

ACEITE TRANSFORMADOR CUBANO, UNA OPCIÓN PARA EL AHORRO ENERGÉTICO NACIONAL

Beatriz Pérez, Valentina Loginopoulo, Rigoberto Benavides, Caridad Ritoles
Centro de Investigaciones del Petróleo, Refinería Sergio Soto, La Habana

La construcción de la planta para la obtención de aceites básicos a partir de petróleos cubanos de la zona central del país en la refinería Sergio Soto se materializa como último paso en los trabajos de investigación desarrollo ejecutados en la década de los años 80 y 90 en el CEINPET. Los resultados alcanzados en ese período demostraron la factibilidad de obtener aceite transformador mediante la tecnología ácido-álcalis-tierra decolorante, sin requerir del proceso de desparafinación dada la naturaleza nafténica de dichos petróleos. En este trabajo se presentan los resultados respecto a la calidad del aceite transformador producido en la refinería a partir del inyecto actual, así como la utilización por primera vez de las técnicas electroquímicas de avanzada como criterio de calidad de este último. El aceite se evaluó por un laboratorio internacional y se comparó con las normas vigentes para estos fines. El aceite presenta apariencia visual de color amarillo claro brillante sin impurezas mecánicas. No presenta acidez y posee alta estabilidad a la oxidación por bomba rotatoria lo que indica un largo período de vida útil en servicio. El aceite presenta adecuadas propiedades dieléctricas lo que permite su empleo en transformadores de Distribución y Subtransmisión hasta 33 kV.

Palabras clave: energía, petróleo, aceite transformador, calidad.

The construction of the plant for the obtaining of basic oils starting from Cuban petroleum of the Central Area of the country in the Sergio Soto refinery is materialized as last step in the works of investigation development executed in the decade of the years 80 in CEINPET. This investigation demonstrated the feasibility of obtaining transformer oils by means of the technology acid-alkali-earth fuller without requiring of the desparaphination process given the naphthenic aromatic nature of this petroleum. In this paper show up the results regarding the quality of the transformer oil taken place starting from that feed, as well as, the use for the first time of the advanced electrochemical techniques as approach of quality of this last one. The transformer oil was evaluated in CEINPET and in an international laboratory credited by the norms for that uses. The oil presents visual appearance of clear brilliant yellow color without mechanical sludges. It doesn't present acidity and present high stability to the oxidation for rotational bomb what indicates a long period of life in service. It possesses appropriate dielectrics properties what allows its employment in transformers of Distribution and Subtransmission up to 33 kV.

Key words: energy, petroleum, transformer oil, quality.

Introducción

La primera corrida experimental en la industria para la obtención del aceite transformador tuvo lugar en 1993 a partir del crudo Jatibonico.

Dada la disminución de los volúmenes de este petróleo se investigaron otros yacimientos aledaños y en 1995 se realiza la corrida industrial de la mezcla de petróleos Pina-Cristales obteniéndose un aceite transformador que cumplía con los requerimientos de calidad para un aceite clase II de la norma IEC-296 del

Comité Electrónico Internacional lo que posibilitó su introducción en el plan de producción de la refinería y posterior comercialización

El nivel de calidad del aceite /2/ producido se certificó en el CEINPET designándose su utilización en los equipos de distribución (6,3 kV) y de subtransmisión hasta 33 kV por parte de la Unión Eléctrica (UNE), estando sujeta la utilización del mismo en equipos de mayor potencia a los resultados de las pruebas de explotación controlada.

En el presente trabajo se muestran los resultados a escala de laboratorio e industrial para la obtención del aceite transformador con la calidad requerida a partir del inyector actual /3/, que se procesa en la refinería y la utilización por primera vez de técnicas electroquímicas de avanzada como criterio de calidad del aceite evaluándose su calidad en el CEINPET y en un laboratorio acreditado internacionalmente.

Materiales y métodos

Se emplearon los siguientes materiales y métodos: petróleos Pina-Cristales, Varadero Medio, mezcla 85:15 de ambos petróleos, aceite transformador corrida industrial, normas ASTM e IP, ecuaciones de índices de mezcla, método de resistencia a la polarización, espectroscopía de ruido electroquímico y norma IEC 60296:03.

Parte experimental

Para el desarrollo del trabajo se caracterizó la mezcla 85:15 de los petróleos Pina-Cristales y Varadero Medio, que conforman el inyector actual a la refinería Sergio Soto (RSS) por los índices físico-químicos establecidos mediante las normas vigentes para estos fines. Dicho inyector se sometió a un proceso de destilación a escala piloto laboratorio con vistas a obtener la curva TBP al 3 % en volumen, así como, los diferentes cortes amplios según el esquema de procesamiento establecido en la misma. Se calcularon, paralelamente los rendimientos y propiedades de las diferentes fracciones de la mezcla inyector a la refinería utilizando las ecuaciones de índice de mezclas y se compararon con los resultados obtenidos a escala piloto laboratorio.

Para el mejoramiento y ajuste de la tecnología de producción del aceite transformador a partir del inyector actual, se realizaron estudios a escala piloto laboratorio del tratamiento ácido, así como, de los procesos de neutralización y tratamiento con tierra decolorante. Se realizó la corrida industrial con vistas a obtener la fracción materia prima para aceite transformador y posteriormente el aceite terminado.

La fracción materia prima se caracterizó por los índices físico-químicos establecidos para ello, y se compararon los resultados con los obtenidos a escala piloto laboratorio y por cálculo, mientras que el aceite transformador se evaluó por la norma IEC 60296:03 en el CEINPET y en un laboratorio acreditado internacionalmente.

Por primera vez se utilizan técnicas electroquímicas de avanzada tales como resistencia a la polarización (LPR) y espectroscopía de ruido electroquímico, como criterio de calidad para el aceite transformador terminado.

Resultados y discusión

El inyector RSS se comporta como un petróleo mediano de acuerdo a la clasificación del Buró de Minas, y es sulfuroso según la clasificación descrita por Bogomolov /7/. Respecto al contenido de sales es elevado por lo que debe ser deshidratado y desalinizado antes de ser refinado.

El petróleo Varadero Medio es un petróleo pesado y altamente sulfuroso con alto contenido de sales, carbón Conradson y elevada acidez, por lo que al introducirse en mezcla con el inyector a la refinería Sergio Soto, empeora la calidad del mismo lo que se aprecia en la tabla 1.

En la tabla 2 se encuentran los resultados calculados por las ecuaciones de índices de mezcla /4/ para el inyector RSS (Mezcla 85:15 Pina Cristales-Varadero Medio). Al comparar dichos resultados con los experimentales a escala piloto se observó similitud entre ellos lo que facilita conocer de antemano las características de las diferentes fracciones, así como, la influencia en las mismas de las diversas proporciones de mezcla, lo anterior también sucede para la fracción 300-350 °C obtenida industrialmente (tabla 3) que se corresponde con la fracción materia prima para aceite transformador.

Tabla 1. Variación de la calidad del inyectado a la refinería Sergio Soto

Índices	Inyectos	
	2003	2005
Densidad 20 °C, kg/m ³	919,4	928,8
Viscosidad, cSt		
50 °C	19,95	26,08
80 °C	-	9,79
100 °C	5,33	5,95
Cont. sales, mg/L	5,41	238,6
Cont. azufre, % m	2,54	2,40
Acidez, mg KOH/gr	0,84	1,75
Carbón Condradson, % m	5,72	7,66
Pto. Inflamación, °C	-	21
Asfaltenos, % m	1,47	1,59
Cont. H ₂ O, % vol	0,15	0,6

Tabla 2. Resultados del cálculo por índices de mezcla

Proporción de mezcla	Vol (mL)	m (g)	Densidad 20 °C
Pina Cristales	85	82,96	976,0
Varadero Medio	15	14,75	983,0

Propiedades	Pie - 180	180 - 240	240 - 300	300 - 350	350- 400	400-450	450- 500	>500 (*)
% en volumen	17,81	8,48	14,22	12,01	6,94	9,39	5,92	31,88
% en peso	13,81	7,15	13,00	11,03	6,56	9,00	5,76	33,02
Densidad a 20 °C kg/m ³	765	837	908	912	940	952	967	1 028
Densidad °API	53,4	37,5	24,4	23,4	19,3	17,1	14,8	6,1
Azufre total % m	0,15	0,55	1,00	1,42	2,06	2,61	2,72	4,3
Viscosidad cinemática cst								
40 °C	-	-	4,05	11,58	38,54	158,81	640,33	-
100 °C	-	-	-	2,58	5,00	9,79	17,28	3 016,5
Punto de inflamación °C	-	85	124	146	154	163	174	254
Índice de refracción 20 °C	1,435 6	1,462 6	1,482 0	1,505 0	1,520 5	1,526 4	1,536 6	-
Acidez mg KOH/g	-	0,29	0,74	1,46	1,48	1,53	1,55	-

(*) Fracciones destiladas en °C

Tabla 3. Fracción aceite transformador a nivel industrial

Propiedad	300 – 350 °C
% en Volumen	11,01
% en Peso	10,30
Densidad a 20 °C kg/m ³	911,7
Densidad °API	23,7
Azufre total % m	1,26
Viscosidad cinemática cst	
40 °C	10,84
100 °C	2,49
Punto de Inflamación C,C °C	154
Índice de Refracción 20 °C	1,5049
Acidez mg KOH/g	1,75

Si se tiene en cuenta la variabilidad de la materia prima del inyector a la refinería que ha ido aumentando en índices tales como: contenido de azufre, acidez, viscosidad, entre otros se hace necesario revisar y ajustar para su mejoramiento la tecnología empleada, lo que corresponde a los tratamientos para alcanzar y producir un aceite transformador de calidad lo que fue objeto de estudio a escala piloto laboratorio e industrialmente.

En la tabla 4 se presentan los índices físico-químicos del aceite transformador terminado y evaluado en el CEINPET, así como, en un laboratorio acreditado internacionalmente (Alberta Research Council, Canadá).

Dicho aceite cumple con las especificaciones establecidas en la Norma IEC 60296:03 presentando gran reserva de calidad, lo que se demuestra por los valores de acidez y sedimentos en la prueba de estabilidad a la oxidación IP – 307 y con los parámetros eléctricos característicos para este tipo de aceite.

Los aceites dieléctricos se conocen como un medio no conductor por lo que son poco corrosivos, sin embargo, la presencia de agua en cantidades de ppm suele generar fenómenos de corrosión. Las técnicas electroquímicas de avanzada tales como resistencia a la polarización (LPR) /5/ y espectroscopía de ruido electroquímico /6/, permiten obtener resultados relativamente rápidos.

Se examinaron las siguientes muestras: fracción materia prima para aceite transformador, producto terminado y uno importado a las temperaturas de 75 y 95 °C respectivamente con vistas a establecer su comportamiento por la técnica de Resistencia a la polarización (LPR) cuyos resultados se encuentran en la tabla 5.

En la misma aparecen los valores promedios de resistencia a la polarización, corriente y velocidad de corrosión para las muestras seleccionadas.

Nótese que los valores son muy bajos, del orden de 10⁻⁶ mm/año por lo que se consideran despreciables como se esperaba en un medio de resistencia tan alta, teniendo lugar un ligero incremento de la velocidad de corrosión con el aumento de la temperatura aunque los valores siguen siendo bajos. Se aprecia un comportamiento similar para el aceite terminado e importado, mientras que el valor más alto de corrosión lo presenta la fracción materia prima.

En la figura 1 se describen los resultados de la Espectroscopía de ruido electroquímico para las muestras examinadas como el aceite fracción materia prima (A) y el terminado (B) a 75 o C donde se observa que los transitorios son muy pocos en todos los casos dada la alta resistencia del medio corroborándose así lo obtenido en la data de Resistencia a la polarización. El aumento de la temperatura a 95 o C no cambia este comportamiento ni para el aceite sin tratar (C), ni para el terminado (D).

Tabla 4. Índices físico-químicos del aceite transformador terminado

Índices	Norma IEC 60296:03		Aceite transformador			
			CEINPET		Laboratorio acreditado	
1. Apariencia	Amarillo claro brillante sin sedimentos		Claro y brillante		Claro y brillante	
2. Densidad a 20 °C, kg/m ³	920,0máx		901,4		905,7	
3. Viscosidad a 40 °C, mm ² /s	12,0 máx		10,32		10,42	
4. Viscosidad a 100 °C, mm ² /s	-		2,43		2,46	
5. Punto de inflamación, C.C., °C	135 mín		156		159	
6. Punto de fluidez, °C	- 15 máx		- 18		-15	
7. Punto anilina, °C	63-84		63,6		63,0	
8. Color	1,0 máx		1,0		< 1,0	
9. Acidez, mg KOH/g	0,01 máx		0,01		0,00	
10. Contenido de PCB ppm	< 1 ppm		-		< 1,0	
11. Azufre corrosivo	No corrosivo		No corrosivo		No corrosivo	
12. Contenido de humedad, ppm	30 máx		6,0		23,0	
13. Contenido de inhibidor %	0,08-0,4 máx		-		0,199	
14. Tensión interfacial a 25 °C, dn/cm	40 mín		40,0		40,0	
15. Tensión dieléctrica, Kv, 60 Hz	30 mín		60		49	
16. Factor de potencia, 60 Hz, 100 °C, %	0,5 máx		-		0,461	
17. Estabilidad bomba rotatoria, min	> 195		-		247	
18. Estabilidad a la oxidación IP 307*						
% lodo	72 h	164 h	72 h	164 h	72 h	164 h
Acidez, mg KOH/gr	0,1	0,2	0,001	0,003	**	**
	0,3	0,4	0,01	0,01	**	**

* La norma IP 307 es equivalente a la norma ASTM D 2440: 07 para la estabilidad a la oxidación.

** En la norma IEC 60296:03 la estabilidad a la oxidación se realiza por la norma IEC 61125:03.

Tabla 5. Resistencia de polarización, corriente y velocidad de corrosión de las muestras en estudio

Ensayos	Temperatura °C	LPR (ohm/cm ²)	I _c (mA/cm ²)	V _{corr} (mm/año)
Muestra # 26	75	2,27 E+06	1,2 · 10 ⁻⁷	1,4 · 10 ⁻⁶
Aceite importado	95	1,27 E+06	6,4 · 10 ⁻⁷	2,4 · 10 ⁻⁶
Muestra # 27	75	1,61 E+06	1,3 · 10 ⁻⁷	1,5 · 10 ⁻⁶
Aceite terminado	95	1,38 E+06	4,6 · 10 ⁻⁷	2,1 · 10 ⁻⁶
Muestra # 28	75	1,67 E+06	2,5 · 10 ⁻⁷	2,3 · 10 ⁻⁶
Aceite materia prima	95	1,22 E+06	3,4 · 10 ⁻⁷	5,0 · 10 ⁻⁶

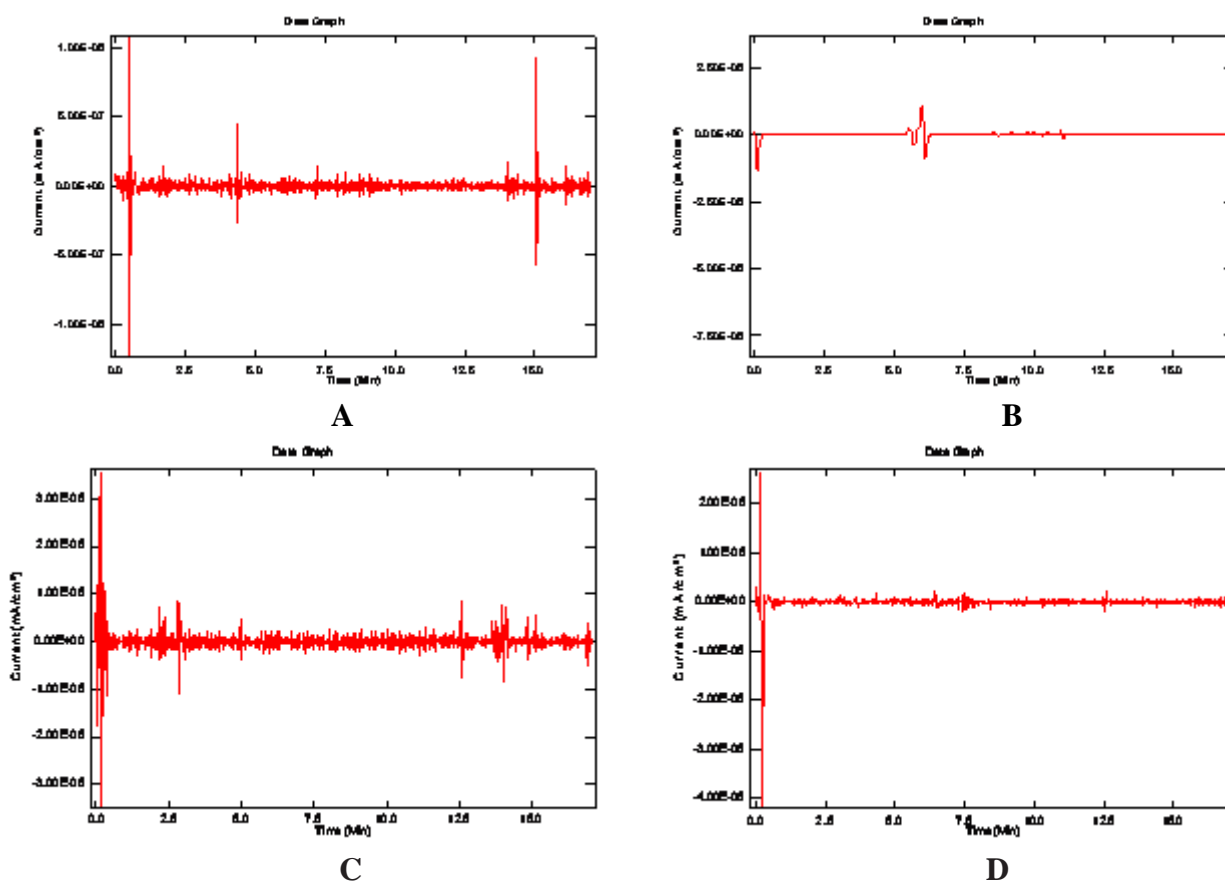


Fig. 1 Espectroscopía de ruido electroquímico de los diferentes aceites estudiados.

En los gráficos mostrados aparecen pocos transitorios en relación al fenómeno de corrosión los que están en correspondencia con los resultados de Resistencia a la polarización. Tal comportamiento del aceite transformador se

encuentra relacionado con el grado de refinación del mismo, pues mientras más profundo sea éste mayor será la resistencia del medio y por ende sus características dieléctricas con respecto al paso de la corriente.

Los resultados satisfactorios alcanzados han permitido que actualmente se produzca aceite transformador en la refinería Sergio Soto, que está siendo utilizado en la Fábrica de Transformadores Latino en Ciudad Habana, donde se construyen equipos de subtransmisión y distribución hasta 33 kV, con el consiguiente ahorro económico por concepto de sustitución de importaciones.

Conclusiones

1. Los índices físico químicos calculados a partir de las ecuaciones de índices de mezcla son similares a los obtenidos experimentalmente e industrialmente para las fracciones estudiadas incluyendo la correspondiente a aceite transformador.

2. El aceite transformador obtenido cumple con los requisitos de calidad establecidos en la Norma IEC 60296:03 caracterizado por una alta estabilidad a la oxidación.

3. Los resultados de la aplicación de técnicas electroquímicas de avanzada (LPR y ruido electroquímico) como criterio de calidad para el aceite transformador demuestran la calidad de éste al presentar gran resistencia a la polarización, baja velocidad de corrosión y ausencia de transitorios o ruidos lo que confirma su carácter dieléctrico.

4. La producción actual de aceite transformador en la refinería Sergio Soto esta destinada a la fábrica de Transformadores Latino para la producción de equipos de sub transmisión y distribución hasta 33 kV.

Bibliografía

1. Pérez Barcala, B. *et al.*, Obtención de aceite transformador a partir del crudo Varadero medio por la variante ácido-álcalis-tierra decolorante. Evento Quimindustria '93. Memorias Refinación de petróleo. Palacio de las Convenciones. Ciudad Habana, Cuba, 1993.
2. Pérez Barcala, B. *et al.*, Proyecto 2704. Mejoramiento de la calidad del aceite transformador producido en la refinería Sergio Soto. Etapa 01. CEINPET. Abril 2005.
3. García Escandón, A., Evaluación de las mezclas de los petróleos Yumurí Majagua a escala piloto laboratorio para su procesamiento en la refinería Sergio Soto. Tesis de diploma. Dpto. Refinación de Petróleo, CEINPET – ISPJAE. Ciudad Habana, Cuba, 2000.
4. Gary J.H., Handwerk, G., *Petroleum Refining. Technology and Economics*, Marcel Dekker Editorial, Cap. III, Canadá, 2001.
5. Roberge, R., *Handbook of Corrosion Engineering*, Marcel Dekker Editorial, Canadá, 1998.
6. Thompson, N.G, Payer J.H. DC Electrochemical Test Methods. Ed. Houston. Texas. 1998.
7. Bogomolov. I. A. *Química del petróleo y gas*, Ed. MIR. Cap. II, 1986.