gases, podemos observar los niveles correspondientes a la muestra adquirida antes del cambio. Destacamos el mantenimiento de la tendencia, prestando especial atención al gas Etileno y al CO_2, La evolución del Etileno, junto a otros gases asociados, nos determinan la existencia de un sobrecalentamiento localizado, muy posiblemente, en partes conductoras. En tal sentido, se recomendó un control basado en mediciones eléctricas.

- Si bien en el control Nº 8 (24/04/10) no se realizaron ensayos del líquido aislante, de los resultados de las mediciones, y teniendo en cuenta lo determinado en el control Nº 7, nos encontramos que la resistencia de los arrollamientos, en la sección W-U de MT, tenía un valor cercano al límite recomendado. Se recomendó un control integral en la próxima intervención.

- Siguiendo los lineamientos del control previo, en el Nº 9 (12/08/10), se realizaron ensayos del líquido aislante, en donde nos encontramos con las siguientes características:

- Caída abrupta de la UD (> 60 kV en 27/02/10 -luego del cambio del líquido aislante-, a un valor de 24 kV en 12/08/10).

- Se destaca que la Acidez quedó en un valor aceptable (0,03 mgKOH/gr de ac), luego del cambio indicado.

- Ídem en relación al contenido de inhibidor (de 0,5 a 3 g/l).

- Los resultados de la cromatografía nos demuestra que, luego de transcurridos aproximadamente seis (6) meses, se manifestó nuevamente el problema interno en la máquina, en donde los gases indican la existencia de un defecto térmico de alta temperatura, muy posiblemente por un sobrecalentamiento en las uniones de las

conexiones (ver control Nº 8, en donde dicho problema se detecta a través de las mediciones eléctricas).

Se recomendó mantener la máquina bajo control de seguimiento, junto a un control de cargas (acciones correctivas para disminuir la solicitación térmica), previendo una eventual intervención.

- En los dos controles sucesivos (Nº 10 y 11), el patrón de gases corrobora lo establecido por la hipótesis, manifestándose el problema a través de un defecto térmico de alta temperatura. Además resaltamos el incremento de los contenidos de CO y CO_2, entre los controles Nº 10 y 11 (2,4 veces el CO y 1,3 veces el CO_2 en aproximadamente cuatro meses de operación en servicio).

- De tal forma, considerando los antecedentes, se determina que la máquina posee un problema en los terminales de MT, junto a un proceso de degradación de la aislación sólida, la cual se encuentra muy relacionada con el nivel de cargas (degradación térmica). Tener muy en cuenta que la celulosa es muy sensible, en lo que se refiere a su degradación, a la solicitación térmica. Por lo tanto, se recomendó la intervención del transformador para su reparación en planta.

2.4 Conclusiones.

- Nuevamente, se destaca la importancia de implementar una estrategia temprana de mantenimiento predictivo en los transformadores de planta (Ver artículo **Estudio de Casos sobre Degradación de la Celulosa Parte 1**). En tal sentido ver los controles Nº 1 a 6, del presente estudio.

- La capacidad catalizadora de los componentes ácidos en el líquido aislante, fue el factor decisivo, junto a la solicitación térmica y el contenido de humedad, en la degradación de la celulosa. Notar estos parámetros en los controles Nº 4, 5 y 6, previos al cambio del líquido aislante.

- Destacamos nuevamente la importancia de realizar los controles de seguimiento, junto a los ensayos recomendados. El análisis de furanos es una herramienta clave en la evaluación del estado de la aislación sólida, sin dejar de lado los ensayos dieléctricos y eléctricos, que forman parte integral de un control de seguimiento.

- Finalmente, volvemos a remarcar que la disponibilidad de una detallada Historia Clínica de cada máquina, así como los registros de las condiciones operativas, eventos y procesos involucrados, son factores claves para realizar un análisis preciso sobre el estado de los transformadores de planta.

Ingeniería.
Nova Mirón S.A.