Estudio de casos sobre degradación de la celulosa

Parte Nº 1

1. Introducción.

En base a lo tratado en el artículo de **Degradación de la Celulosa en Transformadores en Aceite**, desarrollaremos, en esta primera parte, el estudio de un caso, en relación a los distintos estados en el proceso de degradación de la aislación sólida basada en celulosa, de la máquina analizada.

Para facilitar la interpretación del análisis, hemos estructurado 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:	1000 kVA
Relación:	13,2 / 0,4 kV/kV
Año de Fabricación:	1987

2.2 Historia Clínica

En la Historia Clínica se detallan solamente los parámetros de interés para nuestro estudio, destacando en tal sentido: **Contenido de Humedad en el aceite** (**Hm** en ppm), **Contenido de Acidez en el aceite** (**IN** en mgKOH/gr de ac), **Tensión Disruptiva – Rigidez Dieléctrica** (**RD** en kV), **Contenido de Monóxido de Carbono** (**CO** en ppm) y **Contenido de Dióxido de Carbono** (**CO2** en ppm).

Finalmente, se encuentran los valores obtenidos del análisis de furanos, en este caso a través del componente **2-Furfural** (**2-FAL**, en µl/l) y el **Grado de Polimerización** (**GP**) de la celulosa. Se observa que solamente en el control Nº 23 se realizó este ensayo.

También se incorpora la medición de temperatura (**Tm**), la cual está expresada en ºC.

Se observa que en total se realizaron cuatro (4) tratamientos de aceite (controles Nº 7, 10, 15 y 22), y un (1) cambio de aceite (control Nº 4).

En este caso, los controles sobre el transformador abarcan un período que va del 27/01/01 al 18/09/10, destacando que la máquina posee una antigüedad de 22 años.

Es importante tener en cuenta que, a lo largo de este artículo, indicaremos el parámetro Rigidez Dieléctrica con la sigla UD, haciendo referencia a la Tensión Disruptiva, medida en kV.

Las siglas indicadas corresponden a los siguientes conceptos :

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

Los colores utilizados para especificar los niveles de los parámetros, refieren a:

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	IN	RD	CO	CO2	Tm	Trabajos realizados / Observaciones
1	27/01/01	-	-	-	-	-	55	Ajuste en aislador fase V de BT
2	21/08/01	-	-	-	-	-	42	-
3	06/04/02	24	0,11	45	880	7700	39	Se recomienda cambio de aceite a mayor brevedad (por IN)
4	31/07/02	-	-	-	-	-	52	Vaciado, limpieza parte activa, se cargan 720 L aceite NPT
5	12/04/03	15	0,03	55	250	8000	45	-
6	25/10/03	-	-	42	-	-	-	Cae la RD. Se recomienda tratamiento del aceite
7	29/02/04	-	-	> 60	-	-	-	Cambio silicagel, Tratamiento

8	11/06/04	14	0,03	54	350	3700	43	-
9	30/04/05	24	0,04	31	640	13700	52	-
10	16/10/05	-	-	> 60	-	-	45	Tratamiento
11	04/03/06	-	-	-	730	9700	48	-
12	09/07/06	-	-	-	-	-	45	Ajuste de las fases de BT
13	10/02/07	47	0,05	37	1200	35000	57	Pérdidas en RB. Se recomienda Furanos
14	12/08/07	-	-	-	-	-	30	Eliminación de pérdidas por eje conmutador. Ajuste Fases BT
15	18/08/07	-	-	59,6	-	-	31	Se agregan 15 L de YPF 64 NPT, Tratamiento
16	02/08/08	26	0,05	30	860	25000	44	Cambio del silicagel. Se agregan 10 L de YPF 64 NPT
17	21/01/09	-	-	-	-	-	55	Análisis de contenido de PCB
18	13/06/09	-	-	-	-	-	46	Se completa nivel con 10 L de YPF 64 NPT
19	06/07/09	-	-	-	-	-	-	No se hizo control
20	11/10/09	-	-	-	-	-	-	No se hizo control
21	11/11/09	55	0,06	21	1200	28900	70	Prever Tratamiento
22	25/04/10	11 23	-	> 60 32	-	-	60	Tratamiento
23	18/09/10	37	-	30	250	4900	52	Se determina la Intervención

Análisis de furanos

Ct	2-FAL	GP
23	3,92	299

2.3 Análisis

Teniendo en cuenta la historia clínica de la máquina, podemos resumir el análisis del estado, en los siguientes ítems:

- Destacamos que, luego de realizado el cambio de aceite en el control Nº 4, el parámetro UD disminuye en su valor, en los controles Nº 5 y 6.

- Debido a la caída de la UD (42 kV), en el control Nº 6 se recomendó el tratamiento del aceite.

- En el control Nº 7 se realizó el tratamiento del aceite, cuya consecuencia fue el aumento de la UD a un valor > a 60 kV.

- Se destaca la fuerte caída de la UD en las mediciones efectuadas en el control Nº 8 (11/06/04) y control Nº 9 (30/04/05). Como consecuencia de este valor, se decide por realizar el tratamiento del líquido aislante en el control Nº 10 (16/10/05).

- Se observa el incremento paulatino de la Hm (la cual es causa directa en la caída del valor de la UD a 24 kV). Ver control Nº 9. Ante el incremento del contenido de humedad, se consideró, en primera instancia, evaluar las condiciones del recinto, para establecer las posibles causas de contaminación. Luego de realizada esta evaluación, se concluyó que éste no era el factor de contaminación.

- Al mismo tiempo, es interesante observar la evolución del contenido de los gases CO y CO2. En primer término, se destaca el valor que adquiere el gas CO2 (8000 ppm), luego del cambio de aceite (9 meses después), según podemos observar en el control Nº 5.

- En el control Nº 8 (11/06/04) se disponen valores de Referencia Inicial de 350 ppm y 3700 ppm para el CO y CO2, respectivamente. Al cabo de 10 meses (control Nº 9, del 30/04/05), el nivel de CO prácticamente duplica su valor (~ 1,8), y el de CO2 se cuadriplica (~ 3,7). En este último caso el nivel alcanzó las 13700 ppm, excediendo así el límite recomendado por la práctica.

- Luego del tratamiento del líquido aislante, y quedando de tal forma los niveles de gases a valores de Referencia Inicial, notamos que, luego de transcurridos 5 meses, los contenidos de CO y CO2 aumentaron a valores críticos (control Nº 11).

- En el control Nº 13 (efectuado el 10/02/07), los parámetros Hm, RD (UD), CO y CO2, alcanzan valores críticos, en donde existe una clara evidencia de degradación paulatina de la aislación sólida. Destacamos que el CO2 alcanzó un valor de 35000

ppm, con un contenido de Hm de 47 ppm, llevando a la UD del líquido aislante a 37 kV.

- En tal sentido, se recomienda realizar un Análisis de Furanos, con el objetivo de determinar el estado de la celulosa. Se asume, dadas las tendencias de los parámetros bajo análisis, que la celulosa se encuentra en un avanzado estado de degradación, en donde la **oxidación**, junto a la **humedad**, son las factores de degradación que se imponen (ver el artículo: **Degradación de la Celulosa en Transformadores en Aceite**).

- Si bien en el control Nº 15 (efectuado el 18/08/07), se realiza un nuevo tratamiento del líquido aislante, a partir de ahí en adelante se observa la misma tendencia en cuanto a Hm, UD, CO y CO2. En el control Nº 21 (11/11/09) se alcanzan niveles inaceptables para estos parámetros. Comparativamente tenemos:

Hm:	26 ppm	→	55 ppm			Δ = 112 %
UD:	59,6 kV	→	30 kV	→	21 kV	Δ = -65 %
CO:	860 ppm	→	1200 ppm			Δ = 40 %
CO2:	25000 ppm	→	28900 ppm			Δ = 16 %

Se destaca la fuerte variación en el contenido de humedad (agua disuelta en el líquido aislante, como consecuencia de la degradación de la celulosa), así como la pronunciada caída de la UD.

- En el control Nº 22, se realizan mediciones Momentos Posteriores y Después de Hm y RD (UD), como consecuencia del tratamiento del líquido aislante. Las mediciones "Momentos Posteriores" corresponden a instantes posteriores al tratamiento; las mediciones "Después" a siete (7) días posteriores a dicho tratamiento. Es importante observar los resultados obtenidos:

Contenido de Hm Momentos Posteriores = 11 ppm

Contenido de Hm 7 días después = 23 ppm (Δ = 109 %)

Valor de UD Momentos Posteriores = > 60 kV

Valor de UD 7 días después = 32 kV (Δ = -47 %)

Nuevamente observamos, con un intervalo de tan sólo 7 días, una variación significativa en los parámetros, alcanzando valores inaceptables para la operación en servicio de la máquina.

- Finalmente, en el control Nº 23 (18/09/10), se realizó el Análisis de Furanos (el cual fue recomendado al cliente en el control Nº 13 del 10/02/07), dando resultados que corroboraron la **hipótesis de degradación de la aislación sólida**. Este hecho, junto a los valores de Hm (37 ppm) y UD (30 kV), llevó a determinar la intervención de la máquina, ya que su grado de confiabilidad, para la operación en servicio, era muy bajo.

2.4 Conclusiones

- De este estudio podemos establecer una primera conclusión, a saber, la importancia de implementar una estrategia de mantenimiento predictivo en el primer instante en que la máquina es puesta en servicio.

- Podemos concluir lo anterior, ya que nuestra hipótesis nos lleva a afirmar que la degradación de la aislación sólida ocurrió en algún momento previo al control Nº 3, ya que en este caso el nivel de Acidez se encontraba en un valor de 0,11 mgKOH/gr de ac. Tener en cuenta que la máquina fue puesta en servicio en el año 1987.

- Si bien se realizó el cambio del líquido aislante, la degradación de la celulosa alcanzó un punto en que de ahí en más todos los parámetros asociados fueron variando hacia niveles inaceptables, a lo largo del tiempo.

- También destacamos que, además de implementar una estrategia de mantenimiento predictivo temprana, realizando controles de seguimiento oportunos, es muy importante efectuar los ensayos recomendados en el diagnóstico. La intervención de la máquina podría haberse adelantado, o planificado con tiempo, si el ensayo de Furanos se hubiera realizado en el momento indicado (control Nº 13).

- En tal sentido se destaca el Análisis de Furanos como una herramienta eficaz para evaluar el estado de degradación de la aislación sólida, junto a la Cromatografía de Gases (ver el artículo: **Degradación de la Celulosa en Transformadores en Aceite**).

- También resulta de mucha importancia registrar las condiciones operativas de la máquina, así como los eventos y procesos involucrados, para realizar un análisis

más exhaustivo. Una detallada y completa **Historia Clínica** del transformador resulta vital para efectuar un diagnóstico certero.

Ingeniería.
Nova Mirón S.A.