

# Evaluación del sistema tratamiento de residuales líquidos generados en una central eléctrica operando con "fuel oil". Alternativas tecnológicas

*Treatment system evaluation of wastewater generated in electric power plant operating with fuel oil. Technological alternatives*

*Dra. Pastora de la Concepción Martínez-Nodal<sup>I</sup>, pastoramn@uclv.edu.cu,  
Ing. Ligney Martínez-Díaz<sup>III</sup> Dr. Iván Leandro Rodríguez-Rico<sup>II</sup>,  
Dra. Elena Rosa-Domínguez<sup>I</sup>, Reinaldo Martínez-Martínez<sup>IV</sup>*

*<sup>I</sup>Centro de Estudio de Química Aplicada (CEQA). Facultad de Química-Farmacía. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas Santa Clara. Cuba; <sup>II</sup>Departamento Ingeniería Química. Facultad de Química-Farmacía Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Cuba; <sup>III</sup>Central Eléctrica "Fuel Oil" Santa Clara Industrial. Los Alevines. Santa Clara. Cuba; <sup>IV</sup>Centro de Estudio Termoenergético Azucarero (CETA). Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Cuba*

## Resumen

El presente trabajo se realizó en una Central Eléctrica (CE) "fuel oil" de tecnología HYUNDAI de la ciudad de Santa Clara. Tiene como objetivos evaluar el sistema de tratamiento de los residuales líquidos oleosos (lodos) generados en el proceso de centrifugación del "fuel oil" y el aceite y proponer mejoras viables desde el punto de vista técnico, económico y ambiental. El sistema de tratamiento de los residuales líquidos oleosos evaluado, presenta deficiencias técnicas y de diseño, que no permiten que el efluente cumpla con los LMPP, establecidos por la legislación vigente, para su vertimiento al medio. Se realizó una caracterización física y físico-química del lodo; se determinó el % v/v de las fases que lo componen con respecto al volumen total generado. Se demostró que el agua residual tiene un valor añadido a partir de las ganancias que puede reportar la recuperación del combustible (fase orgánica). Los métodos analíticos utilizados, están basados en Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 2005. La calidad del efluente se realizó de acuerdo a lo establecido en las Normas Cubanas Obligatorias NC 27:2012 y la NC 521:2007. El análisis de rentabilidad de la inversión propuesta se realizó a través de los métodos dinámicos de análisis: VAN (valor actual neto), TIR (tasa interna de rentabilidad) y período de recuperación de la inversión (PRD). Las mejoras propuestas al sistema de tratamiento existente; logran reducir el poder contaminante de las aguas residuales oleosas y son factibles desde el punto de vista técnico-económico y ambiental.

**Palabras clave:** *aguas oleosas, caracterización de aguas residuales, factibilidad de tratamiento.*

## **Abstract**

The present work was carried out in a Power Plant (CE) "fuel oil" of HYUNDAI technology of the city of Santa Clara. Its objectives are to evaluate the treatment system of oily liquid waste (sludge) generated in the process of centrifugation of the "oil fuel" and oil and propose viable improvements from the technical, economic and environmental point of view. The system of treatment of oily liquid waste evaluated, has technical and design deficiencies, which do not allow the effluent to comply with the LMPP, established by current legislation, for its discharge to the environment. A physical and chemical-physical characterization of the mud was carried out; the % v / v of the phases that compose it was determined with respect to the total volume generated. It was shown that the residual water has an added value from the gains that can be obtained from the recovery of the fuel (organic phase). The analytical methods used are based on Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 2005. The quality of the effluent was carried out according to what is established in the Compulsory Cuban Standards NC 27: 2012 and NC 521: 2007. The analysis of the profitability of the proposed investment was made through dynamic analysis methods: NPV (net present value), IRR (internal rate of return) and period of investment recovery (PRD). The proposed improvements to the existing treatment system; they manage to reduce the contaminating power of oily wastewater and are feasible from the technical-economic and environmental point of view.

**Keywords:** *oleaginous waters, wastewater characterization, feasibility of treatment.*

## **Introducción**

Históricamente, el avance de la ciencia y la técnica ha elevado el desarrollo de la civilización humana, acarreado en la mayoría de las ocasiones, un deterioro del entorno. Es por ello que actualmente no puede existir un proceso tecnológico que surja sin responder a todas las interrogantes que se planteen sobre el posible daño al medio ambiente. El no encontrar alternativas a procesos y tecnologías implantadas con anterioridad, es uno de los problemas fundamentales que mantienen la amenaza constante sobre el entorno [1].

Actualmente en Cuba el 23,7 % de la generación eléctrica se obtiene mediante grupos electrógenos (GE) o centrales eléctricas (CE) de "fuel oil" (generación distribuida), dadas las ventajas que los mismos tienen sobre las termoeléctricas tradicionales en cuanto a: mayor disponibilidad, rapidez para entrar al servicio y menor consumo de combustible. Es importante considerar en la utilización de los

grupos electrógenos no solo los beneficios que estos representan, sino también las desventajas ambientales que pueden tener los mismos si no son consideradas todas las medidas correspondientes.

Los GE o CE no son más que motores de combustión interna que obtienen energía mecánica directamente de la energía química producida por un combustible ("fuel oil"), que combustiona dentro de las cámaras de combustión. Estos motores requieren de un combustible de muy alta calidad para obtener parámetros óptimos de combustión, aumentar su vida útil y emisiones de gases de escape menos contaminantes. Para lograr lo anterior, es necesario someter dicho combustible a un proceso de centrifugado o limpieza, con el objetivo de eliminar las impurezas mecánicas, el agua y partículas que se incorporan durante su transportación y almacenamiento.

Como en todas las centrales de su tipo, en el proceso de centrifugación del combustible "fuel oil" se genera un residual líquido oleoso producto de los lavados que se realizan con agua a presión, para eliminar las impurezas que se encuentran en el interior de la centrifuga, al terminar el mismo. Las aguas residuales oleosas (lodo) generadas en dicho proceso están compuestas por dos fases fundamentales: combustible (hidrocarburo) y fase agua y son consideradas como un residuo peligroso. Por su complejidad, no pueden tener el mismo tipo de tratamiento dado a las aguas residuales generadas por otras industrias [2]. Las tecnologías para el tratamiento de estos residuos tienen como objetivo disminuir el volumen, la toxicidad del material peligroso y generar residuos finales (efluentes) que cumplan con los flujos y concentraciones de contaminantes estipulados en la legislación vigente, o en las políticas de la empresa. Escoger el tratamiento adecuado depende de muchos factores: disponibilidad de instalaciones, normas de seguridad, costos, etcétera. Además dependiendo de la fuente y características del residual, cada caso requiere de una solución técnica propia, que permita minimizar o evitar posibles daños al suelo, a las aguas, a ecosistemas frágiles y a la población en general, en caso de derrames o por vertimientos de estos residuos sin la calidad requerida [3,4].

La mayoría de los países en desarrollo no cuentan con instalaciones que permitan el tratamiento y disposición ambientalmente racional de estos desechos

por lo que su disposición final se dificulta y, en muchos casos, se almacenan en condiciones no apropiadas o se disponen sin el debido control, contaminando los cursos de aguas, aire, suelos y afectando otros recursos naturales [5, 6].

Es por todo lo anteriormente expuesto que el objetivo de este trabajo es: evaluar el sistema para el tratamiento del agua oleosa total (lodo) generada en una central eléctrica operando con "fuel oil" y proponer soluciones tecnológicas, que permitan mitigar el poder contaminante de los mismos.

Para realizar la evaluación se realizó una caracterización físico-química del lodo, se realizaron los muestreos correspondientes, se determinó el % v/v de las fases que la componen con respecto al volumen total generado, teniendo en cuenta el procedimiento desarrollado en los estudios realizados por [7]. Los métodos utilizados para la caracterización realizada a estas aguas oleosas, están basados según lo establecido en [8].

La evaluación de la calidad de las aguas oleosas para su vertimiento, se realizó teniendo en cuenta los Límites Máximos Permisibles Promedio (LMPP) establecidos por las normas cubanas [9,10 y11].

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la evaluación y las características físico-químicas del agua residual objeto de estudio, se proponen mejoras al sistema de tratamiento existente, las cuales resultaron ser factibles desde el punto de vista técnico-económico y ambiental [12]. Además se demostró que el agua residual tiene un valor añadido a partir de las ganancias que puede reportar la recuperación de su fase orgánica (combustible).

### *Materiales y métodos*

#### *Descripción del sistema de tratamiento de las aguas residuales oleosas (lodo) generadas en el proceso de centrifugación del "fuel oil" y el aceite. Principales deficiencias*

El "fuel oil" es suministrado por la Empresa Comercializadora de Combustible Villa Clara (ECC-VC), perteneciente a Cuba Petróleo (Cupet), mediante de pailas con capacidades de 20 000 y 27 000 litros y los certificados de calidad emitidos por el laboratorio de dicha entidad. La bomba de recepción de "fuel oil" que se encuentra en la estación de bombeo, mueve el combustible en caliente al tanque de recepción (setting) que se encuentra encima de la unidad de tratamiento de

combustible en caliente HTU (*Head Treatment Unit*), para ser suministrado a la centrífuga de forma automática. Posteriormente, pasa al tanque de servicio para ser suministrado a los motores generadores, a una temperatura de 96 °C.

El aceite llega a la CE en tanques de 208,2 L. Cuando este aceite ya es usado en los motores, sale de los mismos con un nivel de suciedad y se le da tratamiento en la centrífuga de aceite ubicada en el HTU.

El proceso de centrifugación del "fuel oil" y el aceite se realiza de la forma automática de la siguiente forma: 30 minutos de centrifugado y después dos lavados con agua caliente tratada, con el objetivo de eliminar las impurezas separadas al "fuel oil" y al aceite que se encuentran en la cámara colectora de la centrífuga. Las centrifugas utilizadas son sedimentadoras de discos, de operación intermitente con respecto a la carga de sólidos; también llamadas de retención de sólidos.

El agua oleosa total (lodo) proveniente de las dos centrífugas, es descargado al tanque de lodo HTU (capacidad de aproximadamente 1,2 m<sup>3</sup>) que está ubicado debajo de las mismas. Cuando el mismo alcanza el volumen máximo establecido por el fabricante, el agua residual oleosa (lodo) es bombeada automáticamente al tanque de recepción del agua oleosa total (lodo).

En el tanque de recepción agua oleosa total (lodo) de capacidad 80 m<sup>3</sup>, ocurre la primera separación de las fases que la componen (fase combustible y fase agua oleosa). Cuando se alcanza el nivel de trabajo establecido (90 % del volumen total), se drena la fase agua oleosa a las trampas de grasas, para que ocurra una segunda separación. Ambas separaciones no son eficientes debido a problemas de diseño, de construcción y de mala manipulación. Además la cantidad de agua oleosa total (lodo) a tratar es mayor que la capacidad para la cual fue diseñado el sistema de tratamiento. Lo anterior trae como consecuencia que el efluente de las trampas de grasas es vertido al medio sin la calidad exigida por la legislación vigente. La fase combustible que queda en el tanque de recepción de lodo es extraída por carros cisterna para ser quemada en entidades externas, previa autorización de las autoridades correspondientes [13]. La fase combustible que queda en las trampas es bombeada nuevamente al tanque de recepción de lodo donde ocurre la primera sedimentación. Existen varios factores

que afectan el trabajo de estos equipos, en primer lugar, como equipos de sedimentación, requieren de bajas velocidades de flujo y de un tiempo prudencial para la separación, dado por las densidades de las sustancias a separar, por tanto el hecho de alimentar por la parte superior y en un solo punto, provoca remezclado de las sustancias ya separadas.

En la figura 1 se muestra el diagrama de flujo del sistema de tratamiento del residual líquido oleoso (lodo) generado en el proceso de centrifugación del "fuel oil" y el aceite.

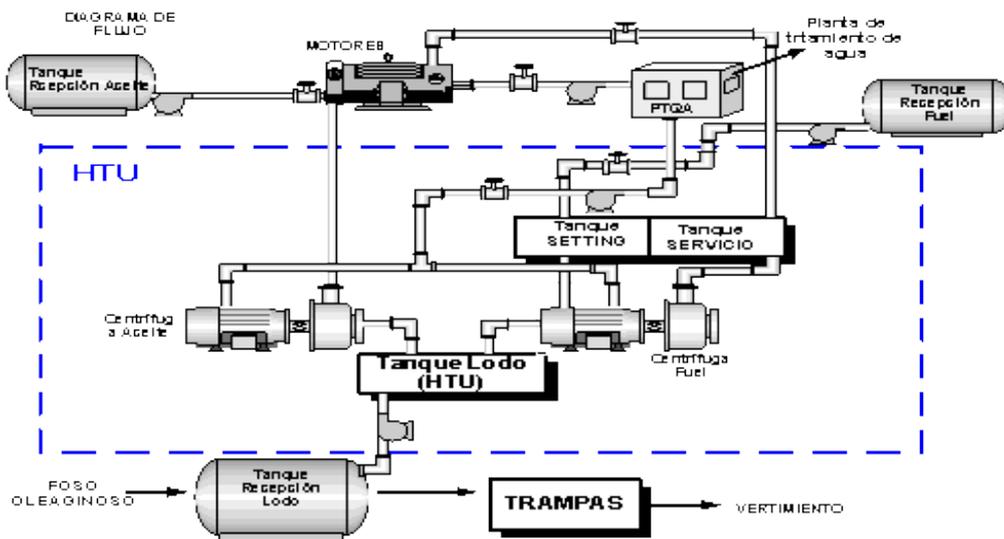


Fig. 1 Diagrama de flujo del sistema de tratamiento del agua oleosa total (lodo) generada en el proceso de centrifugación del "fuel oil" y el aceite.

### *Caracterización física y físico-química del agua residual oleosa total (lodo)*

Para la realización de la caracterización física y físico-química del aguas oleosas total (lodo) que contiene las dos fases: fase combustible y fase agua oleosa, se tuvo en cuenta los resultados obtenidos mediante la aplicación del "Procedimiento para la caracterización de aguas oleosas generadas en el proceso de lavado del diesel", el cual forma parte de la "Metodología para la gestión integral de las aguas residuales oleosas generadas en el proceso de centrifugación del combustible", desarrollada por la autora. A continuación se exponen los pasos a seguir en dicho procedimiento.

Procedimiento de muestreo para la caracterización física del agua residual oleosa (lodo). La toma de muestra se realiza en el tanque de lodo (HTU) donde

es descargado el desecho de las centrifugas de “fuel oil” y aceite. En este caso se tomaron tres muestras puntuales (que contenían las dos fases: fase combustible o lodo y fase agua); el mismo día y a temperatura ambiente.

**Muestra 1.** Volumen total 10 L. Drenaje del tanque de recepción de agua residual oleosa o lodo (fase agua oleosa) antes de la sedimentación.

**Muestra 2.** Volumen total de 10 L. Se dejó en reposo (sedimentación) por un tiempo de 72 h. Se determinó el volumen correspondiente a cada fase y el porcentaje en volumen que representa cada fase con respecto al volumen total de muestra. En este caso se realizaron tres réplicas.

**Muestra 3.** Volumen total de 3 L. Se llevó al laboratorio para realizar la sedimentación por un tiempo de 24 h, posterior a un calentamiento a 75 °C. Se realizaron tres réplicas. A cada una de ellas se le determinó el volumen correspondiente a cada fase y el porcentaje en volumen que representa cada fase, con respecto al volumen total de la muestra (1L).

Procedimiento de muestreo para la caracterización físico-química a la fase agua oleosa

Una primera submuestra (SM-1) perteneciente a la muestra 1, una segunda submuestra perteneciente a la fase agua muestra 2 (SM-2) formada por 50 ml de cada una de las réplicas y una tercera submuestra (SM-3) perteneciente a la fase agua muestra 3 formada por 50 ml de cada una de las réplicas. Ver figura 2.

Los métodos analíticos utilizados en la determinación de los indicadores de la contaminación (pH, DQO y grasas (G), aceites (A) e hidrocarburos (HC) a la fase agua una vez separada la fase combustible, están basados en [8] y lo establecido en las normas vigentes en materia de aguas y aguas residuales.

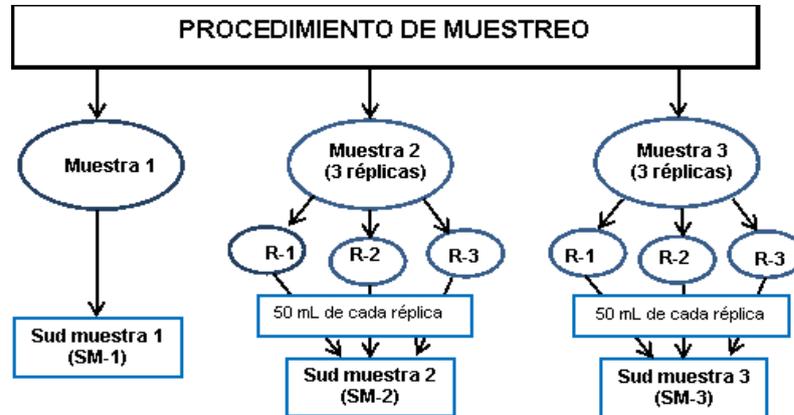


Fig. 2 Procedimiento de muestreo para la caracterización física y físico-química del agua residual oleosa (lodo).

### *Evaluación de la calidad de la fase agua*

Para la evaluación del efluente se tuvo cuenta los Límites Máximos Permisibles Promedio (LMPP) establecidos en las normas cubanas [9,10] para su vertimiento, según la clasificación del cuerpo receptor.

### **Valoración económica de la mejora propuesta**

Con el objetivo de determinar los ingresos que tendría Generación Distribuida (GD), con la recuperación y venta de la fase orgánica (lodo), se realizó una evaluación económica, teniendo en cuenta el precio actual que paga GD para la compra del fuel sin el recargo. Para la valoración económica de la propuesta se tuvo en cuenta: los costos de operación, los costos de la inversión y las externalidades asociadas.

El análisis de rentabilidad de la inversión propuesta se realizó a través de los métodos dinámicos de análisis, mediante el cálculo de los indicadores de rentabilidad VAN (valor actual neto) y TIR (tasa interna de rentabilidad) [14].

### *Resultados y discusión*

#### **Caracterización física de las aguas oleosas**

Comportamiento del porcentaje volumétrico, de las diferentes fases que integran el agua oleosa total: fase combustible (lodo) y fase agua oleosa de la muestra 2

En la tabla 1 se observa que el agua oleosa total (lodo) posee valores medios de 47,7 % v/v de fase combustible (lodo) y un 52,3 % v/v de fase agua oleosa. Los resultados estadísticos reportados demuestran, que no es significativa la

dispersión porque no hay diferencia en las varianzas. Estos resultados resultan ser muy similares con los resultados obtenidos en estudios realizados por [15], el cual obtuvo en su trabajo un 45-50 % v/v de la fase agua y 50-55 % de la fase combustible (lodo). La fase combustible (lodo) generada representa entre 8-10 L/ton de “fuel-oil” procesada, el cual pudiera ser utilizado como un combustible de calidad aceptable en hornos industriales o generadores de vapor, debido al poder calórico considerable que posee.

**Tabla 1**  
**Resultados obtenidos de la Muestra 2 (drenaje a las 72 h de reposo)**

Réplicas	% v/v de la fase lodo	% v/v de la fase agua
1	48,0	52,0
2	49,5	50,5
3	49,5	50,5
Media	49,0	51,0
Desviación estándar	0,866 0	0,866 0
Varianza	0,500 0	0,500 0

*Comportamiento del porcentaje volumétrico, de las diferentes fases que integran el residual (combustible (lodo) y fase agua oleosa)) en la muestra 3 (calentamiento a 75 °C)*

En la tabla 2 se observa que el residual posee valores medios de 49,63 % v/v de fase combustible (lodo) y 50,37 % v/v de fase agua. Los resultados estadísticos reportados demuestran, que no es significativa la dispersión porque, no existe diferencia en las varianzas.

**Tabla 2**  
**Resultados obtenidos de la Muestra 3 (Calentamiento a 75 °C)**

Réplicas	% v/v de la fase combustible( lodo)	% v/v de la fase agua
1	51,1	48,9
2	47,8	52,2
3	50,0	50,0
Media	49,63	50,37
Desviación estándar	1,680 3	1,680 3
Varianza	1,882 2	1,882 2

*Caracterización química-física de la fase agua oleosa*

**Comportamiento de los indicadores de la contaminación en las sudmuestras 1, 2 y 3**

En la tabla 3 se observa que con solo 72 h de reposo (SM-2), en la fase agua oleosa se evidencia una disminución de un 25,2% en el contaminante grasa y aceites (G y A) y de un 23,8 % en el contaminante hidrocarburo (HC), pero poco significativo en el contaminante Demanda Química de Oxígeno (DQO), si se comparan con los resultados obtenidos en la SM-1. Esto está dado porque en el tanque de recepción de agua oleosa total (lodo) no existe una buena separación, debido a que cada 24 h el agua oleosa total (lodo) del tanque de lodo del HTU es enviada al mismo, provocando revolturas en el seno del líquido. La diferencia en el parámetro pH no es significativa.

Cuando se realiza un calentamiento a 75 °C (SM-3) se observa una disminución muy significativa en los contaminantes: DQO (70,34 %), G y A (53,7 %) e HC (83,2 %) si se compara con los resultados obtenidos en la SM-1. Esto es debido que al existir cambios de temperatura, el hidrocarburo presente en la fase agua oleosa tribute a la fase combustible (lodo), disminuyendo así el poder contaminante de la misma.

**Tabla 3**  
**Comparación de los resultados obtenidos de la fase agua oleosa en las sudmuestras 1, 2 y 3**

Contaminantes	SM-1 (drenaje tanque lodo)	SM-2 (drenaje 72 h reposo)	SM-3 (calentamiento a 75 °C)
pH (U)	7,20±0,06	7,60±0,06	7,69±0,06
DQO (mg/L)	1279,8±12,71	1175,52±10,92	379,48±3,84
G y A (mg/L)	15,50±3,99	11,60±2,46	7,17±1,23
HC (mg/L)	8,40	6,40	1,41

Esto debe tenerse en cuenta debido a que los procesos de separación de fases por decantación en residuales petrolizados, se ven favorecidos según [3] por el calentamiento a temperaturas inferiores al punto de inflamación de la fase combustible. Esto propicia una separación física más rápida, eficiente y permite el aprovechamiento de la fase combustible (lodo) en diferentes procesos. Por

todo lo anterior se propone un sistema de calentamiento con el objetivo de lograr mayor uniformidad en las temperaturas y una separación eficiente de las fases presentes en el agua oleosa total (lodo).

**Evaluación de la calidad de la fase agua.** Aunque se logra disminuir considerablemente los indicadores de la contaminación determinados, los mismos no cumplen con los límites máximos permisibles promedio (LMPP) establecidos en la legislación vigente [9] ya que en ella se prohíbe el vertimiento de hidrocarburos a cualquier cuerpo receptor. En el caso de la legislación vigente [10], solo se prohíbe el vertimiento del efluente al cuerpo receptor clase A, por ser las áreas marinas zonas de conservación ecológica o áreas protegidas (ecosistemas de gran fragilidad).

**Descripción de la alternativa tecnológica propuesta.** Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el trabajo y lo planteado en la bibliografía consultada [4,16], se describe a continuación la alternativa tecnológica propuesta, para el tratamiento de residuales líquidos de la central eléctrica fuel-oil de tecnología HYUNDAI objeto de estudio.

**Alternativa propuesta.** Una vez que el tanque de recepción de lodo (capacidad 80 m<sup>3</sup>) alcanza un determinado nivel (aproximadamente un 90 %) se bombea al tanque de estabilización y después de transcurrido un tiempo de 72 h o más, según la disponibilidad de la CE, se le suministra vapor a través de un calentador de serpentín hasta alcanzar un rango de temperatura entre 75-80 °C durante un tiempo entre 30-40 min y se deja enfriar hasta que alcance la temperatura ambiente. Posteriormente se drena la fase agua (aguas oleosas) hacia la trampa de grasa y sigue el mismo ciclo del proceso descrito en el epígrafe 1 y representado en la figura 1.

En la figura 3 se muestra el diagrama de flujo con la alternativa tecnológica propuesta al sistema de tratamiento de las aguas oleosas (lodo), generadas en el proceso de centrifugación del "fuel oil" y el aceite.

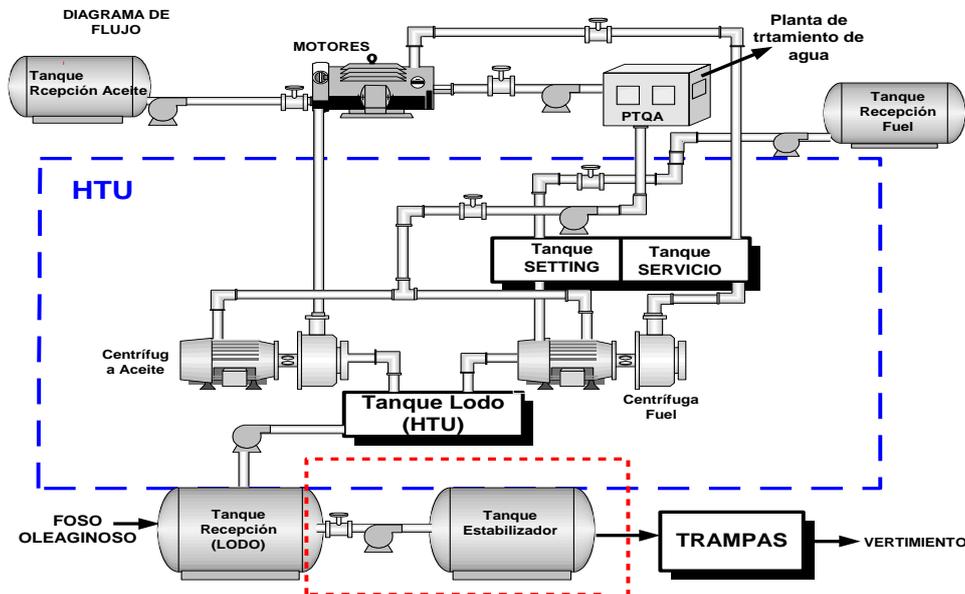


Fig. 3 Diagrama de flujo teniendo en cuenta la alternativa tecnológica propuesta al sistema de tratamiento de las aguas oleosas generadas en el proceso de centrifugación del "fuel oil" y el aceite

*Resultados de la valoración económica de la mejora propuesta*

**Análisis de los indicadores dinámicos de rentabilidad (VAN, TIR, PRD)**

Según los valores obtenidos para el Valor Actual Neto (VAN) de \$65,659, 51 y una Tasa Interna de Rentabilidad (TIR) de 64 % la mejora propuesta resulta ser viable desde el punto de vista económico. Según se muestra en la figura , el período de recuperación de la inversión (PRD) es de aproximadamente 2 años, después de implementada la propuesta.

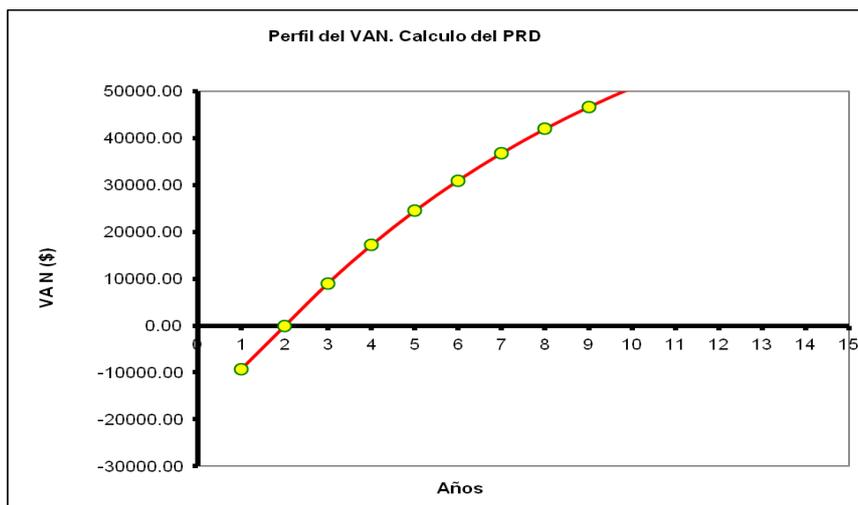


Fig. 4 Período de recuperación de la inversión

## **Impactos obtenidos con la aplicación de la mejora propuesta**

Con la aplicación de la mejora propuesta se obtienen beneficios ambientales y económicos considerables.

**Impacto económico.** Según estudios realizados por el Centro de Estudio Termoenergético Azucarero (CETA). Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, en una Central Eléctrica (CE) “fuel oil” de tecnología HYUNDAI, con 12 motores, se generan aproximadamente 242 756 L de lodo/año (año de referencia 2010).

Cantidad de dinero perdida cada año (CDPA)

$CDPA = VL * \text{Precio del "fuel oil"}$

$CDPA = 242\ 756\ \text{L/año} * 0,19\ \text{pesos}$

$CDPA = 46\ 123,64\ \$/\text{año}$

Teniendo en cuenta el volumen de lodo (VL) generado anualmente y el precio actual que paga “Generación Distribuida” para la compra del mismo, se lograrían ingresos de \$46 123,64 por año. La cantidad de dinero es significativa si se tiene en cuenta que el análisis se realizó para una CE “fuel oil” solamente.

**Impacto ambiental.** Se logra una reducción considerable de los indicadores de la contaminación más cuestionados en la legislación vigente como son (DQO, grasas y aceites e hidrocarburos), disminuyendo así el poder contaminante de dichas aguas, si las mismas son vertidas al medio. Además con la recuperación de la fase orgánica (lodo) se logran ahorros de 46 123,64\$/año por daños evitados.

## **Conclusiones**

- 1. El sistema de tratamiento de las aguas oleosas generadas en el proceso de centrifugación del fuel y el aceite de la Central Eléctrica "fuel oil" de tecnología HYUNDAI, presenta deficiencias técnicas y de diseño, que no permiten que el efluente cumpla con los LMPP, establecidos por la legislación vigente, para su vertimiento al medio.***
- 2. Las aguas residuales generadas en el proceso de centrifugación del fuel y el aceite, están compuestas por dos fases fundamentales: fase***

**combustible con un (49% v/v) y agua con grasas y aceites e hidrocarburos. Los indicadores dinámicos de rentabilidad demuestran que la propuesta es factible (VAN: \$36.279,1 y TIR: 71%), recuperándose el monto invertido en un período menor de un año.**

- 3. Se demostró que el agua residual tiene un valor añadido a partir de las ganancias que puede reportar la recuperación del combustible (lodo) no solo desde el punto de vista económico, sino desde el punto de vista ambiental y social respectivamente.**
- 4. La alternativa tecnológica propuesta alcanza una reducción considerable de los indicadores de la contaminación más cuestionados en la legislación vigente: DQO, grasas y aceites e hidrocarburos. Los indicadores dinámicos de rentabilidad demuestran que la propuesta es factible (VAN: \$36.279,1 y TIR: 71%), recuperándose el monto invertido en un período menor de un año.**

## Bibliografía

- [1]. COMPANIONI. E, ÁLVAREZ. J. A, DÍAZ, M. A. Sistemas de tratamientos de residuos sólidos petrolizados. Recopilación bibliográfica. Centro de Investigaciones del Petróleo. [http://www.monografias.com/trabajos19/residuos\\_petroalizados/residuos-petroalizados.shtml](http://www.monografias.com/trabajos19/residuos_petroalizados/residuos-petroalizados.shtml). [Consulta 10 Abril 2007]
- [2]. DCATV Grupos electrógenos, soluciones en energía. [en línea]. Disponible en Web: <http://www.grupos-electrogenos.com.ar/grupos%20electrogenos.htm>. [Consulta 20 Junio 2009].
- [3]. LAFUENTE, Susana. “Métodos de separación física para el tratamiento de desechos de refinería”. [en línea]. Fuente: Asociación Peruana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental; AIDIS. Gestión ambiental en el siglo XXI. Lima, APIS, 1998. p.1-19, Ilus, tab. Disponible en Web: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/peru/boltar008.pdf>. [Consulta: 21 de abril de 2008].
- [4]. ÁLVAREZ, J. RAMOS, E. FERNÁNDEZ, B. NÚÑEZ, A. DÍAZ, M. NOVOA, G. MILLER, S. “Métodos para la disposición de residuos sólidos petrolizados”

- Methods for Treatment of Oil Solid Wastes. [en línea].<http://www.plusformacion.com/Recursos/r/Metodos-para-disposicion-residuos-solidos-petrolizados>. [Consulta 10 Abril 2007].
- [5]. Cuba Resolución 163. Reglamento para el manejo integral de desechos peligrosos. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, 28 de Agosto de 2009.
- [6]. MARTÍNEZ Javier, MALLO Marisol, LUCAS Rosario, ÁLVAREZ Jacqueline, SALVARREY, Ana Ing. Qco. GRISTO, Pablo. Septiembre, 2005. Guía para el manejo seguro de residuos tóxicos o peligrosos. Fundamentos Tomo I Universidad de Concepción. Sistema de Gestión para el Manejo de Sustancias Químicas y Residuos Tóxicos. Capítulo 6. Gestión de Residuos Peligrosos pp 45-50 [www2.udec.cl/matpel/cursos/residuos\\_peligrosos](http://www2.udec.cl/matpel/cursos/residuos_peligrosos).
- [7]. MARTÍNEZ NODAL Pastora, ESPERANZA PÉREZ, Guillermo, RODRÍGUEZ RICO, Iván *et al.* "Caracterización físico-química de las aguas oleosas generadas en el proceso de centrifugación del diesel". En CD del 15 TH Conferencia Científica de Ingeniería y Arquitectura. (SIGEDI 2010). Simposio Internacional de Generación Distribuida. (Cuba. Palacio de las Convenciones del 29 Noviembre - 3 de Diciembre de 2010). ISBN: 978-959-261-317-1.
- [8]. EATON, A. Clesceri, L. Rice, E. APHA. AWWA. WEF. Standard methods for examination of water & wastewater: Centennia L Edition. N0 21n. American Public Gealth Associaciati, 2005. ISBN: 9780875530475
- [9]. ONN: NC27/2012. Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones. Oficina Nacional de Normalización. La Habana, 2012.
- [10]. ONN: NC521/2007. Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas. Especificaciones. Oficina Nacional de Normalización. La Habana, 2007.
- [11]. NC: "Requisitos generales para la protección de las aguas superficiales y subterráneas de la contaminación por petróleo y sus derivados". NC, 93-01-210. Cuba 1987.
- [12]. TCHOBANOGLIOUS George , BURTON Franklin L , STENSEL H. David , METCALF & EDDY. Wastewater Engineering: treatment and reuse. [ref. de

- 16 de agosto 2003]. Disponible en Web: [http://www.ppi2pass.com/ppi/PPInfo\\_pg\\_myppi-faqs-civilrefs.html](http://www.ppi2pass.com/ppi/PPInfo_pg_myppi-faqs-civilrefs.html).
- [13]. MARTÍNEZ MARTÍNEZ, Reinaldo, MONTERO, Calixto, MARTÍNEZ NODAL Pastora, et al. "Utilización de lodo como combustible en la Calera de Palenque, Remedios". En CD del 15 TH Conferencia Científica de Ingeniería y Arquitectura. (SIGEDI 2010). Simposio Internacional de Generación Distribuida. (Cuba. Palacio de las Convenciones del 29 Noviembre - 3 de Diciembre de 2010). ISBN: 978-959-261-317-1.
- [14]. GREEN, D.W. Perry, R.H. and Perry's Chemical Engineers' Handbook (8th Edition). Octubre 2007. ISBN: 0-07-142294-3. Editorial: McGraw-Hill.
- [15]. LEÓN TORRES, Yoel, "Estudio del Lodo producido en la Generación Distribuida y su posible utilización como combustible en diferentes instalaciones industriales". Director: MARTÍNEZ MARTÍNEZ, Reinaldo, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Cuba. Facultad de Ingeniería Mecánica. Centro de Estudios Energéticos y Tecnología Ambiental (CETA). 2011.
- [16]. SCALTECH INC. Waste Minimization and Recycling in Petroleum Refineries". National. Petroleum Refiners Association, Texas. <http://www.ingenieroambiental.com/4014/boltar008.o> fase superior con (50 % v/v).