

Artículo Original

**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE ACEITES
DIELÉCTRICOS EN LA REFINERÍA
SERGIO SOTO DE CABAIGUÁN**

**EVALUATION OF THE PROCESS OF OBTAINING DIELECTRIC
OILS AT THE SERGIO SOTO REFINERY OF CABAIGUÁN**

Sheila María Acosta Rodríguez^{1*} <https://orcid.org/0009-0004-1292-3109>
Nancy López Bello¹ <https://orcid.org/0000-0002-9570-6983>
Juan Pedro Hernández Touset¹ <https://orcid.org/0000-0002-0032-8685>

¹Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química y Farmacia.
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

Recibido: Octubre 8, 2024; Revisado: Octubre 12, 2024; Aceptado: Octubre 18, 2024

RESUMEN

Introducción:

Para garantizar el incremento de calidad y producción de aceite dieléctrico en la Refinería de Petróleo Sergio Soto se debe evaluar su operación y desempeño energético, para cumplir con su importancia económica en el proceso de encadenamiento productivo en Cuba.

Objetivo:

Evaluar la operación y el desempeño energético en la planta de aceites básicos.

Materiales y Métodos:

Se examinaron usando métodos estadísticos las características de la materia prima. Se analizaron los balances de materiales del sistema en cuanto a consumos, calidad y energía. La evaluación del desempeño energético en la planta cuantificó las pérdidas de calor y el consumo de vapor. Se estudiaron los valores de ganancias y producción del 2021 al 2023.

Resultados y Discusión:

El método estadístico evidencia que la materia prima cumple con la calidad establecida. Los balances de materiales demuestran que la etapa de tratamiento posee mayor consumo de materiales. Las pérdidas energéticas son elevadas debido a la evanescencia



Este es un artículo de acceso abierto bajo una Licencia *Creative Commons* Atribución-No Comercial 4.0 Internacional, lo que permite copiar, distribuir, exhibir y representar la obra y hacer obras derivadas para fines no comerciales.

* Autor para la correspondencia: Sheila María Acosta, Email: sheilamariaacosta@gmail.com



del condensado recuperable. El análisis de costo evidencia la disminución de la producción.

Conclusiones:

La evaluación del corte R3 mediante cartas de control muestra valores apropiados de acidez y esta constituye una herramienta de fácil acceso en la toma de decisión en la industria. Los mayores consumos de materiales y agua en planta aceites se identifican en la etapa de tratamiento del proceso de producción. Las pérdidas de calor equivalen al 18% de la potencia térmica total y se deben al insuficiente aislamiento, la deficiente operación de las trampas de vapor, fugas y al condensado recuperable.

Palabras clave: aceites dieléctricos; calidad; costos; energía; pérdidas.

ABSTRACT

Introduction:

To ensure the increase in quality and production of dielectric oil at the Sergio Soto Petroleum Refinery, its operation and energy performance must be evaluated to meet its economic importance in the productive chain process in Cuba.

Objective:

To evaluate the operation and energy performance at the basic oil plant.

Materials and methods:

The raw material characteristics were examined using statistical methods. The material balances of the system were analyzed in terms of consumption, quality and energy. The evaluation of the energy performance in the plant quantified heat losses and steam consumption. Profit and production values from 2021 to 2023 were studied.

Results and discussion:

The statistical method shows that the raw material meets the established quality. The material balances show that the treatment stage has a higher consumption of materials. Energy losses are high due to the evanescence of recoverable condensate. The cost analysis shows a decrease in production.

Conclusions:

The evaluation of the R3 cut by means of control charts shows appropriate acidity values and this constitutes an easily accessible tool for decision making in the industry. The highest consumption of materials and water in the oil plant is identified in the treatment stage of the production process. Heat losses constitute 18% of the total thermal power and are due to insufficient insulation, poor operation of steam traps, leaks and recoverable condensate.

Keywords: dielectric oils; quality; costs; energy; losses.

1. INTRODUCCIÓN

La Refinería Sergio Soto, localizada en Cabaiguán, provincia de Sancti Spíritus, Cuba, surgió en 1941. Es la única planta de su tipo en el país que procesa el crudo nacional. La planta de aceites básicos fundada en 1989 y abastecida por la cuenca Pina-Cristales-Jatibonico, aporta un crudo con menor contenido de azufre. La industria asegura la

demanda nacional de aceite para transformadores eléctricos de hasta 13,8 kV y elabora un componente imprescindible para la producción de Sigatoca, pesticida empleado contra la plaga de igual nombre en las plantaciones plataneras del país. El aceite dieléctrico es muy utilizado en los transformadores de todo el país sustituyendo costosas importaciones (Ortega, 2024), dado que el aceite aislante en servicio se degrada gradualmente debido a parámetros externos, como las descargas parciales y el calor, que afectarán al aislamiento sólido del transformador si no se controlan, lo que reducirá considerablemente su vida útil (Emmanouil y col., 2024). El aceite transformador es un tipo de aceite mineral refinado obtenido por destilación fraccionada de del petróleo crudo (Hassanpour, 2021). El aceite debe tener suficiente viscosidad para presentar una elevada propiedad refrigerante y un elevado coeficiente dieléctrico para contener una buena propiedad aislante (Pelitli y col., 2017).

Pérez y col., (2009) afirman que si se tiene en cuenta la variabilidad de la materia prima del inyecta a la refinería que ha ido aumentando en contenido de azufre, acidez, viscosidad, entre otros por lo que se hace necesario revisar y ajustar para su mejoramiento la tecnología empleada, para alcanzar y producir un aceite transformador de calidad. El aceite de transformador se ha utilizado como dieléctrico líquido en equipos de alta tensión durante más de 130 años. Es un recurso natural no renovable, tiene poca estabilidad química, bajas temperaturas de ignición y no puede ser descompuesto por bioorganismos para obtener compuestos más seguros (Lyutikova y col., 2023).

Este tipo de plantas desempeña un papel fundamental en la cadena de suministro energético al garantizar la disponibilidad y calidad del aceite necesario para el funcionamiento óptimo de los transformadores eléctricos. El objetivo de la presente investigación es evaluar la operación y el desempeño energético en la planta de aceites básicos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Características de la materia prima

Una de las principales características que definen la materia prima es su calidad en cuanto a acidez, por esa razón se realizó una carta de control cuyos resultados aparecen en la figura 1.

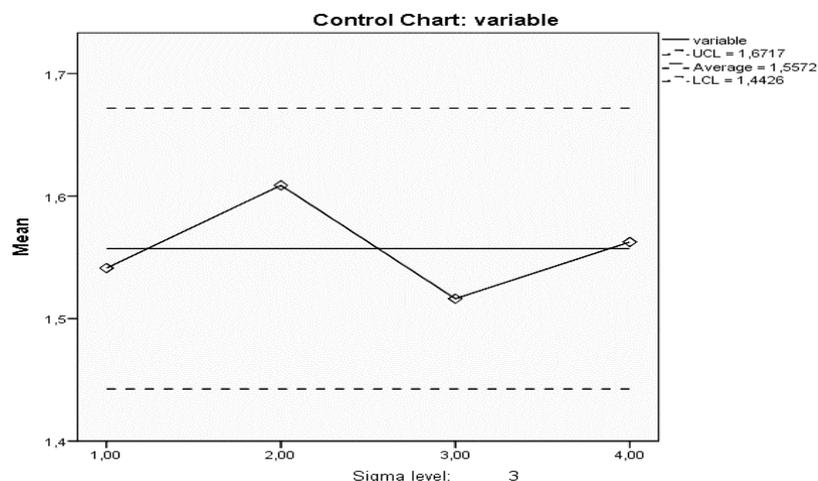


Figura 1. Carta de control del corte R3

Para garantizar la calidad se realizó una carta de control a través del software SPSS (IBM Corp., 2022) a una muestra de la materia prima (corte R3), producto de la destilación al vacío del crudo (Pérez, 2023), para determinar si cumple con las normas de acidez requerida. En la industria no se están realizando pruebas sistemáticamente de dicho parámetro, por lo que es imprescindible su realización para mantener la calidad del producto final.

Las principales pérdidas se deben a las purgas, aislamiento, fugas, condensado por lo que se realizan balances en la neutralizadora (tabla 1) para poder cuantificar las pérdidas en la purga y las pérdidas que salen por el agua.

Tabla 1. Balances en la neutralizadora

<i>Corrientes</i>	<i>Balances</i>	<i>Resultados</i>
Purga	$P = MP + DS + AL + AA - AS1 - AC1$ (1)	P = 138 443,93 kg/h
Cantidad de agua en la purga	$AP = P * Xp$ (2)	AP=120 880,66 kg/h
Cantidad de jabones y pérdidas que salen por el agua	$JYP = P - AP$ (3)	JYP= 17 563,27 kg/h

Donde:

Aceite ácido (MP), Disolución de sosa (DS), Agua de lavado (AL), Aire de agitación (AA), Aire de salida (AS1), Purga (P) y JYP Jabones.

2.2 Evaluación energética del proceso

A partir de una evaluación energética del proceso se pueden cuantificar las pérdidas existentes. Para ello se realizan balances de energía en las calderas con el objetivo de determinar la producción de vapor y el consumo de combustibles en la caldera.

2.2.1 Cálculo del consumo de vapor

En esta industria el vapor regularmente entra a 140°C, por lo que se procede al cálculo del flujo de vapor necesario a cada equipo a partir de los balances de energía convencionales tomando una eficiencia del 100% cuyos resultados se reflejan en la tabla 2.

2.3 Consumo de agua en la planta de aceites básicos

Como en la industria no se está aprovechando el condensado producido, se determinó el consumo de agua en las diferentes etapas del proceso, ya que esta agua hay que reponerla como se aprecia en la figura 2.

2.4 Análisis de los Costos

A partir de los datos obtenidos de la producción en un periodo de tres años se determinó el valor de la producción y los costos totales de producción para así poder obtener la ganancia en varios años.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como criterio de calidad de la fracción materia prima (R3) para la obtención de aceite dieléctrico se utilizó la norma ASTM D 3487, (2019) empleando los índices de calidad establecidos en el manual de operaciones de la planta de aceites básicos de la refinería Sergio Soto, la acidez no debe ser superior a 1,80 y como se aprecia de acuerdo a la carta de control se puede concluir que parámetro de la acidez está en control.

A través de los balances de materiales se aprecia que:

- ✓ La etapa de tratamiento es dentro del proceso tecnológico la que mayor consumo de materiales presenta, debido a que la materia prima tratada es de base nafténica y al reaccionar con la sosa contenida forma gran cantidad de naftenato de sodio y otros productos de la reacción, se requiere de gran cantidad de agua para evacuar todos esos productos indeseables (jabones) del seno del aceite.
- ✓ El balance de energía en las calderas permitió determinar la demanda de calor del proceso obtención del aceite transformador.

3.1. Balances de energía en las calderas

Producción de vapor actualmente en las calderas: En la refinería cuenta con tres calderas, de estas se emplean en la planta de aceites básicos dos una que produce $10000 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$ y otra $6500 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$:

$$10000 \frac{\text{kg}}{\text{h}} + 6500 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 16500 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 24 \frac{\text{h}}{\text{d}} = 396000 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

Y para esto el consumo total de combustible actualmente en las calderas es de:

$$473,55 \frac{\text{kg}}{\text{h}} + 728,54 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 1202,09 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 24 \frac{\text{h}}{\text{d}} = 28850,16 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

El consumo de vapor en la planta de aceites básicos es inferior al consumo en otras secciones de la refinería y se satisface con una de las calderas de la planta (tabla 2).

Tabla 2. Consumo de vapor en los equipos

<i>Equipos</i>	<i>Consumo de vapor (kg/h)</i>	<i>Distribución del vapor (%)</i>
Neutralizadoras	195	-
Digestores	763	-
TB-503	73	-
TK-10	2758	-
Total planta de aceites	3789	40
Refinación	5 703,4	60

En la tabla 2 se muestran también los consumos de vapor en la refinería, los cuales representan el 60 % de la demanda total de vapor en la planta.

La tabla 3 muestra los resultados de los balances de vapor, agua y calor. La demanda de vapor en la planta aceite debe ser satisfecha con la producción de vapor de una de las

dos calderas que suministran el vapor a todo el proceso.

Tabla 3. Resultados del balance de vapor, agua y calor

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
Demanda de vapor, kg/h	4168
Agua de reposición, kg/h	3789
Agua de reposición, %	100
Demanda de calor, kJ/h	11 366 136
Calor en necesidades tecnológicas, kJ/h	9 377 889
Perdidas de calor en condensado, kJ/h	954 714
Pérdidas Totales kJ/h	1 988 247
Eficiencia térmica (%)	82,5 %

Como se aprecia se requiere reponer a caldera el ciento por ciento del condensando y el alto porcentaje de pérdidas de calor que ascienden al 18% de la demanda térmica general, asociadas al desaprovechamiento del calor del condensado, determinan una eficiencia térmica del 82,5 %.

Mediante el balance de aguas se pudo determinar que en la industria se repone el 100 % del agua al no recuperar el condensado (figura 2).

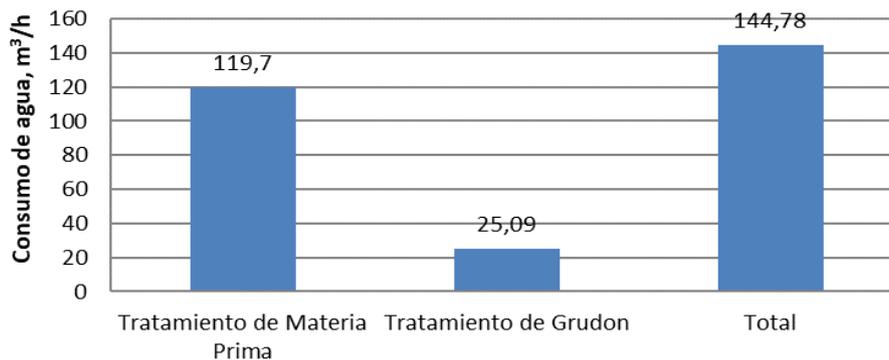


Figura 2. Consumo de agua en la planta de aceites básicos. (Elaboración propia)

Mediante el análisis del consumo de agua en las etapas de la Planta de Aceites Básicos se determinó que la etapa de tratamiento de la materia prima, en la que se realiza el lavado del solvente R2, es la más consumidora de agua con un 83% del total.

A través del análisis de los costos se determina una disminución de las ganancias en los años 2022 y 2023 como se aprecia en la tabla 5 y figura 3.

Tabla 5. Ganancias producidas por año

<i>Año</i>	<i>Producción (t/año)</i>	<i>Precio (\$)</i>	<i>Valor de la producción (\$/t)</i>	<i>CTP (\$)</i>	<i>Ganancia (\$/año)</i>
2021	509	37 111,25	18 889 626,25	3701840,3	\$15187785,95
2022	353	-	13 100 271,25	6082416,9	\$7017854,4
2023	384	-	14 250 720	9376429,2	\$4874290,79

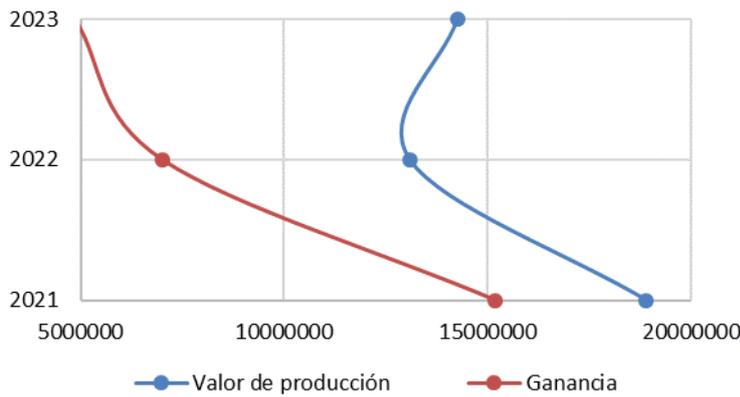


Figura 3. Comportamiento de la ganancia y valor de la producción en tres años

En 2022 se afectaron los compresores en el primer trimestre y escasearon bidones para el envasado.

En el año 2023 se dificultó la extracción de agua de residuales por temas medioambientales y no había donde verter las aguas ácidas y los residuales. En los últimos meses se hizo un contrato para vender por pailas, pero no se pudo producir por la falta de materiales fundamentales para el proceso ya que eran productos importados como son el aditivo antioxidante y el papel de filtro.

En la tabla 6 se muestra el plan 2023 del aditivo, algunos materiales fundamentales utilizados en el proceso de obtención del aceite dieléctrico.

Tabla 6. Gastos de materiales

No	Descripción	U/M	Plan (2023)	Precio (\$)	Importe (\$)	Total (\$)
1	Aditivo anticorrosivo	t	2,70	225630	609201	623537
2	Lona para filtro	Unidad	72	598	43065	42541
3	Papel para filtro	Unidad	6300	113	712845	626661

4. CONCLUSIONES

1. La evaluación del corte R3 mediante cartas de control muestra valores apropiados de acidez y esta constituye una herramienta de fácil acceso en la toma de decisión en la industria.
2. Los mayores consumos de materiales y agua en planta aceites se identifican en la etapa de tratamiento del proceso de producción.
3. Las pérdidas de calor constituyen el 18% de la potencia térmica total y se deben al insuficiente aislamiento, la deficiente operación de las trampas de vapor, fugas y al condensado recuperable.

REFERENCIAS

- ASTM D 3487., Standard Specification for Mineral Insulating Oil Used in Electrical Apparatus., 2019. <https://www.astm.org/d3487-16e01.html>
- Emmanouil, F., Savvas, K., & Ioanna, P., Benefits of dielectric oil regeneration systems in power transmission networks: a case study., *Journal of Power and Energy Engineering*, Vol. 12, 2024, pp. 20-29. <https://doi.org/10.4236/jpee.2024.124002>
- Hassanpour, M., Transformer oil generation and regeneration techniques based on recent developments (A Review)., *International Journal of Petroleum Technology*, Vol. 8, 2021, pp. 15-33. <https://doi.org/10.15377/2409-787X.2021.08.2>
- IBM Corp., IBM SPSS Statistics for Windows, Version 29.0, Armonk, NY: IBM Corp, 2022.
- Lyutikova, M.N., Ridel, A.V., & Konovalov, A.A., Dielectric Liquids: Past, Present, Future (Review)., *Electric Power Engineering*, Vol. 57, 2023, pp. 615-622. <https://doi.org/10.1007/s10749-024-01709-x>
- Ortega, Y.M., Refinería Sergio Soto de Cabaiguán: Un sitio estratégico para el país, 2024. <http://www.cubadebate.cu/especiales/2024/07/07/refineria-sergio-soto-de-cabaiguan-un-sitio-estrategico-para-el-pais/>
- Pelitli, V., Doğan, O., & Köroğlu, H., Waste oil management: Analyses of waste oils from vehicle crankcases and gearboxes., *Global Journal of Environmental Science and Management*, Vol. 3, No. 1, 2017, pp. 11-20. <https://doi.org/10.22034/gjesm.2017.03.01.002>
- Pérez, B., Loginopoulo, V., Benavides, R., y Ritoles, C., Aceite transformador cubano, una opción para el ahorro energético nacional., *Revista Tecnología Química*, Vol. XXIX, No. 3, 2009, pp. 5-11. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543760001>
- Pérez, C.M., Propuesta de metodología para medir el impacto de la variabilidad de materias primas en la Refinería Sergio Soto., Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba, 2023.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- Estud. Sheila María Acosta Rodríguez. Investigación, software, redacción - primera redacción, conservación de datos.
 - Dr.C. Nancy López Bello. Supervisión, metodología, conceptualización, redacción - revisión y edición.
 - Dr.C. Juan Pedro Hernández Touse. Redacción - revisión y edición.
-