

Propuesta de alternativas para la liquidación de un pasivo ambiental en la comercialización de combustibles



<https://cu-id.com/2144/v17e04>

Proposal of alternatives for the liquidation of an environmental liability in the commercialization of fuels

^{ID}Yamila Navarro Sosa*, ^{ID}Lester Rivas Trasancos, ^{ID}Carlos Cesar Cañete Pérez

RESUMEN: Un pasivo ambiental es una instalación abandonada inadecuadamente, suelo contaminado, restos de residuos u otros. Para que se considere como tal, tiene que generar daño o riesgo de daño al medio ambiente o a las personas. La piscina de residuos ubicada en una comercializadora de combustibles presenta riesgo de contaminación del suelo por infiltración, lo que hace imprescindible su liquidación para minimizar la contaminación provocada por esta. Los resultados de la caracterización demostraron que el residuo es un desecho peligroso semejante al petróleo ultrapesado, altamente sulfuroso y con un poder calórico similar a este. Se propuso la extracción del residuo, el reúso del mismo y la recuperación del área impactada. Se investigó el uso del residuo mezclado con crudo para la generación de energía para lo que se evaluó la estabilidad/compatibilidad en diferentes proporciones (2, 5 y 10 %) resultando que las mezclas estudiadas son compatibles. Se aprecia que el incremento del residuo en la mezcla empeora la estabilidad por lo que se recomienda utilizar la mezcla con la mínima proporción (2 %) adicionando algún solvente reductor para ajustar la viscosidad. Para la recuperación del área afectada se propone realizar la biorremediación *in situ*. La alternativa propuesta es técnica y económicamente viable.

Palabras clave: pasivo ambiental, contaminación, residuo, reúso, desecho peligroso.

ABSTRACT: An environmental liability is an improperly abandoned facility, contaminated soil, remains waste or others. To be considered as such, it must cause damage or risk of harm to the environment or people. The waste pool located in a fuel trader presents a risk of soil contamination by infiltration, which makes its liquidation essential to minimize the contamination caused by it. The characterization results showed that the residue is a hazardous waste similar to ultra-heavy oil, highly sulfurous and with a caloric value similar to it. The extraction of the waste, its reuse and the recovery of the impacted area was proposed. The use of the residue mixed with crude for energy generation was investigated, for which the stability/compatibility was evaluated in different proportions (2, 5 and 10 %), resulting that the mixtures studied are compatible. Appreciating that the increase of the residue in the mixture worsens the stability, so it is recommended to use the mixture with the minimum proportion (2 %), adding some reducing solvent to adjust the viscosity. For the recovery of the affected area, it is proposed to carry out *in situ* bioremediation. The proposed alternative is technically and economically viable.

Keywords: environmental liability, contamination, waste, reuse, hazardous waste.

INTRODUCCIÓN

En el sector de los hidrocarburos, un pasivo ambiental es una instalación, pozo o ducto abandonado inadecuadamente, suelo contaminado por efluentes o derrames, restos de residuos u otros. Para que sea considerado como tal se requiere que genere daño o riesgo de daño al medio ambiente y/o a la salud de las personas (Díaz & Baujín, 2020; Nilles & Goenaga, 2019). La importancia de la valoración e identificación de los pasivos ambientales en el sector de los hidrocarburos radica en que cualquier depósito

o sitio que se encuentre contaminado o haya estado expuesto de una manera prolongada a sustancias de hidrocarburos o cualquier sustancia relacionada son considerados como residuos peligrosos, ocasionando un daño potencial y permanente la salud y el medio ambiente y (Oblasser & Chaparro, 2008; Posada, 2017; Valdés, 2011). De esta manera todos estos residuos deben ser dispuestos con el fin de garantizar la mitigación del riesgo que representan y minimizar el daño que ocasionaron una vez que fueron generados (Cárdenas & Piñeros, 2019).

Recibido: 02/08/2024

Aprobado en su forma original: 19/05/2025

Centro de Investigación del Petróleo (CEINPET). Churruca No.481 esq. Washington. Cerro, La Habana.

E-mail: lester@ceinpet.cupet.cu; carloscc@ceinpet.cupet.cu.

*Correo electrónico: yamilan@ceinpet.cupet.cu

Conflicto de Intereses: Los autores de este trabajo declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribución de los autores: Investigación: Yamila Navarro Sosa, Lester Rivas Trasancos y Carlos Cesar Cañete Pérez.

Redacción-revisión y edición: Yamila Navarro Sosa.

Artículo bajo licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0)

En la evaluación de riesgo realizada al pasivo objeto de estudio se concluyó que existe un alto nivel de riesgo de contaminación del suelo por infiltración, medio para el caso del peligro por humos sofocantes y tóxicos de incendio y bajo para los peligros de derrame por desbordamiento y calor de radiación por incendio (Acosta, 2021).

Por lo que esta investigación presenta como objetivo: proponer alternativas de manejo para la disminución de la contaminación provocada por el pasivo ambiental consistente en una piscina de residuos petrolizados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización del pasivo ambiental

La piscina de residuos petrolizados constituye un pasivo ambiental que se generó por la acumulación de residuos petrolizados producto de los drenajes de los tanques de almacenamiento de combustibles y otros desechos petrolizados. Las dimensiones aproximadas de la piscina son 100 x 60 x 0,4 m, con un volumen estimado de residuos de 2400 m³. Se encuentra ubicada en una depresión natural de un terreno sin impermeabilizar.

La muestra del residuo petrolizado es deshidratada con el objetivo de determinar el contenido de agua emulsionada y preparar la misma para realizar

los ensayos físico-químicos. El proceso de deshidratación se realiza utilizando el procedimiento interno del laboratorio (CI-GC/P29-02).

Para los análisis del residuo deshidratado y el agua libre se emplean métodos estándares establecidos los que se muestran en la [tabla 1](#).

Alternativas de manejo

Para eliminar o disminuir el nivel de riesgos hasta niveles aceptables se requiere liquidar el pasivo ambiental por lo que se proponen diferentes alternativas de manejo considerando los principios de jerarquía en la gestión de residuos, priorizando opciones de aprovechamiento y valorización de los mismos.

Para la evaluación de la alternativa de reúso del residual petrolizado como combustible, se ejecutaron las siguientes actividades:

- Caracterización del residuo petrolizado y el crudo nacional
- Estudio de estabilidad/compatibilidad de las mezclas de ambos

Se determinó el Índice de Estabilidad (TSI @ 15 min) y la reología del residuo deshidratado y del crudo nacional. Los análisis se realizaron en el equipo Rheometro, de la marca Anton Paar MCR 302,

Tabla 1. Métodos de ensayos utilizados en el análisis de las muestras

Muestra	Ensayo	Método
Residuo petrolizado deshidratado	Viscosidad cinemática a 100°C (mm ² /s)	ASTM D445-2019
	Cenizas totales (% mm)	ASTM D482-2013
	Densidad a 15 °C (kg/m ³)	ASTM D287-2012b
	Densidad a 20 °C (kg/m ³)	
	°API	
	Azufre total (% m/m)	ASTM D1552-2008
	Residuo de carbón (Micro) (% m/m)	ASTM D4530-2015
	Sedimentos en petróleo crudo (% v)	ASTM D4807-2005 Conf. 2015
	Valor calórico neto (kcal/kg)	ASTM D4809-2018
	Punto de fluidez en petróleo crudo (°C)	ASTM D5853-2017a
	Insolubles en n-heptano (asfaltenos) (% m/m)	ASTM D6560-2017
	pH(25°C)	NC 32: 2009
	Conductividad (25°C) (μS/cm)	
	Grasas y Aceites (G y A) (mg/kg)	APHA 5520: 2017
	Hidrocarburos Totales (HCT)(mg/kg)	EPA 3540C: 1996
	HC Saturados, Aromáticos, Resinas y Asfaltenos (SARA)(mg/kg)	
	Metales	LSA-PT-29, Medición por ICP-OES
	pH(25°C)	ISO 10523: 2008 Confirmada 2017
	Conductividad (25°C) (μS/cm)	APHA 2510: 2017
	Demanda Química de Oxígeno (DQO)(mg/L)	ISO 6060: 1989 Confirmada 2017
Agua libre	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) (mg/L)	ISO 5815: 2019
	Grasas y Aceites (G y A) (mg/L)	APHA 5520: 2017
	Hidrocarburos Totales (HCT) (mg/L)	
	Temperatura (°C)	APHA 2550: 2017
	Cromo VI (mg/L)	APHA 3500: 2017
	Nitrógeno total (mg/L)	ASTM D3590: 2017
	Fósforo total (mg/L)	APHA 4500: 2017
	Sólidos sedimentables y suspendidos(mL/L)	APHA 2540: 2017

a diferentes temperaturas (50, 60 y 70 °C) con gradientes de corte (SR) de 1 - 100 1/s. El procesamiento de los datos se ejecutó mediante el software del equipo Rheoplus, ajustándose al modelo de potencias o Ley de Ostwald:

$$SS = SR * k^n \quad (4)$$

Donde:

SS: *Shear Stress* o esfuerzo de deformación (τ)

SR: *Shear Rate* o gradiente de corte (γ)

k: coeficiente de viscosidad

n: índice de flujo

Para el ajuste del modelo y obtención de la curva viscosidad vs temperatura se calculó la viscosidad, según el modelo de Ostwald, para gradientes de corte de 6 s⁻¹ (gradiente de corte aproximado de acuerdo al flujo del oleoducto). El petróleo con el que se prevé el mezclado es un crudo pesado, cuyas características se presentan en la [tabla 2](#).

Tabla 2. Características del petróleo crudo nacional

Gravedad °API	Densidad (kg/m ³)		Contenido de asfaltenos (%m/m)
	15°C	20°C	
14,2	967,6	970,7	17,8

Se prepararon mezclas con 2, 5 y 10 % del residuo petrolizado con crudo nativo y se analizaron los incrementos de viscosidad y estabilidad/compatibilidad.

Para el análisis de la estabilidad/compatibilidad se emplea el equipo turbiscan Lab Expert utilizando una herramienta del soft del equipo que permite a partir de las señales de transmisión obtener un número que refleja la desestabilización de una muestra dada (Turbiscan Stability Index: TSI). El procedimiento aplicado se basa en la norma ASTM D-7061-2014.

El TSI obtenido en dicho equipo se reporta a los 15 minutos de ensayo con posibilidades de valorar la cinética de desestabilización desde el primer momento que inicia el escaneo. A TSI más alto mayor inestabilidad en la muestra ensayada, por lo que se toman muestras de referencia que pueden ser los componentes de una mezcla para determinar compatibilidad de estos al mezclarse o se realiza la comparación entre muestras tomadas a diferentes niveles de un tanque de almacenamiento.

La muestra se prepara en una relación 1:9 en tolueno de la cual se toman 2 mL que se diluyen en 23 mL de n-heptano (agente floculante) y de esta solución se toma una cantidad para escanear por un tiempo de 15 min, según establece la ASTM D-7061-2014. El ensayo de TSI@15min se realiza a los componentes y las mezclas de estos, si el resultado de la mezcla es superior a uno de sus componentes se considera que son incompatibles.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los residuos petrolizados contenidos en la piscina son considerados desechos peligrosos según la clasificación general de desechos peligrosos de la Resolución 253: 2021 (CITMA, 2021). La deshidratación de la muestra de residuos petrolizados de la piscina permitió la ejecución de los análisis para la caracterización físico-química del mismo. Los resultados obtenidos aparecen en la [tabla 3](#).

Tabla 3. Resultados de la deshidratación

Cantidad (mL)	% Agua por deshidratación			% Ligeros		
	1 ^{ra}	2 ^{da}	Promedio	1 ^{ra}	2 ^{da}	Promedio
75	26,48	31,91	29,20	2,16	1,15	1,66

Los resultados muestran que el contenido del agua emulsionada presente en el residuo petrolizado es aproximadamente del 29 %, lo que es un aspecto a considerar en las diferentes propuestas para el aprovechamiento de este. El porcentaje de las fracciones ligeras es muy bajo por lo que no reviste importancia en el análisis que se realiza. La caracterización físico-química del residuo petrolizado deshidratado se muestran en la [tabla IV](#). De los mismos se infiere que el residuo petrolizado es similar a un petróleo ultrapesado de acuerdo a su densidad y gravedad °API con un contenido de azufre que lo clasifica como altamente sulfuroso, de acuerdo a Linares y colaboradores (Delgado, Cala, López, Rivera, & Strazhevich, 2011).

Tabla 4. Resultados de la caracterización físico-química del residuo

Ensayo	Resultados
Viscosidad cinemática a 100°C (mm ² /s)	721,7
Cenizas totales (% mm)	0,80
Densidad a 15 °C (kg/m ³)	1030,7
Densidad a 20 °C (kg/m ³)	1027,5
°API	5,7
Azufre total (% m/m)	8,3
Residuo de carbón (Micro) (% m/m)	15,7
Sedimentos en petróleo crudo (% v)	20,1
Valor calórico neto (kcal/kg)	9430
Punto de fluidez en petróleo crudo (°C)	26
Insolubles en n-heptano (asfaltenos) (% m/m)	17,8
pH (25°C)	4,51
Conductividad (μS/cm)	1391
Grasas y Aceites (G y A) (mg/kg)	970183
Hidrocarburos Totales (HCT)(mg/kg)	697337
HC Saturados (S) (mg/kg)	374508
HC Aromáticos (A) (mg/kg)	322829
Resinas (R) (mg/kg)	31570
Asfaltenos (A)(mg/kg)	241276

El valor del poder calórico obtenido del residuo petrolizado es semejante al petróleo crudo, aspecto favorable para la alternativa de aprovechamiento energético (Rodríguez, 2021).

Los resultados obtenidos indican un residuo petrolizado altamente contaminante dado por los elevados contenidos de hidrocarburos y compuestos relacionados, con un valor bajo de pH (4,51) característico de un medio ácido. Respecto al contenido de metales en el residuo petrolizado (tabla 5) aparecen valores de concentración relativamente bajos en relación a los obtenidos en los petróleos extraídos de la zona, en cuanto a Fe, V y Ni. La presencia de metales tóxicos tales como el As, Cd y Hg no se detectó en este residuo.

Al comparar los resultados de la caracterización del agua libre (tabla VI) con los límites máximos permisibles establecidos en la NC 521: 2007 Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas-Especificaciones (NC, 2007) se aprecia que se supera el límite de nitrógeno, lo que pudiera estar asociado a la ocurrencia de procesos de nitrificación y desnitrificación por la presencia de microorganismos (Cando, 2011; Peñafiel, Moreno, & Ochoa-Herrera, 2016). Estos resultados indican que a pesar que la mayoría de los parámetros físico-químicos evaluados en este momento cumplen con la norma tomada de referencia, se hace necesario el monitoreo de estos previo al vertimiento del agua libre al cuerpo receptor.

Tabla 6. Caracterización físico-química del agua libre

Parámetro	Resultado	LMP ^(a)
pH(25°C)	6,26	5,5-9,0
Conductividad (25°C) (μS/cm)	294	-
DQO (mg/L)	< 30	300,0
DBO ₅ (mg/L)	< 3,0	150,0
Grasas y Aceites(mg/L)	4,6	50,0
Hidrocarburos totales(mg/L)	2,4	10,0
Temperatura(°C)	27,4	40,0
Cromo (VI)(mg/L)	0,17	0,1
Nitrógeno total (mg/L)	80,7	20,0
Fósforo total (mg/L)	2,06	7,0
Sólidos sedimentables (mL/L)	0,5	15,0
Sólidos suspendidos (mL/L)	47,5	150,0

^(a) Límites máximos permisibles para las descargas de aguas residuales a la zona costera y cuerpos receptores marinos (Clase C) (NC, 2007).

Alternativas de manejo

El peligro de contaminación del suelo por infiltración presenta un nivel alto de riesgo por lo que se propone la liquidación del pasivo ambiental ya que es la única alternativa que permitiría disminuir dicho riesgo.

Para la eliminación de la piscina se hace necesario ejecutar las siguientes acciones:

- Extracción del residuo petrolizado
- Reúso del mismo y disposición del agua libre
- Recuperación del área impactada

Extracción del residuo de la piscina

Se requiere para ello el empleo de equipos especializados suministrados por un tercero ya que la entidad no cuenta con los medios necesarios para el desarrollo de la actividad. Comprende la extracción del producto trasegable sobrenadante y su procesamiento mediante filtrado y aplicación de vapor para depositarlo temporalmente en un tanque hasta la aplicación posterior de la alternativa propuesta, tomando las medidas para garantizar su deshidratación.

Se incluye además la aplicación de un producto biodegradable (Simple Green) al espejo de agua que quede luego de la extracción de sobrenadante para garantizar el cumplimiento de las normas de vertimiento, extraerla y verterla a los pluviales con la colocación de un pequeño sistema de recolección para evitar se acumule nuevamente este producto en dicho lugar.

Reúso del residuo petrolizado

De acuerdo a los resultados obtenidos en la caracterización del residuo petrolizado se propone su aprovechamiento como energético, valorando dos opciones:

- a. Mezcla del residuo petrolizado con petróleo crudo cubano en las instalaciones de la propia entidad
- b. Utilización en las fábricas de cemento como combustible

a) Mezcla con petróleo crudo

Los resultados de la reología del residuo petrolizado y del petróleo crudo cubano aparecen a continuación en las tablas 7 y 8.

El residuo petrolizado se comporta como un fluido no newtoniano, pseudoplástico al tener un índice de flujo menor que 1 en el intervalo de temperaturas ensayadas lo que se ilustra en las figuras 1 y 2.

Tabla 5. Contenido de metales en el residuo

As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Ni	Pb	Se	V	Zn
(mg/kg)												
< 0,4	9,93	<0,02	0,15	0,60	3,02	3,02	< 0,1	31,0	4,25	0,44	18,95	21,14

Arsénico (As), Bario (Ba), Cadmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Selenio (Se), Vanadio (V) y Zinc (Zn).

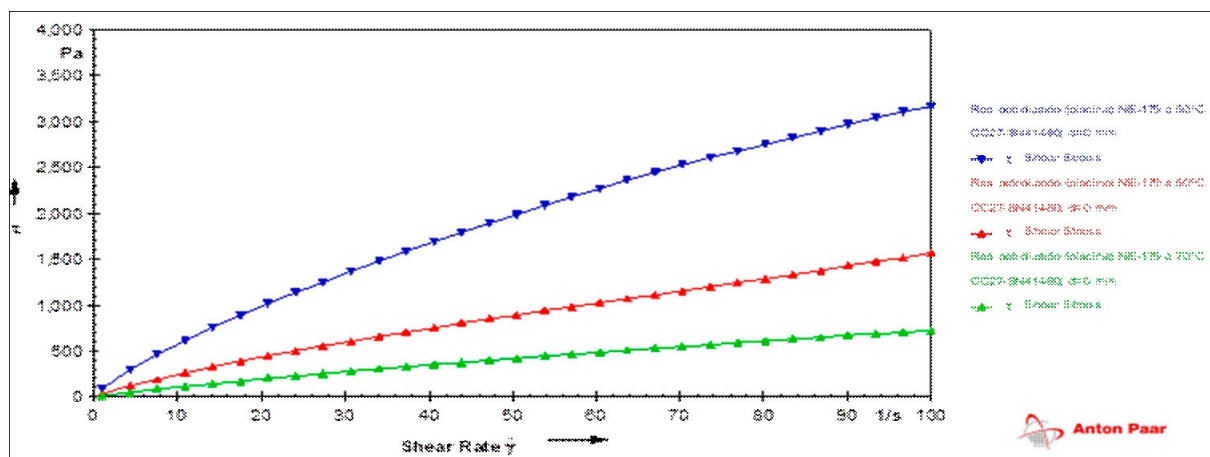


Figura 1. Curva de flujo (esfuerzo de deformación (τ) vs gradiente de corte (γ)) del residuo petrolizado

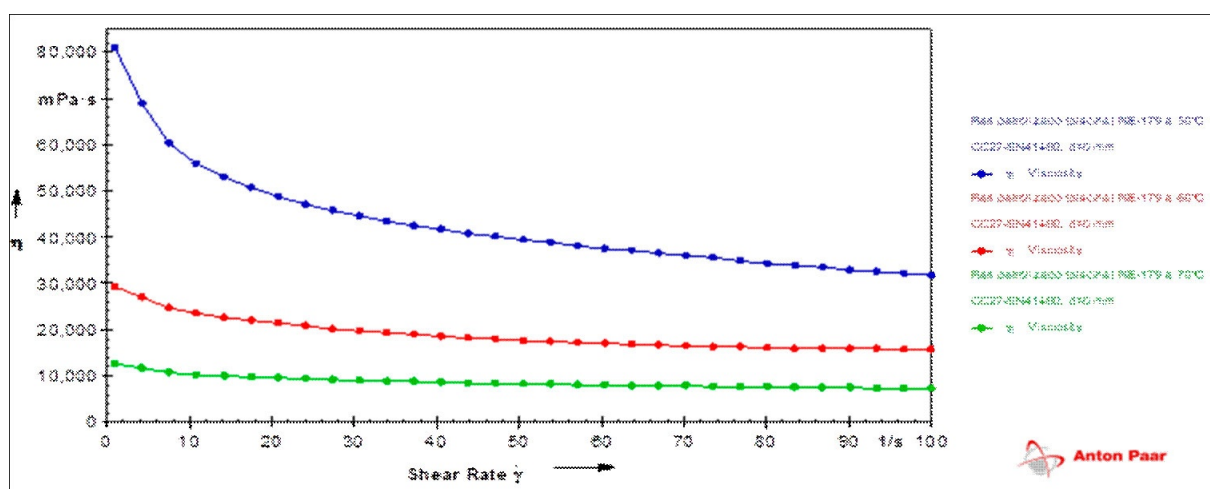


Figura 2. Comportamiento de la variación de viscosidad a incrementos de gradiente de corte (γ) del residuo petrolizado

Tabla 7. Resultados de parámetros reológicos del residuo

Reología					
50 °C		60 °C		70 °C	
K (Pas) ⁿ	n	K (Pas) ⁿ	n	K (Pas) ⁿ	n
91,862	0,7801	33,171	0,8393	13,891	0,8653

Tabla 8. Resultados de parámetros reológicos del crudo cubano

Reología							
30 °C		40 °C		50 °C		60 °C	
K(Pas) ⁿ	n	k(Pas) ⁿ	n	k(Pas) ⁿ	n	k(Pas) ⁿ	n
8,066	0,9838	3,135	3,135	1,394	0,9983	0,694	0,9992

La curva de viscosidad a diferentes temperaturas para el gradiente de corte de 6 s^{-1} (gradiente de corte aproximado de acuerdo al flujo del oleoducto) se obtiene según modelo ajustado a la data experimental (figura 3).

La muestra de crudo se comporta como un fluido no newtoniano a la más baja temperatura ensayada (30°C) y bajos gradientes de corte (índice de flujo menor de 1) con tendencia a la newtoneidad al incrementarse

la temperatura, tal como se refleja en las figuras 4 y 5. La curva de viscosidad vs temperatura (figura 6) se presenta a continuación. Los resultados se encuentran sobre la base del cálculo de la viscosidad al gradiente de corte 6 s^{-1} .

La diferencia de la viscosidad entre el residuo petrolizado y el petróleo crudo cubano es elevada. Si tenemos en cuenta que el crudo del tanque de almacenamiento es un producto terminado, listo para ser enviado a los consumidores (con viscosidad máxima de 1500 cSt de acuerdo a las especificaciones de la entidad responsable) debemos valorar que una mezcla con determinada proporción de residuo petrolizado incrementaría la viscosidad del mismo y sería necesario un nuevo ajuste de esta con solvente reductor.

En la tabla 9 se presentan los parámetros del modelo de Ostwald para cada una de las mezclas formuladas (2, 5 y 10 % del residuo petrolizado).

Se puede apreciar no solo el incremento del coeficiente de viscosidad sino también la variación en el índice de flujo. A medida que aumenta el contenido de residuo en la mezcla aumenta la viscosidad

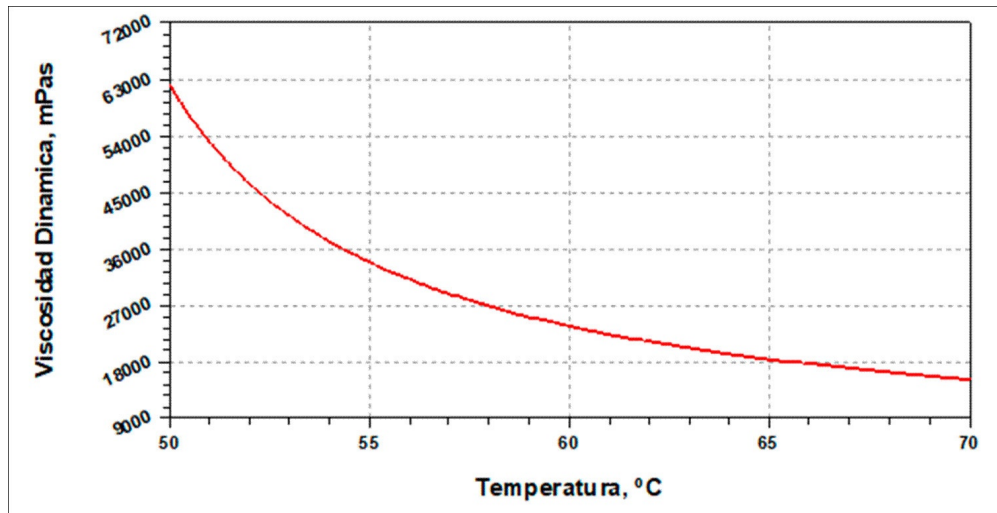


Figura 3. Curva de viscosidad vs temperatura del residuo petrolizado

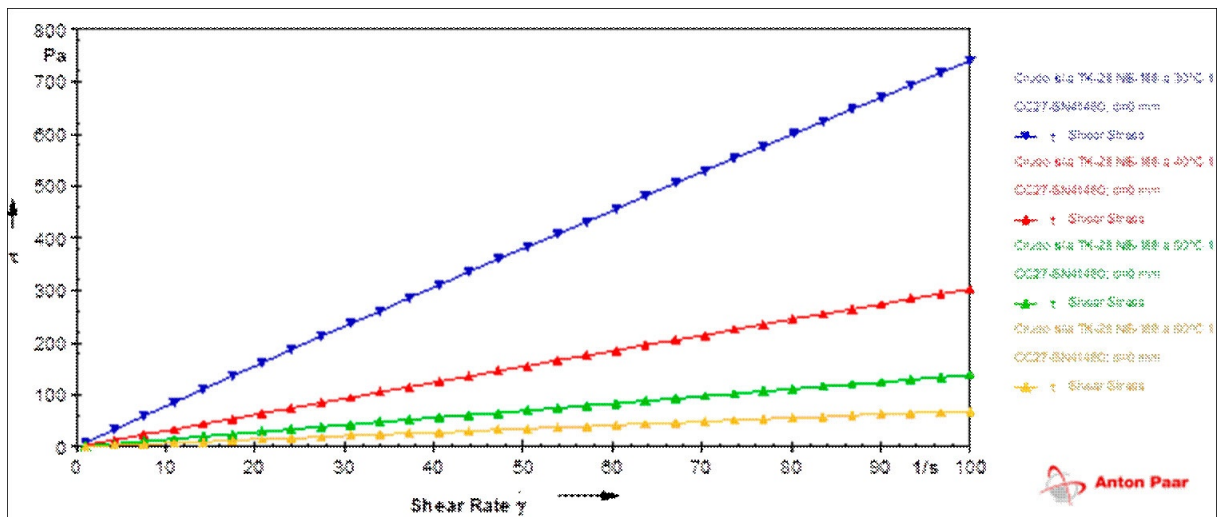


Figura 4. Curva de flujo (esfuerzo de deformación (τ) vs gradiente de corte (γ) del crudo

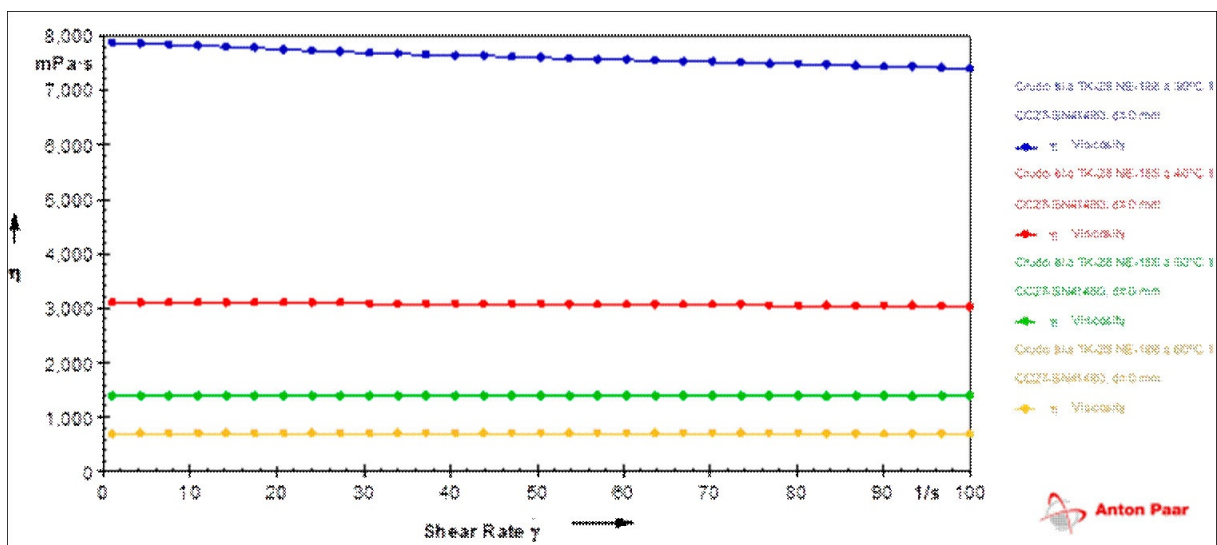


Figura 5. Comportamiento de la variación de la viscosidad con incrementos de gradientes de corte del crudo

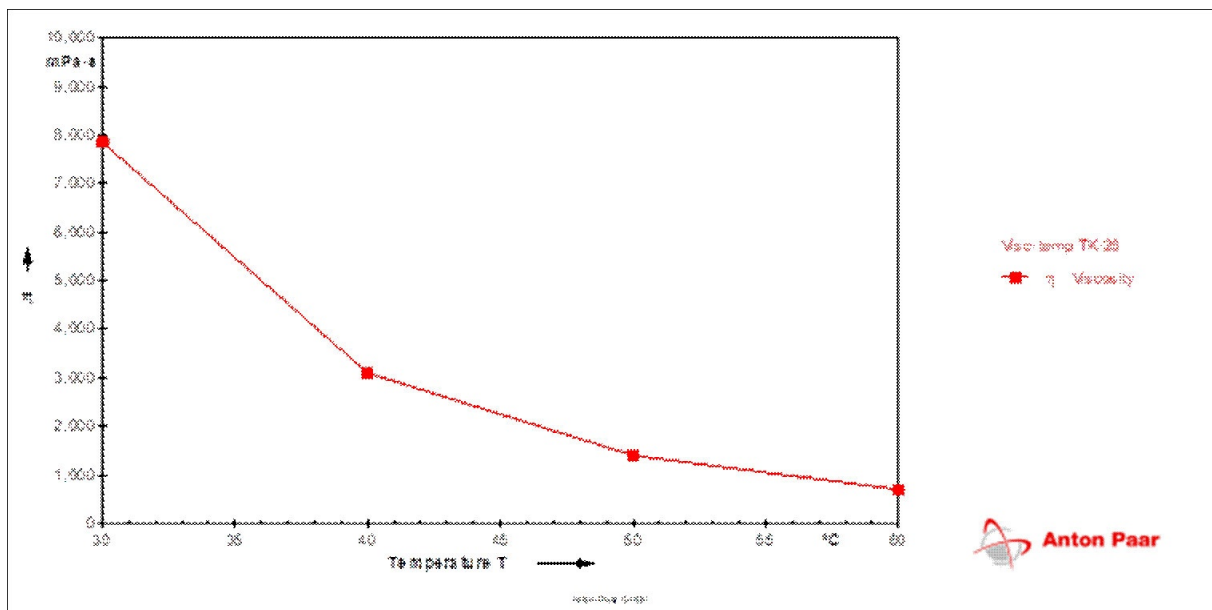


Figura 6. Curva de viscosidad vs temperatura del crudo cubano

Tabla 9. Parámetros reológicos de las mezclas

Parámetros de la ecuación de Ostwald $y = a \cdot x^b$	Temperatura (°C)			
	30	40	50	60
Mezcla (2 % de residuo petrolizado/98 % crudo)				
(a) coeficiente viscosidad, (mPas) ^a	11430	4316	1792	881
(b) índice de flujo	0,9791	0,9908	0,9990	1,0005
Mezcla (5 % de residuo petrolizado/95 % crudo)				
(a) coeficiente viscosidad, (mPas) ^a	12285	4596	1963	938
(b) índice de flujo	0,9764	0,9903	0,9965	0,9996
Mezcla (10 % de residuo petrolizado/90 % crudo)				
(a) coeficiente viscosidad, (mPas) ^a	13016	4882	2044	986
(b) índice de flujo	0,9726	0,9888	0,9969	0,9982

y disminuye con el aumento de la temperatura. En la figura 7 se presenta la comparación de la viscosidad a 50 °C del petróleo crudo cubano con las mezclas formuladas. La viscosidad de las mezclas es superior a la del crudo y aumenta a medida que aumenta el % de residuo petrolizado en la mezcla.

En el análisis de la compatibilidad se presenta el gráfico de cinética de desestabilización para el residuo petrolizado y el petróleo crudo cubano (figura 8) donde se aprecia la diferencia en la variación del TSI durante el tiempo de ensayo.

En la tabla 10 se presentan resultados de TSI en diferentes momentos del ensayo, apreciándose valores elevados y superiores para el residuo petrolizado, a pesar de tener este el mismo contenido de asfaltenos que el crudo cubano, esto se debe al envejecimiento que ha sufrido durante la exposición al medio ambiente.

Tanto el petróleo crudo cubano como el residuo petrolizado tienen una alta tendencia a la inestabilidad, este tipo de comportamiento es típico en los crudos pesados con elevados contenidos de asfaltenos y deficiente balance en su composición química.

Las mezclas fueron ensayadas y comparadas con sus componentes. En la figura 9 se presenta la gráfica de cinética de desestabilización, donde se observa que para todas las mezclas los valores de TSI se encuentran entre los de sus componentes

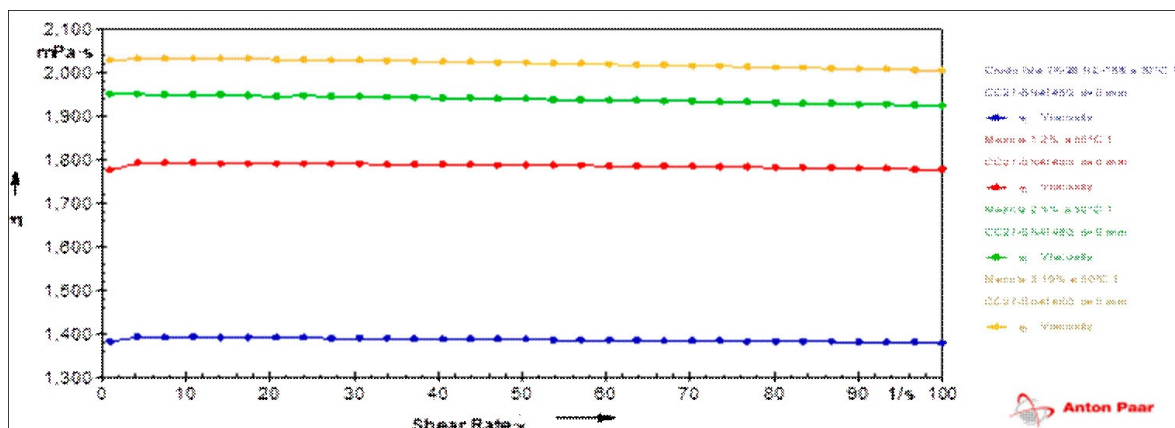


Figura 7. Comparación de la viscosidad a 50 °C del crudo cubano y las mezclas

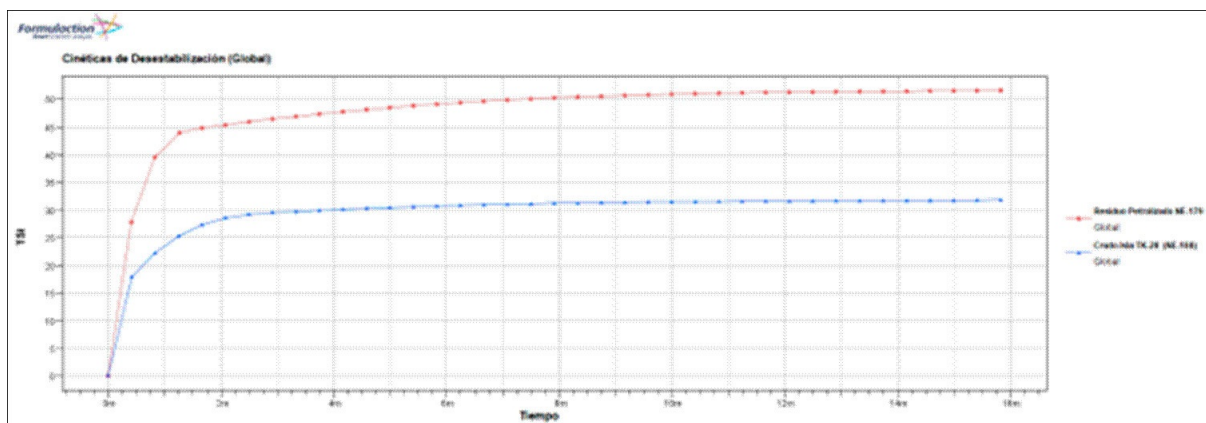


Figura 8. Cinética de desestabilización del residuo petrolizado y crudo cubano

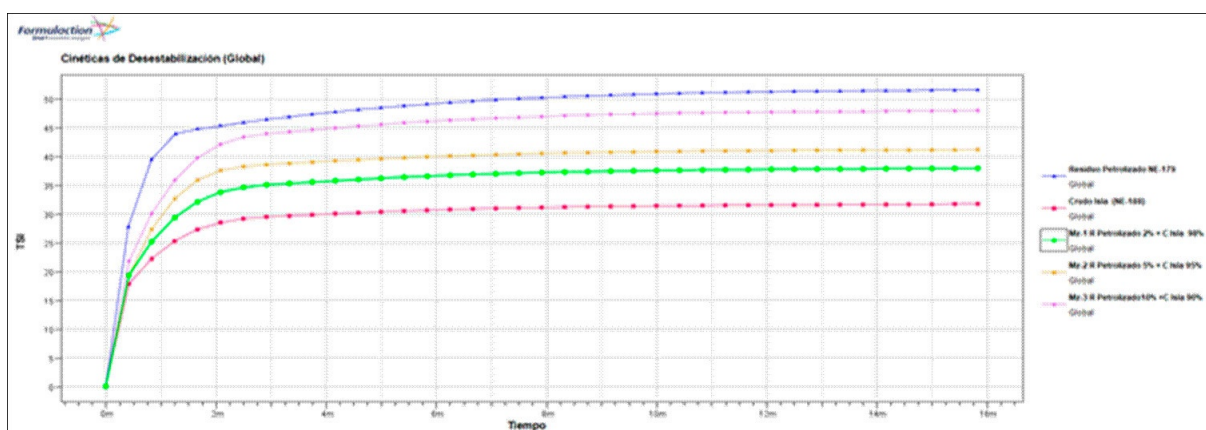


Figura 9. Cinética de desestabilización de las mezclas y sus componentes

Tabla 10. Resultados TSI del residuo petrolizado, del crudo y las mezclas

Muestra	TSI a diferentes tiempos			
	2(min)	5 (min)	10 (min)	15 (min)
Residuo	45,2	48,5	50,9	51,5
Crudo	28,3	30,4	31,4	31,7
M1(2 % R+98 % C)	33,4	36,2	37,6	37,9
M2(5 % R+95 % C)	37,2	39,6	40,8	41,8
M3(10 % R+90 % C)	41,6	45,6	47,5	47,9
M4 (2 % R+98 % C + 1 % de nafta)	37,3	41,5	43,4	44,2

por lo que son compatibles, lo cual resulta lógico al tratarse de un residual proveniente de los propios tanques de crudo pesado.

Es de notar que el incremento del residuo en la mezcla empeora la estabilidad, por lo que se recomienda realizarla con la mínima proporción de residuo petrolizado probada (2 %). La adición de solvente reductor (SRV) será necesario para realizar los ajustes de viscosidad. En la figura 10 puede observarse que al añadir 1 % de SRV a la mezcla que contiene 2 % de residuo petrolizado, para ajustar la viscosidad, se produce un incremento del TSI con relación a la mezcla, por lo que aumenta su tendencia a la inestabilidad pero su valor se encuentra entre los obtenidos para el residuo petrolizado y el crudo cubano.

Por todo lo anterior se concluye que la alternativa de mezclar el residuo petrolizado con el crudo cubano es técnicamente factible porque, aunque ambos tienen tendencia a la inestabilidad, son compatibles.

La mezcla de ambos no debe superar el 2 % del residuo utilizado ya que se incrementa la viscosidad requiriendo la adición de SRV para ajustarla.

Recuperación del área donde se encuentra el pasivo ambiental

Después de extraídos los residuos petrolizados del pasivo ambiental se requiere seguir una estrategia para la recuperación ambiental del área donde se encontraba el mismo. Las tareas propuestas son:

- Los materiales sólidos contaminados con hidrocarburos, extraídos de la piscina deben ser incinerados en una instalación con las condiciones adecuadas para que no se produzca ningún impacto ambiental. Debe contarse con la licencia ambiental para la realización de esta actividad.
- Ejecutar la suavización de los taludes y/o construcción de terrazas alrededor de toda la piscina para combatir la erosión y descontaminar sus paredes.

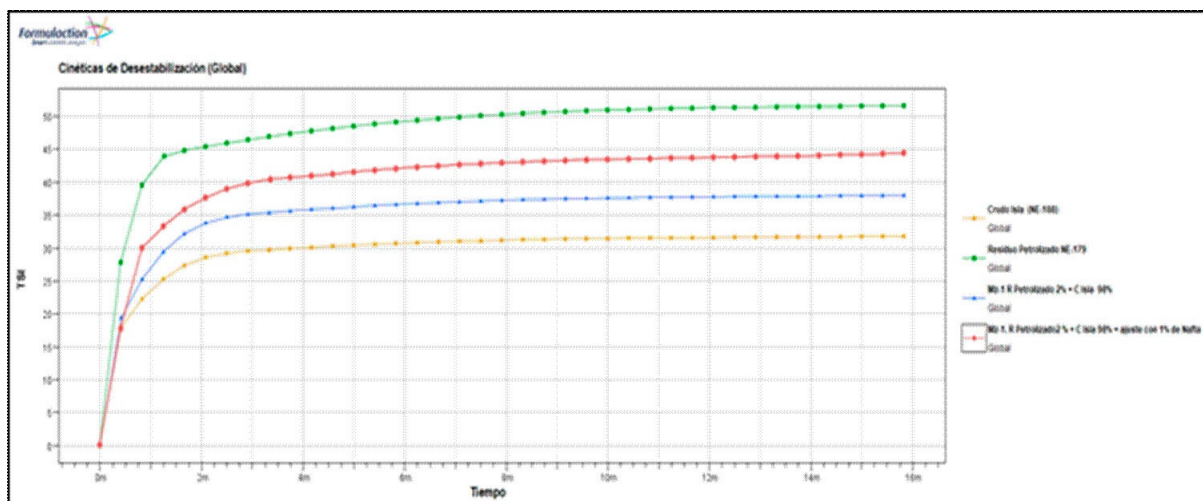


Figura 10. Comparación de la cinética de desestabilización por adición de SRV en la mezcla que contiene 2 % de residuo petrolizado

- El material contaminado con hidrocarburos obtenido de la suavización de taludes y/o construcción de terrazas se tratará en el proceso de biotratamiento propuesto para el suelo contaminado.
- Colocar mallas y/o siembra de césped o plantas rastreras en todos los taludes o terrazas construidas para lograr la estabilización de los mismos.
- Implementar un proceso de monitoreo o seguimiento del proceso de estabilización de taludes y resiembra de las especies plantadas de ser necesario hasta la recuperación y rehabilitación total del pasivo ambiental.
- Caracterización del suelo contaminado y montaje del proceso de biotratamiento.

CONCLUSIONES

La caracterización del residuo de la piscina arrojó niveles de contaminación elevados. Para la liquidación del pasivo ambiental se propone el aprovechamiento energético del residuo petrolizado, siendo la mejor opción la mezcla de 2% de residuo petrolizado con petróleo crudo cubano y añadiendo un solvente para corregir la viscosidad. La alternativa de aprovechamiento energético mezclado con petróleo crudo cubano es factible técnica y económicamente.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, J. C. 2021. Análisis de riesgo y propuesta de alternativas de manejo de un pasivo ambiental en una instalación para la comercialización de hidrocarburos. Tesis de Ingeniería Química, La Habana: Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE).
- Cando, M. Á. 2011. Determinación y análisis de un proceso de biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos. Tesis de Ingeniería Ambiental, Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Cárdenas, E. A., & Piñeros, C. A. 2019. Diseño de una metodología que permita la identificación y la valorización de los pasivos ambientales huérfanos petroleros mediante el uso de una plataforma digital. Tesis de Ingeniero de petróleo, Bogotá DC: Fundación Universidad de América,
- Resolución 132/2009 Reglamento del proceso de evaluación de impacto ambiental, 132/2009 C.F.R. 2009.
- Delgado, D. E. G., Cala, E. L., López, O. D., Rivera, J. G. L., & Strazhevich, V. 2011. Yacimientos Y Manifestaciones de Hidrocarburos de la República de Cuba: El Centro de Investigaciones del Petróleo.
- Díaz, Y., & Baujín, P. 2020. Procedimiento para la identificación, cuantificación y registro contable de los pasivos ambientales en la industria petrolera cubana. Revista Cubana de Finanzas y Precios, enero - marzo: 4- 6
- Nilles, V., & Goenaga, A. 2019. Pasivos ambientales e información socioambiental en empresas petroleras argentinas. Revista CEA, III, 23.
- Oblasser, Á., & Chaparro, E. 2008. Estudio comparativo de la gestión de pasivos ambientales mineros en Bolivia, Chile, Perú y Estados Unidos. Santiago de Chile.
- Oficina Nacional de Normalización. 12007.. Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas - Especificaciones. In O. N. d. N. (NC) (Ed.), (1 ed., Vol. 521, pp. 15). Norma Cubana NC: 521: 2007, Cuba.
- Peñañiel, R., Moreno, C., & Ochoa-Herrera, V. 2016. Eliminación de nitrógeno y contaminación orgánica de agua residual industrial pretratada en lagunas anaeróbicas mediante un biofiltro de arena. Avances en Ciencias e Ingenierías, 8(14): 12.
- Posada, Y. Y. 2017. Formulación del Plan de Gestión Ambiental de la Compañía Drillsite Fluid Treatment bajo lineamientos de la Norma

ISO 14001. Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Popayan. Rodríguez, H. 2021. Tablas de poder calorífico. Retrieved from Disponible: <https://ingemecanica.com/tutoriales/poder_calorifico.html>, [Consultado: enero 7, 2024].

Rodríguez, H. 2021. Tablas de poder calorífico. Retrieved from Disponible: https://ingemecanica.com/tutoriales/poder_calorifico.html, Consultado: enero 7, 2024

Valdés, C. W. 2011. Tratamiento Físico Químico de Residuos Oleosos. Tesis de Ingeniería de petróleo, Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.