

## *Propuesta de disposición final del residual de brea de hulla generado en la industria farmacéutica*

### *Proposal for the final disposition of the residual of coal tar generated in the pharmaceutical industry*

Yamila Navarro Sosa <sup>a</sup>, Laura Pupo Pérez <sup>a</sup>, Lester Rivas Trasancos <sup>a</sup>, Yuletsis Díaz Rodríguez <sup>a</sup>, Claudia Chao Reyes<sup>a</sup>, Carlos C. Cañete Pérez <sup>a</sup> Roberto Romero Silva<sup>a</sup> y Ramón A. Medina Reyes <sup>b</sup>.

<sup>a</sup> Centro de Investigación del Petróleo (CEINPET), Churruca No.481, Cerro, La Habana, Cuba, yamilan@ceinpet.cupet.cu. Teléfono: 537-6494101 ext.139.

<sup>b</sup> Empresa Laboratorio Farmacéutico Líquidos Orales (MEDILIP), Carretera Central vía Santiago de Cuba, km 845, Bayamo Granma, Cuba

**Recibido:** 28 de enero de 2020.

**Aceptado:** 10 de junio de 2020.

#### RESUMEN

El residuo de brea de hulla está formado por los sedimentos acumulados de la preparación del licor Picis Carbonis, ingrediente del producto farmacéutico Champú de Brea. Este residuo se acumuló durante años sin que se aplicara una opción de manejo final para el mismo. El objetivo de este trabajo fue proponer alternativas de disposición final del residuo de brea de hulla. Se realizó la caracterización físico-química y microbiológica, utilizando métodos establecidos y a partir de los resultados obtenidos se analizaron como posibles alternativas de disposición: la biorremediación, la incorporación en cementos asfálticos y la dosificación a combustibles pesados (crudo nacional y fuel oil). Los resultados demostraron que es factible dosificar y mezclar el residuo con los combustibles pesados, siendo la mejor variante la mezcla con crudo nacional en las proporciones 1, 3, 5 y 10%. Se propuso aplicar esta variante en instalaciones existentes, lo cual es ambientalmente aceptable teniendo en cuenta los valores de concentración de metales presentes en el mismo. Por otro lado, se demostró que las otras dos alternativas evaluadas no resultaron viables. Se recomendaron las medidas a cumplir para el almacenamiento, transportación y disposición segura de este desecho peligroso que incluye su aprovechamiento energético. Se manifestó la factibilidad técnica y ambiental de este residual mezclado con combustible, así como la importancia de la disposición segura de un desecho peligroso y la necesidad del cumplimiento del manejo adecuado del mismo

**Palabras clave:** residuo; alternative; disposición.

#### ABSTRACT

The coal tar residue is formed by the accumulated sediments of the preparation of the Picis Carbonis liquor, an ingredient of the Brea Shampoo pharmaceutical product. This waste was accumulated for years without a final management option being applied for it. The objective of this work was to propose alternatives for the final disposal of coal tar residue. The physical-chemical and microbiological characterization was carried out, using established methods and from the obtained results were analyzed as possible alternatives of disposition: the bioremediation, the incorporation in asphaltic cements and the mixture to heavy fuels (national crude oil and fuel oil). The results showed that it is feasible to dose and mix the waste with heavy fuels, being the best variant the mixture with national crude in the proportions 1, 3, 5 and 10%. It was proposed to apply this variant in existing facilities, which is environmentally acceptable taking into account the concentration values of metals present in it. On the other hand, it was shown that the other two alternatives evaluated were not viable. The measures to be complied were recommended for the storage, transportation and safe disposal of this dangerous waste that includes its energy use. The technical and environmental feasibility of this residual mixed with fuel was manifested, as well as the importance of the safe disposal of a hazardous waste and the need to comply with its proper handling.

**Keywords:** residue; alternative; disposal.

## INTRODUCCIÓN

El proceso de coquización del carbón es complejo. En términos simples consiste en la destilación del carbón del que se obtiene el coque como residuo sólido, una mezcla de gases denominado gas coque y una mezcla de hidrocarburos condensados; que constituyen el alquitrán.

El alquitrán de hulla es el producto de la condensación obtenido por el enfriamiento hasta la temperatura ambiente, del gas desprendido en la destilación destructiva del carbón. Es un líquido negro, viscoso, más denso que el agua y compuesto principalmente de una mezcla compleja de hidrocarburos aromáticos con anillos condensados. Además, puede contener compuestos fenólicos, bases nitrogenadas aromáticas y sus alquil derivados e hidrocarburos parafínicos y olefínicos (Camporredondo *et al.*, 2012).

El residuo de brea de hulla (figura 1) está formado por los sedimentos acumulados de la preparación del Licor Picis Carbonis a partir de la Brea de Hullas (materia prima importada) después de la decantación y los retenidos en filtros. El licor es utilizado como ingrediente del Champú de Brea, producto que se obtenía en la industria farmacéutica. Este fármaco ya no se produce, pero su residuo se acumuló durante años sin existir una alternativa de disposición; por lo que existen 3630 kilogramos almacenados en tanques de 55 galones.

El objetivo de este trabajo es proponer alternativas de disposición final del residuo de brea de hulla generado en la industria farmacéutica.

## METODOLOGÍA

El residuo de brea de hulla se cataloga como un desecho peligroso, según la clasificación de la Resolución 136/2009 del CITMA “Reglamento para el Manejo Integral de desechos peligrosos” (CITMA, 2009). Se procedió a la caracterización del mismo para la determinación de sus características fundamentales.

### Caracterización físico-química del residuo de brea de hulla

Para realizar la caracterización físico - química se utilizaron los métodos mostrados en la tabla 1 para lo cual fue necesario deshidratar la muestra y se determinó el contenido de agua.

### Caracterización microbiológica del residuo de brea de hulla

La caracterización microbiológica se realizó utilizando los métodos que se muestran en la tabla 2.

### Cálculo del poder calórico del residual de brea de hulla

La determinación del poder calórico bruto y neto se realizó según la ASTM D 4868 (ASTM, 2010) utilizando las ecuaciones siguientes:

$$Q_v = [(51,916 - 8,792 \cdot d) \cdot 10^{-6} [1 - (x + y + s)] + 9,42 \cdot s] \text{ Ec. 1}$$

$$Q_p = (46,423 - 8,792 \cdot d \cdot 10^{-6} + 3,170 \cdot d \cdot 10^{-3}) [1 - (x + y + s)] + 9,42 \cdot s - 2,449 \cdot x \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

$Q_v$ : poder calórico bruto a volumen contante, Kcal/kg  $Q_p$ : poder calórico neto a presión constante, Kcal/kg  $d$ : densidad a 15°C, kg/m<sup>3</sup>

$x$ : fracción másica de agua, %/100

$y$ : fracción másica de cenizas %/100

$s$ : fracción másica de azufre %/100

### **Determinación del contenido de metales tóxicos.**

Se procesaron cuatro muestras de las cenizas obtenidas y se realizó la lectura de los contenidos de metales en un Espectrómetro de Absorción Atómica modelo Inesa 4530F, utilizando el método ASTM D 5863-05 (ASTM, 2005).

### **Análisis de diferentes alternativas de disposición final**

Para realizar el análisis de las diferentes propuestas de alternativas de disposición final se tuvo en cuenta la revisión bibliográfica sobre el tema, la experiencia profesional y la caracterización del residual.

Se analizaron las siguientes alternativas de disposición final:

1. Tratamiento de Biorremediación
2. Incorporación en cemento asfáltico
3. Dosificación a combustibles pesados (variante 1: incorporación en crudo pesado nacional; variante 2: incorporación en fuel oil).

Para el posible tratamiento por biorremediación se realizó el análisis de la caracterización microbiológica y de parámetros físicos.

En el caso de la alternativa de incorporación al cemento asfáltico se utilizó un asfalto base producido en nuestro país con las características que se presentan en la tabla 3.

El residuo de brea de hulla fue incorporado en dosis pequeñas (1, 3, 5 y 10%) con el objetivo de observar la variabilidad en los resultados de los ensayos después de adicionado y se le realizaron al ligante los ensayos de penetración y temperatura de ablandamiento para su clasificación por grado penetración.

En la incorporación del residuo a combustibles pesados se analizó la adición al crudo pesado nacional y al fuel oil de importación en las mismas proporciones que en la alternativa 2(1, 3, 5 y 10%). Ambos combustibles se utilizan para la quema en diferentes industrias.

Un análisis necesario en la alternativa 3 es el tipo de fluido que resulta el residuo de brea deshidratado. Se realizaron mediciones de gradiente de corte ( $\dot{\gamma}$  en 1/s) y esfuerzo de corte ( $\tau$  en Pa), en un reómetro Anton Paar con dispositivo CC-27, a diferentes temperaturas (25, 30 y 50 0C).

Se utilizaron el modelo de Ostwald (modelo de potencias:  $y=a * xb$ ) y el modelo de Newton ( $y= a * x$ ) Donde:

a: coeficiente viscosidad(mPas)

b: índice de flujo

La Viscosidad Cinemática ( $\eta$ ), en cSt se calcula con el programa a partir de las mediciones obtenidas en el reómetro Anton Paar.

Otro de los índices fundamentales que se evalúa es si este residuo causa algún efecto negativo sobre la estabilidad de estos combustibles, caracterizados por poseer elevado contenido de asfaltenos que pueden flocular ante la presencia de otro componente por problemas de compatibilidad. En este caso se analiza hasta que proporción pueden ser compatibles dado el índice de estabilidad en Turbiscan (TSI) obtenido hasta 15 min.

Para la determinación del TSI se utilizó un Turbiscan Lab Expert, exponiendo determinada cantidad de muestra del combustible o mezcla previamente diluida en tolueno a una proporción de n-heptano en exceso para provocar la floculación forzada. La muestra contenida en la celda se escanea durante 15 minutos y se obtiene un registro de transmitancia que posteriormente con el propio soft lo convierte en la curva TSI vs tiempo.

En esta alternativa se analiza además el contenido de cenizas y de azufre total. Se evaluaron los contenidos de cenizas cuando se preparan mezclas con residuo de brea a las dosis estudiadas y los combustibles tienen contenido de cenizas de 0,1%m/m (máximo por especificaciones).

### **Propuesta de manejo del residual de brea de hulla**

Para realizar la propuesta de aplicación de las variantes de la alternativa seleccionada se revisó la legislación aplicable, así como las entidades con posibilidades de asimilar este residuo con un fin energético, definiendo los aspectos a tener en cuenta para la selección del receptor.

Se definen además los requisitos a cumplir en las etapas del ciclo de vida de este residuo: almacenamiento, traspotación y disposición final teniendo en cuenta la legislación vigente, así como las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas aplicables.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización físico-química del residuo de brea de hulla

En los resultados mostrados en la tabla 4 se observa que los valores de pH y conductividad están dentro de los límites establecidos por la NC 819:2017(NC, 2017), para requerimientos de acondicionamiento en el caso de la aplicación de la biorremediación (pH entre 6-9 y conductividad <200).

### Caracterización microbiológica del residuo de brea de hulla

Los resultados en la tabla 5 indican que no existe presencia de microorganismos en la muestra analizada.

### Cálculo del poder calórico del residual de Brea de hulla

Los valores del poder calórico neto ( $Q_p$ ) y del poder calórico ( $Q_v$ ) resultaron ser:  $Q_p=6516,00$  Kcal/kg

$Q_v=9492,36$  Kcal/kg

Los valores del poder calórico obtenidos son semejantes a los de los combustibles pesados según

ANCAP, 2018 y C A, 2018, los que están en el entorno de 10000 Kcal/kg.

### Determinación del contenido de metales tóxicos

Los resultados de los contenidos de metales en las muestras de cenizas se exponen en la tabla 6, mostrando valores muy bajos.

### Análisis de diferentes alternativas de disposición final

El análisis de las alternativas identificadas arrojó los siguientes resultados:

Tratamiento de Biorremediación: partiendo de la naturaleza orgánica del residual se visualizó la posibilidad de aplicar un tratamiento de este tipo. Por otro lado la caracterización microbiológica arrojó escasa presencia de microorganismos en la matriz, incluyendo los degradadores de hidrocarburos y químicamente no fue posible la determinación el nitrógeno y fósforo, ni de los parámetros indicadores de la contaminación como grasas y aceites. Por todo lo anterior se determinó que no es posible la aplicación de un tratamiento de biorremediación.

Incorporación en cemento asfáltico: En la tabla 7 se exponen los resultados de penetración y temperatura de ablandamiento, que son los primeros ensayos que se le realizan al ligante para su clasificación por grado penetración y para determinar la posibilidad de esta alternativa.

Puede observarse que en el asfalto de partida desde la primera adición del residuo comienza a incrementarse la penetración, admitiendo solo 1% para quedar dentro de la marca del asfalto (50-70 de penetración) y hasta un 2,4 % si se determina por el modelo de ajuste que se presenta a continuación: Ajuste lineal:  $y = a + bx$

Datos de los coeficientes:  $a = 59,656051$  y  $b = 4,2484076$

Error estándar: 1,9429223 y Coeficiente de correlación: 0,9950415.

En las gráficas que se muestran en la figura 3 se ha representado el % máximo de residuo de brea que puede añadirse al ligante para que cumpla con el parámetro de penetración.

Del análisis de esta alternativa se deduce que la temperatura de ablandamiento (que ya es inferior al exigido por especificación) disminuye rápidamente lo que limita la misma, independientemente del resultado de la penetración, que pudo añadirse hasta un 2,4%. En este caso pudiera negociarse con un usador del cemento asfáltico para ejecutar pruebas directas en mezclas asfálticas.

### **Dosificación a combustibles pesados:**

En la tabla 8 se presentan los resultados de los modelos de Ostwald y de Newton a diferentes temperaturas, al ajustar las mediciones realizadas de gradiente de corte ( $\dot{\gamma}$ ) en 1/s vs esfuerzo de corte ( $\tau$ ) en Pa. El índice de flujo ( $b$ ) obtenido en el modelo de Ostwald, cercano a 1 permite realizar el ajuste al modelo de Newton y asegurar que el fluido tiene un comportamiento newtoniano a las temperaturas ensayadas, se presenta además en la tabla la viscosidad cinemática calculada a partir de estos resultados.

En la figura 4 se muestra la curva de flujo que permite apreciar que a todas las temperaturas tiene como punto de partida el valor cero. Al aplicar el modelo de Ostwald la curva de flujo resultante, queda solapada sobre valores experimentales, al ser el índice de flujo cercano a 1.

En la figura 5 se muestra los resultados de viscosidad ( $\eta$ ) donde puede observarse que ambas curvas de los datos experimentales y los del modelo de Newton se encuentran superpuestas y son paralelas al eje de las x.

$y = a * x$  (modelo de Newton)

En la caracterización se demostró que el residuo tiene un comportamiento newtoniano igual que el de los combustibles, por lo que no lo afecta su mezcla.

Se determinó el efecto sobre la estabilidad de estos combustibles del residuo de brea de hulla, el que presenta muy bajo TSI a 15 min (0,6), típico de muestras que no tienen o presentan bajo contenido de asfaltenos.

En la tabla 9 se presentan los resultados de TSI a 15 min del crudo pesado y mezclas con 1, 3, 5 y 10% de residuo de brea.

El crudo tiene un elevado TSI, que es típico, debido al elevado contenido de asfaltenos que este presenta (aproximadamente 20% m/m). La afectación del mismo por la adición de brea es ligera y similar en todas las proporciones estudiadas, lo que se visualiza en el gráfico de la figura 6.

En el estudio con fuel oíl los resultados de las mezclas se comportaron de forma similar a las de crudo, teniendo poca variación del TSI, no llegando a ser superior a 20, como se muestra en la tabla 10.

La figura 7 muestra el gráfico de comportamiento del TSI durante los 15 minutos de prueba para el fuel oíl, residuo de brea y sus mezclas.

En la figura 8 se observan pocos sedimentos en el fondo y la solución aún queda coloreada por disolución de materiales en el n-heptano que provoca bajos % de transmitancia, resultando el TSI típico de muestras con bajo contenido de asfaltenos.

Otros índices a tener en cuenta en esta alternativa es el contenido de cenizas y de azufre total, que son elevados en el residuo de la brea. Sin embargo, por la baja dosis que se recomienda adicionar al combustible no debe afectar el contenido de estos parámetros en la mezcla; siempre y cuando se partan de combustibles con contenido de cenizas inferiores de 0,1 % m/m, que es el máximo permisible por especificaciones para los mismos.

En la tabla 11 se representa el posible comportamiento del contenido de cenizas cuando se preparan mezclas con residuo de brea a las dosis estudiadas y los combustibles tienen contenido de cenizas de 0,1% m/m (máximo por especificaciones).

Del estudio de esta alternativa se concluye que el residuo de brea puede ser incorporado al crudo pesado nacional, que se utiliza como portador energético, en todas las proporciones estudiadas pues prácticamente tienen similar comportamiento en cuanto al TSI. También puede ser incorporado al fuel oíl, que se utiliza como portador energético, en todas las proporciones estudiadas siempre y cuando el TSI inicial del fuel no sea superior a 15. En caso de utilizar esta variante una prueba de estabilidad del fuel oíl debe ser realizada.

Aunque no se realizaron ensayos para mezclas con petcoque se considera que la mezcla con este combustible es factible a partir de la semejanza de este combustible con el residuo estudiado y los resultados obtenidos mezclándolo con otros combustibles.

En la evaluación de la mejor alternativa identificada (dosificación a combustibles pesados), las determinaciones de los metales tóxicos presentes en las cenizas del residuo de brea de hulla resultaron contenidos bajos por lo que la utilización como portador energético del residuo de brea dosificado en los combustibles es una alternativa ambientalmente aceptable ya que garantiza la reutilización energética de un residuo peligroso minimizando el impacto ambiental.

## **Aplicación de la mejor alternativa seleccionada**

Para la aplicación de la mejor alternativa escogida es necesario analizar los factores siguientes a tener en cuenta en la selección de la entidad involucrada:

1. Disposición de la entidad receptora.
2. Poseer o solicitar la licencia ambiental que aprueba la autoridad ambiental para realizar la actividad.
3. Cercanía al lugar de almacenamiento del residuo.
4. Condiciones para la recepción del residuo.

Algunas de las entidades que pueden utilizar como combustible el residuo de brea de hulla dosificado en el combustible son:

Centrales termoeléctricas

Fábricas de cemento

Fábricas de cerámica

Empresas de materiales de la construcción

Centrales azucareros

## **Propuesta de manejo del residuo de brea de hulla**

El manejo ambiental de este residuo incluye las etapas del ciclo de vida del mismo: almacenamiento, transportación y disposición final. Las acciones a ejecutar estarán encaminadas a cumplir con los requisitos establecidos.

### **Requisitos a cumplir en el lugar de almacenamiento del residuo de brea de hulla:**

-Tener identificado el lugar de almacenamiento, contando con la señalización adecuada.

-Utilizar recipientes o envases adecuados que cumplan con los requisitos siguientes:

- a) Tener un espesor capaz de soportar el volumen y peso del material y su manipulación.
- b) Estar contruidos con materiales que sean resistentes al desecho almacenado y a prueba de filtraciones.
- c) Resistir los esfuerzos producidos durante su manipulación, garantizando en todo momento que no produzcan derrames.

d) Mantener en buenas condiciones, reemplazándose aquellos que muestren signos de deterioro.

e) Estar rotulados, identificando la sustancia que contienen.

-Los recipientes solo pueden ser movidos de forma manual si su peso no excede los 30 kg. Para recipientes que excedan ese peso es obligatorio el empleo de equipamiento mecánico.

-Tener una base continua, impermeable y resistente estructural y químicamente a la sustancia manejada.

-Contar con un cierre perimetral de al menos 1,80 metros de altura que impida el libre acceso de personas y animales.

- Estar techados y protegidos de condiciones ambientales tales como humedad, temperatura y radiación solar.

-Garantizar que se minimizará la volatilización, el arrastre o la lixiviación y en general cualquier otro mecanismo de contaminación del medio ambiente.

-Tener una capacidad de retención de escurrimientos o derrames no inferior al volumen del contenedor de mayor capacidad ni al 20% del volumen total de los contenedores almacenados.

-Tener acceso restringido, en términos que sólo podrá ingresar personal debidamente autorizado por el responsable de la instalación.

-Almacenar a una distancia de al menos 15 metros del límite de la instalación.

-Estar ubicados en zonas de bajo riesgo de inundaciones.

-Contar con las medidas y medios de protección requeridos, incluidos los de protección contra incendios.

#### **Requisitos a cumplir en la transportación del residuo de brea de hulla:**

-El generador que utilice el servicio de terceros para determinadas acciones de manejo del residuo de brea de hulla, es responsable de asegurarse que los transportistas cuenten con la licencia ambiental y se realice el tratamiento y la disposición final en instalaciones y sitios que cuenten con la licencia ambiental correspondiente.

-El personal que realice el transporte tiene que estar debidamente capacitado para la operación adecuada del vehículo y de sus equipos y para enfrentar los posibles accidentes o averías, para lo cual debe tener conocimiento de la sustancia a transportar, así como las características de peligrosidad de esta.

-Los vehículos para la transportación tienen que estar diseñados, construidos y operados de modo que cumplan su función con plena seguridad.

-El transportista es responsable de la disponibilidad de medios de comunicación para el aviso ante la ocurrencia de accidentes o roturas, así como de los medios de protección afines a la sustancia que es objeto de transporte.

**Requisitos a cumplir en la disposición final del residuo de brea de hulla:**

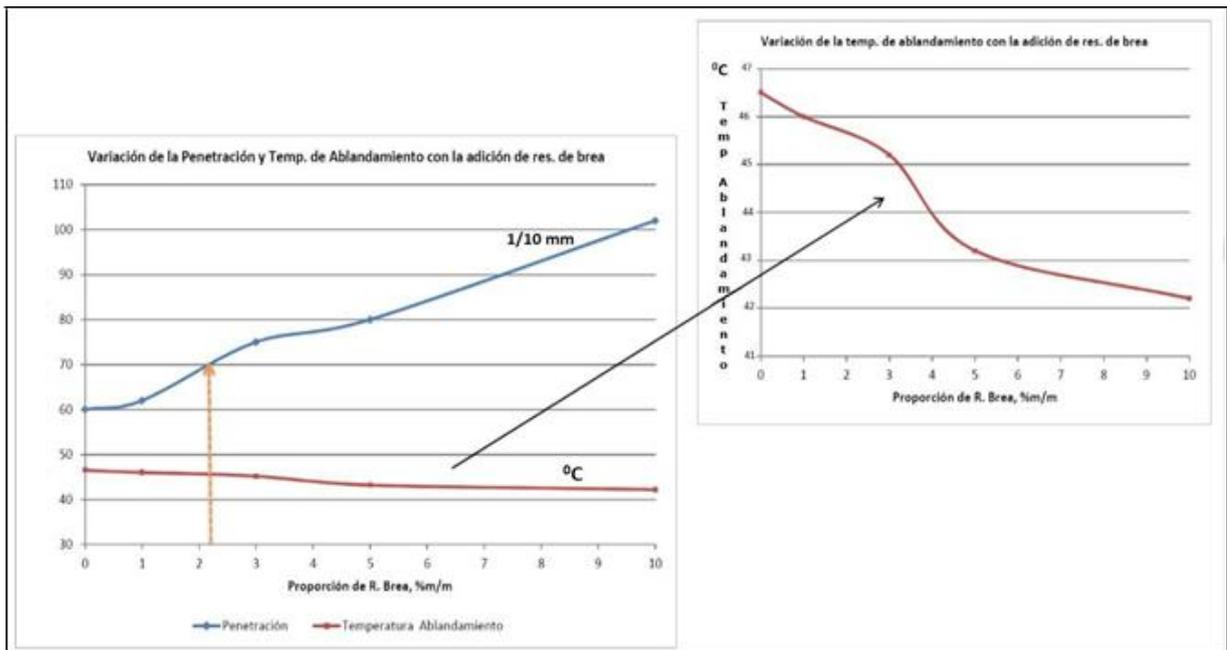
La propuesta de disposición final del desecho es el aprovechamiento energético del residuo por un tercero, los requisitos a cumplir por el mismo estarán contenidos en la licencia ambiental otorgada a la entidad receptora para realizar dicha actividad.



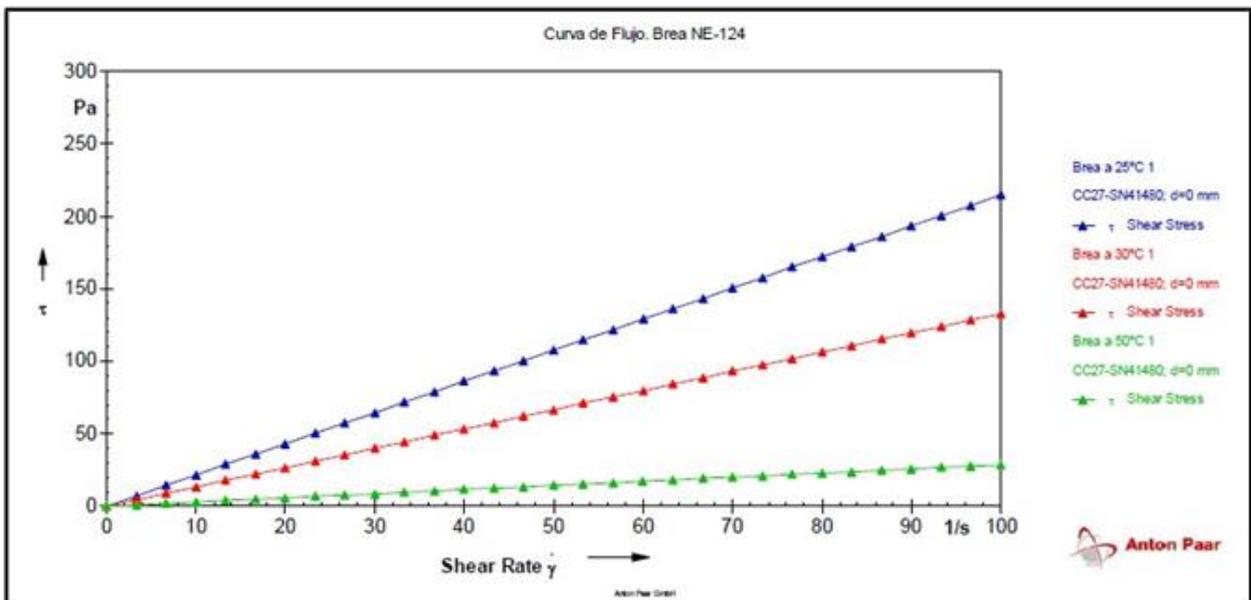
*Fig. 1. Residuo de Brea de hulla.*



*Fig. 2. Almacenamiento del residuo de brea de hulla.*



**Fig. 3.** Gráfica representativa del comportamiento de la penetración y temperatura de ablandamiento en las mezclas cemento asfáltico- residuo de brea de hulla.



**Fig. 4.** Curva de flujo del residuo de brea deshidratado a diferentes temperaturas.

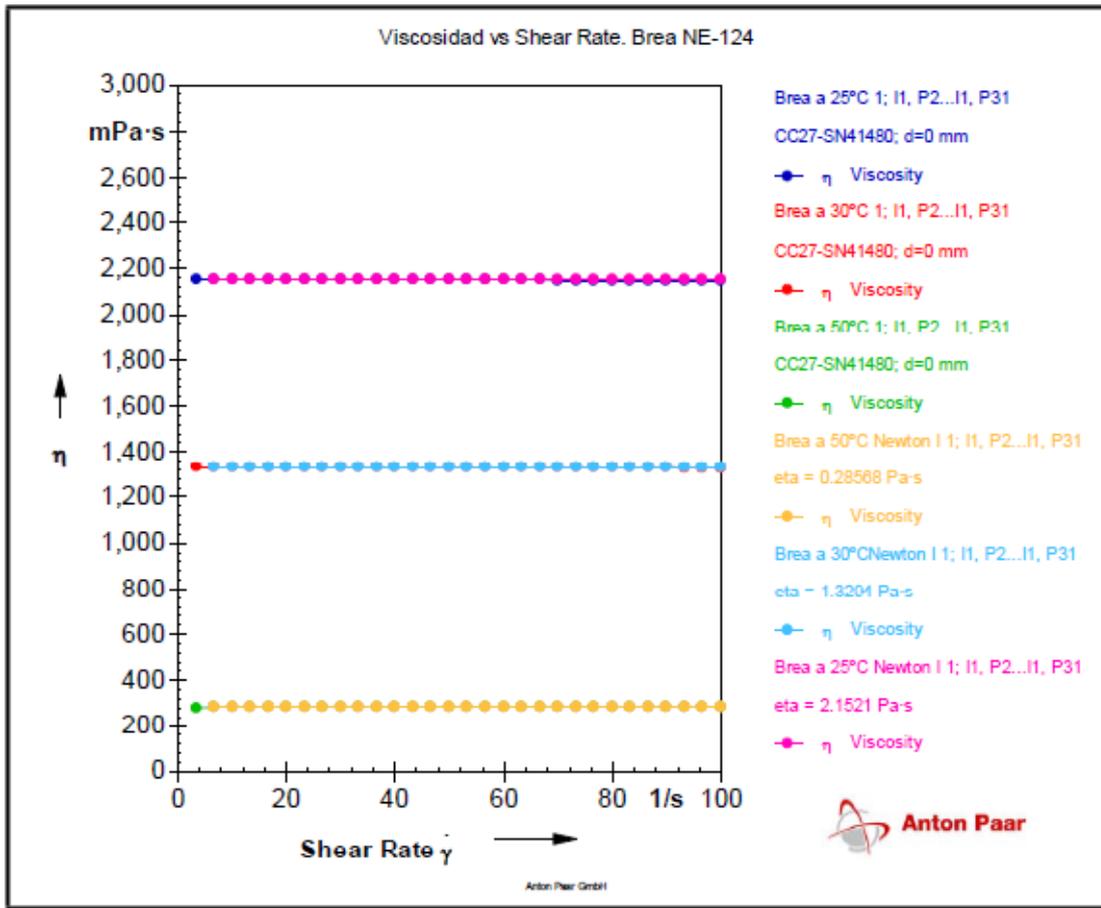


Fig. 5. Viscosidad vs Shear Rate a diferentes temperaturas. Datos experimentales y Modelo de Newton.

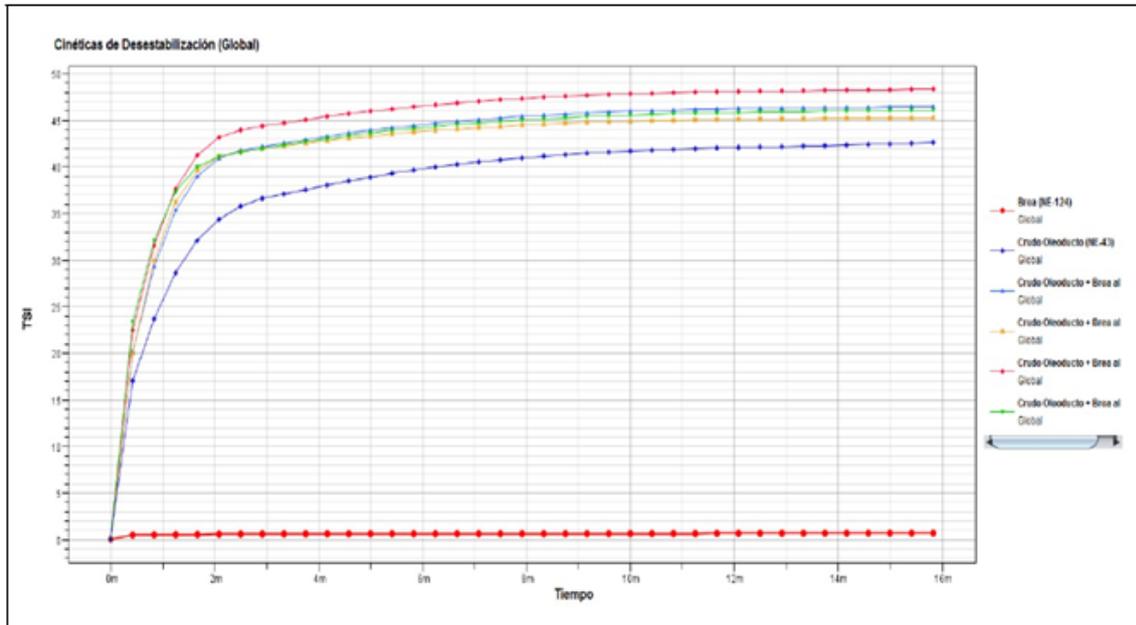


Fig. 6. Comportamiento del TSI en los 15 minutos de prueba, para el crudo, residuo de brea y sus mezclas

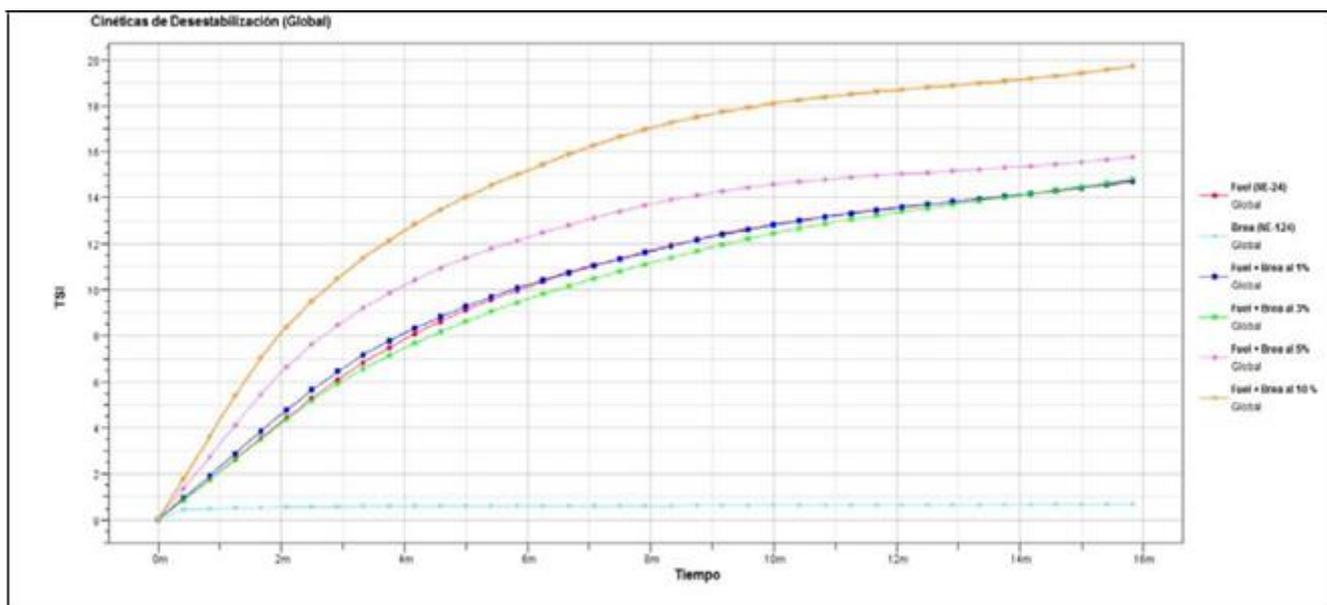


Fig. 7. Comportamiento del TSI en los 15 minutos de prueba de fuel oil, residuo de brea y sus mezclas.



Fig. 8. Celda conteniendo la mezcla de fuel oil con el residuo de brea después de la provocación de la floculación forzada con n-heptano para la medición del TSI.

**Tabla 1.** Métodos de ensayos utilizados en la caracterización físico-química.

<b>Determinación</b>	<b>Método Empleado</b>
Densidad a (g/cm <sup>3</sup> )	ASTM D-1298
Agua por Destilación(% m/m)	ASTM D-95
Cenizas Totales(% m/m)	ASTM D-482
Azufre Total(% m/m)	ASTM D-1552
Insolubles en tolueno(% m/m)	ASTM D-6560
Viscosidad Cinemática a 50°C(cSt)	ASTM D-445
Temperatura de Inflamación(°C)	ASTM D-93
pH y Conductividad	NC 32:09

**Tabla 2.** Métodos de ensayos utilizados en la caracterización química y microbiológica.

<b>Parámetro</b>	<b>Bacterias</b>	<b>Hongos</b>	<b>Microorganismos degradadores</b>		
			<b>Crudo</b>	<b>Pireno</b>	<b>Benceno</b>
<b>Métodos de ensayos</b>	ISO 8199:2005	NC 7954:2002	ISO MBH Medium (Modified Bushnell and Hass Salt solution). Wyndham et al, 1981. Appl. Environ		

**Tabla 3.** Caracterización del asfalto base utilizado en la mezcla con el residuo de breá.

<b>Determinación</b>	<b>Método Empleado</b>	<b>Resultado</b>	
Penetración 100 g, 5s, 25°C, 1/10mm	NC ASTM D- 5	60 ± 1	
Densidad a 25 °C, kg/m <sup>3</sup>	NC ASTM D-70	1029.8 ± 0.8	
Temperatura de Ablandamiento, °C	NC ASTM D-36	46.5 ± 0.4	
Índice de Penetración	Cálculo	-1.85	
Viscosidad Absoluta a 60 °C, 300mm Hg, Pas	ASTM D-2171	299.6	
Viscosidad Dinámica con Brookfield spidle Num. SC21, mPas	ASTM D 4402	989 ± 12	
135 °C			431 ± 5
150 °C			173 ± 2
160 °C			
Viscosidad Cinemática a 135°C, cSt	Cálculo	992	

**Tabla 4.** Resultados de la caracterización físico-química del residual de brea de hulla.

Parámetros	Resultado
Densidad a (g/cm <sup>3</sup> ) a 15 <sup>o</sup> C	1,1384
a 25 <sup>o</sup> C	1,1339
Agua por Destilación(% m/m)	1,5
Cenizas Totales(% m/m)	0,072
Azufre Total(% m/m)	0,46
Insolubles en tolueno(% m/m)	66,92
Viscosidad Cinemática a 50 <sup>o</sup> C(cSt)	278
Temperatura de Inflamación(°C)	138±6,9
pH(25 °C)	6,01 ± 0,51
Conductividad (25 °C) (µS/cm)	42,0 ± 0,1

**Tabla 5.** Resultados caracterización microbiológica (UFC/g).

Muestra	Bacterias	Hongos	Microorganismos totales	Microorganismos degradadores		
				Crudo	Pireno	Benceno
Residuo Brea de Hulla	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1

**Tabla 6.** Resultados de la determinación de metales en el residuo de brea de hulla

Muestras	Cu (µg/g)	Cd (µg/g)	Zn (µg/g)	Pb (µg/g)	Fe (µg/g)	Co (µg/g)	Mn (µg/g)
1	<2	<0,2	<0,4	<2	7,4	<2	<0,4
2	<2	<0,2	<0,5	<2	5,4	<2	<0,4
3	<2	<0,2	<0,5	<2	5,9	<2	<0,4
4	<2	<0,2	<0,2	<2	5,3	<2	<0,4

**Tabla 7.** Resultados de penetración y temperatura de ablandamiento en la mezcla de ligante asfáltico 50-70 con residuo de brea de hulla

% Residuo de brea de hulla	Penetración 25 <sup>o</sup> C,100g, 5s,1/10mm	Temp. Ablandamiento (°C)
0	60	46,5
1	62	46
3	75	45,2
5	80	43,2
10	102	42,2

**Tabla 8.** Resultados de la determinación de metales en el residuo de brea de hulla.

Modelos Ajustados	Modelo Ostwald			Modelo Newton		
	25	30	50	25	30	50
Temperatura(°C)						
coeficiente viscosidad (a), mPas	2159,1	1331,4	283,57	2152,1	1329,4	285,68
Índice de Flujo (b)	0,9991	0,9996	1,002	1	1	1
Viscosidad Cinemática, cSt				1897,9	1175,2	255

**Tabla 9.** Resultados del TSI del crudo y mezclas con residuo de Brea de hulla.

Parámetros	Resultado de los Experimentos					
	100	0	1	3	5	10
% de residuo de Brea	100	0	1	3	5	10
TSI a 2 min	0,5	33,9	40,5	40,8	42,7	40,9
TSI a 5 min	0,6	38,9	43,9	43,3	45,9	43,6
TSI a 10 min	0,6	41,6	45,9	44,8	47,8	45,5
TSI a 15 min	0,6	42,4	46,4	45,2	48,2	46

**Tabla 10.** Resultados del TSI del fuel oil y mezclas con residuo de brea de hulla.

Parámetros	Resultado de los Experimentos					
	100	0	1	3	5	10
% de residuo de Brea	100	0	1	3	5	10
TSI a 2 min	0,5	4,2	4,6	4,2	6,4	8,1
TSI a 5 min	0,6	9,1	9,3	8,6	11,4	14,0
TSI a 10 min	0,6	12,8	12,8	12,4	14,6	18,1
TSI a 15 min	0,6	14,4	14,4	14,4	15,5	19,4

## CONCLUSIONES

La caracterización del residual de brea de hulla permitió clasificarlo como un desecho peligroso por lo que el manejo del mismo debe realizarse cumpliendo los requisitos establecidos para este tipo de sustancia. La dosificación del residual de brea de hulla hasta un 10% a combustibles pesados resulta una alternativa factible para la disposición final del mismo, siendo la mejor variante ensayada la del crudo. La dosificación en instalaciones que utilicen petcoque como combustible es otra alternativa viable a partir de la caracterización de la brea de hulla.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Portland (ANCAP) (2018). Reporte fuel oil pesado 2018. Uruguay. Recuperado de: <https://www.ancap.com.uy/innovaportal/file/1668/1/fuel-oil-pesado-201808>.
- American Standard Test Method (ASTM) (2010). ASTM D 4878 Standard Test Method for Estimation of Net and Gross Heat of Combustion of Burner and Diesel Fuels. Mayo 2010. Consultada: diciembre 2018.
- American Standard Test Method (2005). ASTM 5863: 05. Standard Test Methods for Determination of Nickel, Vanadium, Iron, and Sodium in Crude Oils and Residual Fuels by Flame Atomic Absorption Spectrometry.
- Combustibles y Asfaltos (C & A) (2018). Oíl Combustibles. Reporte fuel oil 2018. Argentina. Recuperado de: [http://cylargentina.com/docs/combustibles/oil\\_fuel\\_oil.pdf](http://cylargentina.com/docs/combustibles/oil_fuel_oil.pdf).
- Camporredondo Saucedo J.E., Martínez Flores R., García Lara A. M., Garza García M. & Sifuentes Barrea C. F (2012). Contribuciones fundamentales para el desarrollo tecnológico de materiales avanzados de carbono a partir de alquitrán de hulla. Prospect. Vol. 10, No. 2, Julio - diciembre. México. págs. 7-12.
- Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) (2009). Resolución 136/2009 Reglamento para el manejo integral de desechos peligrosos. Gaceta Oficial No. 037 Ordinaria de 28 de septiembre de 2009. La Habana, Cuba. Págs. 1288-1303.
- Oficina Nacional de Normalización (NC) (2017). NC 819:2017 Manejo de fondaje de tanques de almacenamiento de petróleo y sus derivados. La Habana. Cuba.