Universidad Tecnológica de La Habana
José Antonio Echeverría

Ingeniería Mecánica
2026;29:e719. ISSN 1815-5944

Artículo de investigación científica y tecnológica

Caracterización del lodo residual oleoso y su mezcla con el fueloil de la generación distribuida

Characterization of oily residual sludge and its mixture with fueloil from distributed generation

Jorge de los Santos Portuondo Pera[1]*, Francisco Lafargue Pérez[2], Lorenzo Alfredo Enríquez García[3]

1. Universidad de Oriente. Centro de Estudio de Energía y Refrigeración, CEER. Santiago de Cuba, Cuba.
2. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo. Facultad de Ingeniería de Sistemas y Electrónica. Riobamba, Ecuador.

*Autor de correspondencia: portuondo@cterente.une.cu

Este documento posee una licencia Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 internacional

Recibido: 30 de enero de 2026 Aceptado: 8 de mayo de 2026 Publicado: 9 de mayo de 2026

Resumen

En la industria del petróleo y el gas, se obtiene una cantidad apreciable de residuos oleosos, los cuales generan productos de valor agregado para su uso como combustible. Este trabajo tuvo como objetivo determinar las propiedades físicas (viscosidad, densidad y poder calórico neto) del lodo residual oleoso proveniente de la generación distribuida con contenidos de agua del 4 %v/v y 12 %v/v, y de sus mezclas con el fueloil con diferentes fracciones, así como, su influencia sobre éstas. Para su determinación se emplearon los métodos basados en las normas ASTM D95, ASTM D445, ASTM D1298, ASTM D240, mostrando ambos un decrecimiento en sus magnitudes en comparación con el fueloil, donde además, el lodo con contenido de agua de 12 % v/v, estuvo limitado entre el 4 % y 6 % de la mezcla en el valor especificado para el contenido de agua, mientras que el lodo con 4 % v/v de agua garantizó los valores especificados para el fueloil hasta el 18 % de la mezcla, pudiendo ser utilizado como combustible en generadores de vapor en esta proporción.

Palabras claves: lodo residual oleoso, fueloil, contenido de agua, generación distribuida.

Abstract

The oil and gas industry generates significant quantities of oily waste, which can be converted into value-added products for use as fuel. This study aimed to determine the physical properties (viscosity, density, and net calorific value) of oily residual sludge—sourced from distributed generation operations and containing 4% v/v and 12% v/v water—as well as the properties of blends created by mixing this sludge with fuel oil at various ratios. Analyses were conducted using methods based on ASTM standards D95, D445, D1298, and D240. The results showed a decrease in these property values compared to pure fuel oil; specifically, the sludge with 12% v/v water content was limited to a 4–6% blend ratio to remain within specified water content limits, whereas the sludge with 4% v/v water content met fuel oil specifications at blend ratios of up to 18%, making it suitable for use as fuel in steam generators at that proportion.

Key words: oily residual sludge, fuel oil, water content, distributed generation.

Cómo citar este artículo, norma Vancouver:
Portuondo Pera JS, Lafargue Pérez F, Enríquez García LA. Caracterización del lodo residual oleoso y su mezcla con el fueloil de la generación distribuida. Ingeniería Mecánica. 2026;29:e719.

1. Introducción

En la industria del petróleo, se generan desechos que incluye fluido de perforación, aguas residuales y lodos de petróleo de plantas de tratamiento de efluentes, así como, lodos del fondo de tanques, suponiendo un reto global en su tratamiento y manejo por su peligrosidad ambiental.

Según las fuentes de generación, el residuo oleoso se puede dividir en residuo oleoso de campos petroleros, residuo oleoso de almacenamiento y transporte, residuo oleoso de refinerías y residuo oleoso de derrames [1].

En este trabajo se utilizó el residual oleoso obtenido del proceso de generación con motores de combustión interna que integran los Grupos Electrógenos para la Generación Distribuida.

Los residuos oleosos son una mezcla compleja de emulsiones de petróleo en agua (O/W), agua en aceite (W/O) e impurezas sólidas suspendidas, y tienen las características de una fuerte estabilidad de la emulsión y alta viscosidad [2-4].

En general un residuo oleoso contiene de 10 a 50 % de hidrocarburos, de 30 a 85 % de agua, de 5 a 46 % de partículas sólidas, hasta 1 % de nitrógeno, un 5 % de azufre en promedio y cantidades variables de metales pesados [5-6].

Las Centrales Eléctricas (CE) constituidas por motores de combustión interna, durante su funcionamiento, generan un residuo oleoso como consecuencia del proceso de centrifugación para la purificación del fueloil y el aceite utilizado por estos, que incluye el agua tratada químicamente utilizada en el posterior lavado de las centrifugas. Finalmente, este residuo oleoso es almacenado en un tanque que actúa como sedimentador para la separación del agua y la fase combustible bajo el efecto de la gravedad, drenándose una parte del agua hasta quedar en dicho tanque un producto en forma de emulsión del tipo W/O conocido como lodo [7-8].

La caracterización de este residual oleoso realizada en esta investigación, demostró la presencia de una emulsión cuya fase dispersa es el agua y la continua el hidrocarburo, del tipo W/O con 4 % v/v y 12 % v/v. de agua.

En [9], muestran la caracterizacion de lodos oleosos mezclados con fueloil y cuyo contenido de agua estuvo muy cercano a 4 y 12 % v/v respectivamente.

Los resultados de los estudios realizados por estos autores mostraron **un incremento en la viscosidad y la densidad de las mezclas combustible**, asi como una disminución en el poder calorífico, no mostrando valores limites de aceptacion por las normas para su uso.

Del análisis de esta revision bibliográfica, podemos concluir que es de suma importância la caracterizacion de estos residuos antes y después de mezclarlo con otros combustibles para determinar los limites de aceptacion en cuanto al comportamento de sus propiedades físicas por la influencia del agua.

La recuperación y aprovechamiento de la fase combustible presente en este residual oleoso, es una medida de producciones más limpias que reporta beneficios económicos, ambientales y sociales, al disminuir la cantidad de combustible importado por su reutilización en el propio proceso (*in situ*) o en procesos externos (*ex situ*). Con esta acción se le da un beneficio práctico al residuo oleoso generado, al ser mezclado con el fueloil para su utilización como combustible en los generadores de vapor de centrales térmicas, y de esta forma además se reducen volúmenes de almacenamientos.

Este trabajo tuvo como objetivo determinar las propiedades físicas (viscosidad, densidad y poder calórico neto (PCI) del lodo residual oleoso proveniente de la generación distribuida con contenidos de agua del 4 % v/v y 12 % v/v, y de sus mezclas con el fueloil con diferentes fracciones, así como, su influencia sobre dichas propiedades.

La caracterización de este residual oleoso arrojó que sus propiedades físicas, tales como, viscosidad, densidad y poder calórico neto, son inferiores a las del fueloil, se utilizaron los métodos basados en las normas ASTM D95, ASTM D 445, ASTM D1298, ASTM D240 respectivamente, de igual forma se evaluó la influencia de este residual sobre las propiedades en la mezcla con fueloil, donde quedó demostrado que existen evidencias significativas del efecto del lodo sobre éstas, ya que, en ambos casos, se mostró un decrecimiento de sus magnitudes en comparación con el fueloil, donde además, el lodo con contenido de agua de 12 % v/v, estuvo limitado entre el 4 % y 6 % de la mezcla en el valor especificado para el contenido de agua, mientras que, el lodo con 4 % v/v de agua garantizó los valores especificados para el fueloil hasta el 18 % de la mezcla, pudiendo ser utilizado como combustible en generadores de vapor en esta proporción.

2. Métodos y Materiales

2.1. Muestras y población del fueloil y el lodo residual oleoso

Siguiendo los criterios de la norma ASTM D4057, se obtuvieron 3 muestras de fueloil extra pesado de un tanque de almacenamiento por el método corrido (todos los niveles) el cual garantiza una buena representatividad y se depositaron en partes iguales en recipientes plásticos con una capacidad de 5 litros para su estabilización. Por otro lado, y se tomaron 3 muestras de lodo de un tanque ubicado en un emplazamiento de una central de motores de combustión interna, el cual está destinado a la recepción de éste para la separación y extracción del agua libre bajo el efecto de la gravedad mediante drenajes continuos y se colocaron en recipientes plásticos con capacidad de 5 litros. A las muestras de lodo se le determinó el conteniendo de agua como referencia inicial resultando 4 % v/v y 12 % v/v.

En el laboratorio, la preparación de las mezclas consistió en tomar un recipiente graduado y limpio con una capacidad de 1 litro, posteriormente se vertió primero la cantidad de fueloil y de lodo a ser usada en el ensayo según el diseño de experimento en base a 250 ml, luego, se utilizó la agitación mecánica por 20 minutos como método de mezclado. Se comprobó la miscibilidad de las mezclas dejando los recipientes reposar durante 24 h y no se observó ninguna separación de las sustancias, siendo una mezcla homogénea. Se elaboraron 15 sub muestras de mezclas para cada experimento con lodo además de 3 sub muestras fueloil y 3 sub muestra de lodo como referencia base, para un total de 36 sub muestras.

La caracterización se realizó primeramente de manera independiente para el fueloil y los lodos con contenido de agua de 4 % v/v y 12 % v/v, luego en forma de mezclas (fueloil - lodo) en diferentes fracciones, determinándose la viscosidad cinemática a 50 ^{o}C, la densidad a 15 ^{o}C, el poder calórico neto y contenido de agua por destilación,

con tres réplicas para cada propiedad, donde se demostró que los coeficientes de variación se mantienen en los rangos establecidos por las normas mencionadas anteriormente utilizadas para estos experimentos.

Para la obtención de las mezclas (fueloil-lodo) a diferentes por cientos o fracciones se diseñó un experimento a escala de laboratorio, empleándose para el procesamiento de los datos y el análisis estadístico el programa computacional MINITAB 15.

Al final, se caracterizaron un total de trece produtos, tanla 1, figura1.

Tabla 1. Diseño experimental de mezclas: Fuente: autores

Grupo	Lodo % v/v	Fueloil % v/v	Agua en lodo % v/v	Replicas
1	2	98	4	3
2	2	98	12	3
3	6	94	4	3
4	6	94	12	3
5	10	90	4	3
6	10	90	12	3
7	14	86	4	3
8	14	86	12	3
9	18	82	4	3
10	18	82	12	3

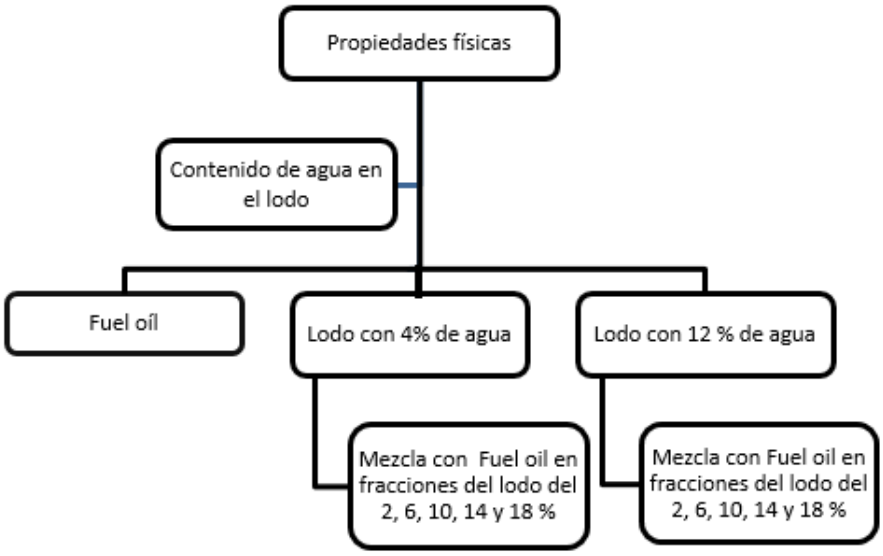


Fig. 1. Productos a los cuales se le determinan las propiedades físicas. Fuente: autores

Contenido de agua en el lodo

Las magnitudes del contenido de agua en el lodo se muestran en la tabla 2, donde la cifra mínima del contenido del agua es del 4 % v/v, mientras la máxima corresponde al 12 % v/v. Estas magnitudes del contenido de agua en el lodo no son similares a otros valores mencionados anteriormente, ya que, debido a las propias características específicas de este lodo residual, se estabiliza la emulsión con esos valores de agua [9-10].

Tabla 2. Contenido de agua en las muestras de lodo. Fuente: Autores

Mediciones	Lodo 4 %	Lodo 12 %
1	4,1	12,2
2	3,8	11,5
3	4,2	12,5
Valor promedio	4 ± 0,20	12 ± 0,50

2.2. Propiedades físicas

Por ciento en volumen de agua

El por ciento de agua contenido ecuación (1) en las muestras de lodo, fueloil y en las mezclas de estos, se determinó utilizando el método analítico de destilación, con el empleo de la norma ASTM D95, que incluye un condensador con reflujo de agua fría, plancha de calentamiento y una trampa de agua 25 ml con una precisión de 0,1 %.

$$w = \frac{V_t}{V_m} \cdot 100 \qquad (1)$$

Donde:

W: por ciento de agua en volumen, % /v/v

V_t: volumen de agua en la trampa, ml

V_m: volumen de la muestra ensayada, 100 ml

Por ciento en masa de agua

Para determinar la masa de agua en la muestra, ecuación (2), se multiplicó el volumen de agua (V_t) por la densidad cuyo valor de referencia es 0,9970 g/cm^3, en el sistema internacional 997 kg/m^3.

$$W_g = \frac{M_a}{M_c} \cdot 100 \qquad (2)$$

Donde:
W_g: por ciento de agua en peso, % m/m
M_a: masa de agua, g
M_c: masa de combustible, 100g

Viscosidad cinemática

Para determinar la viscosidad cinemática, se empleó el método de ensayo estándar de líquidos transparentes opacos, utilizando la norma NC ASTM D 445 y el viscosímetro Cannon - Fenske (EE. UU), serie 300, 350, 400 y 450 con baño de temperatura, termómetros y cronómetro. En la experimentación se midió el tiempo para que un volumen fijo de líquido fluya por gravedad a través del capilar de un viscosímetro calibrado bajo condiciones reproducibles, a una temperatura conocida y estrechamente controlada dentro del rango de 15 a 100 ^oC para una estabilidad de la temperatura media del baño de $\pm$ 0,02 ^oC . La viscosidad cinemática (valor determinado) es el producto del tiempo de flujo medido y la constante de calibración del viscosímetro, determinada por la ecuación (3).

$$\nu_{1.2} = C * t_{1.2} \qquad (3)$$

Donde:

$\nu_{1,2}$: viscosidad cinemática determinada para ν_1 y ν_2 respectivamente, en mm^2/s, en el sistema internacional de unidades m^2/s

C: constante de calibración del viscosímetro, en mm^2/s^2, en el sistema internacional de unidades, m^2/s^2

$t_{1,2}$: tiempo de flujo medido para t_1 y t_2 respectivamente, en s.

Poder calórico neto

El poder calórico neto de las muestras, se determinó utilizando el método estándar de la bomba calorimétrica (Reino Unido), con el empleo de la norma ASTM D240 y la ecuación (4). Se utilizó la masa de agua de los productos combustionados y la masa de combustible utilizada en la prueba.

$$PCI = PCS - \frac{M_a}{M_c} * r \qquad (4)$$

Donde:

PCS: poder calórico neto superior, kcal/kg, determinado por el calorímetro, en el sistema internacional de unidades 4,186 kJ/kcal

M_a y M_c: masa de agua de los productos combustionados y la masa de combustible utilizada en la prueba respectivamente, ambas en g.

r: calor latente de vaporización del agua en los productos como referencia: 584 kcal/kg en el sistema internacional de unidades 2444,6 kJ/kg.

Densidad

Para determinar la densidad, se empleó el método del hidrómetro, utilizando la norma ASTM D1298 y varios instrumentos como hidrómetro de vidrio, cilindro plástico, probeta de 1000 ml y termómetro. La muestra se toma y se transfiere a un cilindro plástico con capacidad de 500 ml después se coloca el termómetro y se agita la muestra para que alcance una temperatura y densidad uniforme, se anota la temperatura, se sumerge el hidrómetro suavemente en la porción de ensayo y se libera para que alcance el equilibrio, evitando que se humedezca el vástago por encima del nivel al cual debe flotar libremente durante un tiempo de 15 min, se anotan las mediciones del hidrómetro y luego se retira del cilindro, se introduce un termómetro y se anotan las mediciones, las lecturas del hidrómetro son convertidas a la temperatura de referencia por las tablas de mediciones de petróleo.

Propiedades físicas del fueloil y el lodo con contenido de agua

Al evaluar la viscosidad del lodo con contenidos de agua del 4 % v/v y 12 % v/v respectivamente, se aprecia un incremento de ésta, aunque el agua es menos viscosa que el aceite, su aumento en la fase dispersa eleva la viscosidad de la emulsión (W/O), por interacciones entre gotas. El agua tiene mayor densidad que el aceite y al aumentar la fracción de ésta en emulsiones tipo agua en aceite (W/O), la densidad de la emulsión tiende a incrementarse como se muestra en la tabla 3. Por otra parte, el poder calórico neto disminuye con el incremento del por ciento de agua por ser un componente no combustible.

Los resultados obtenidos en esta investigación, en cuanto al comportamiento de la viscosidad y la densidad, por la presencia de agua en ambas muestras, se corresponden con resultados reportados por otros investigadores [11-13].

Tabla 3. Algunas propiedades del fueloil y el lodo. Fuente: autores

Propiedades	Unidad	Fueloil	Lodo 1	Lodo 2	Valor especificado Fueloil
Viscosidad cinemática a 50 ºC	mm^2/s	1239,1	131,7	353,0	651-1500
Densidad a 15 ºC	kg/m^3	984,4	957,6	960,9	995,9 máx.
Poder calórico neto	kJ/kg	39957,7	38199,8	33897,4	38929,8 min
Agua por destilación	%v/v	1	4,0	12,0	1,5 máx

3. Resultados y Discusión

Los resutados demuestran que a medida que se incrementa la fracción de lodo en la mezcla, la viscosidad decrece notablemente en comparación con el fueloil desde el 1,73 % hasta un 15,7 % debido a que el valor de esa propiedad en este lodo residual es mucho menor, la densidad y el poder calórico neto lo hacen de manera discreta, tal y como se muestra en la tabla 4. Por otra parte el agua se incrementa aunque permanece en el rango permisible.

Tabla 4. Comportamiento de las propiedades cuando el lodo tiene 4 % v/v de agua. Fuente: autores

Propiedades	Unidad	Por ciento de Lodo en la mezcla				
		2 %	6 %	10 %	14 %	18 %
Viscosidad cinemática a 50 ºC	mm^2/s	1217,6	1174,6	1131,5	1088,3	1044,9
Densidad a 15 ºC.	kg/m^3	984,3	983,2	982,1	981,0	979,9
Poder calórico neto	kJ/kg	39922,6	39852,3	39781,9	39711,6	39641,3
Agua por destilación	% v/v	1,06	1,18	1,30	1,42	1,50

Se observa en la tabla 5 que a medida que se incrementa la fracción de Lodo en la mezcla, la viscosidad decrece en comparación con el Fueloil desde 1,4 % hasta 12,6 %, la densidad y poder calórico neto lo hacen de manera similar a lo mostrado en la tabla 3. Sin embargo, el agua, que también se incrementa a medida que aumenta la fracción de lodo, solamente alcanza valores permisibles entre el 2 % y 6 % de la fracción en la mezcla.

Tabla 5. Comportamiento de las propiedades cuando el lodo tiene 12 %v/v de agua . Fuente: Autores

Propiedades	Unidad	Por ciento de Lodo en la mezcla				
		2 %	6 %	10 %	14 %	18 %
Viscosidad cinemática a 50 ºC	mm^2/s	1221,0	1187,2	1152,5	1117,7	1082,8
Densidad a 15 ºC.	kg/m^3	984,3	983,4	982,4	981,5	980,5
Poder calórico neto	kJ/kg	39849,4	39632,8	39416,1	39199,5	38982,8
Agua por destilación	% v/v	1,22	1,66	2,10	2,54	2,98

La caracterización de los residuales oleosos procedentes de la generación distribuida permite trazar la estrategia para su introducción en el proceso productivo en la generación térmica, tomando en cuenta que, se demostró que el residual oleoso analizado que contiene un 4 % de agua , asegura el cumplimiento de los parámetros de viscosidad, densidad, poder calórico neto y agua por destilación especificados para el fueloil; mientras que, el lodo cuyo contenido de agua es de un 12 %v/v, solo se puede utilizar entre el 2 % y el 6 % en la mezcla con el fueloil, pues de superarse sobrepasaría el límite del valor especificado para el contenido de agua.

La concepción y organización del diseño experimental permitió la fluidez del proceso de caracterización de las muestras, sin limitaciones en su realización.

Conclusiones

Los resultados de la caracterización del residual oleoso (lodo) con contenido de agua del 4 % v/v, mezclado con fueloil hasta un 18 %, demuestran que éste puede utilizarse como combustible en un generador de vapor de una central térmica mientras que el lodo con contenido de agua del 12 % v/v estaría muy limitado para su uso ya que no cumple los parámetros establecidos por las normas.

El lodo residual oleoso con contenido de agua de 4 % v/v y 12 % v/v, al mezclarse con el fuel oil hasta un18%, ejerce influencia sobre sus propiedades tales como, viscosidad, y poder calórico neto, al provocar variaciones de 37,9 mm^2/s y 658,5 kJ/kg respectivamente.

Referencias

1. Johnson OA, Affam AC. Petroleum sludge treatment and disposal: a review, Environ. Sci. Pollut.Res. 2019;24(2):191-201. https://doi.org/10.4491/eer.2018.134
2. Jiang H, Sheng Y, Ngai T. Pickering Emulsions: Versatility of Colloidal Particles and Recent Applications. Current Opinion in Colloid & Interface Science. 2020;49:1-15. https://doi.org/10.1016/j.cocis.2020.04.010
3. Liu J, Sheng J, Tu J. Effect of spontaneous emulsification on oil recovery in tight oil-wetreservoirs. Fuel. 2020;279:118456. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118456
4. Uyar M, Aydin H. Production of low sulfur diesel-like fuel from crude oil wastes by pyrolytic distillation and its usage in a diesel engine, Energy. 2022;244. https://doi.org/10.1016/i.enegy.2021.122683
5. Vallesquino P, Sánchez M. Un método para la determinación del contenido de agua de emulsiones de agua en aceite de oliva. In: Actas del XXI Simposio Científico Técnico – Expoliva 2023, Jaén, España: Fundación del Oliva; 2023. http://hdl.handle.net/10396/26330
6. Wang ZH, Zhang L, Li J, Zhong H. Disposal of Oil Sludge, Pet. Sci. Technol. 2015;33(9):1045-1052 https://doi.org/10.1080/10916466.2015.1039648
7. Taguavifar M, Jang S, Chang L, Mohanty K, Pope G. Controlling the composition, phase volume, and viscosity of microemulsions with cosolvent. Fuel. 2018;211:214-222. https://doi.org/10.1016/j.ces.fuel.2017.09.056
8. Wang Z, Gong Z, Wang Z, Li X, Liu J, Tang C, et al. Pyrolysis characteristics and products distribution of petroleum sludges. Environmental Technology (United Kingdom). 2022;43(12):1819-1832. doi: 10.1080/09593330.2020.1853247
9. Jin X, Teng D, Fang J, Liu Y, Jiang Z, Song Y et al. Petroleum oil and products recovery from oily sludge: Characterization and analysis of pyrolysis products, Environ. Res. 2021;202:111675. https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111675
10. Velázquez I, Pereira JC. Emulsiones de agua en crudo. Aspectos Generales. Revista Ingeniería UC. 2014;21(3):45-54. https://doi.org/10.1021/ef3003262
11. Li J, Lin F, Li K, Zheng F, Yan B, Che L, et al. A critical review on energy recovery and non-hazardous disposal of oily sludge from petroleum industry by pyrolysis, J. Hazard. Mater. 2021;406:124706. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124706
12. Li J, Zheng F, Li Q, Farooq M, Lina F, Yuan D, et al. Effects of inherent minerals on oily sludge pyrolysis: Kinetics, products, and secondary pollutants, Chem. Eng. J. 2022;431(3):133218. https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.133218
13. Kolotova DS, Kuchina YA, Petrova LA, Voron'ko NG, Derkach SR. Rheology of Water-in-Crude Oil Emulsions: Influence of Concentration and Temperature. Colloids and Interfaces. 2018;2(4):64. https://doi.org/10.3390/colloids2040064
14. Duan M, Wang X, Fang S, Zhao B, Li C, Xiong Y. Treatment of Daqing oily sludge by thermochemical cleaning method, Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp. 2018;554:272-278. https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2018.06.046

Información adicional

Editores. Alberto Julio Rodríguez Piñeiro, Vladimir Tomás González Fernández. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría.

Conflicto de intereses. Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

Información sobre la revisión por pares. Este artículo ha sido evaluado mediante revisión por pares abierta.

Ingeniería Mecánica agradece a los árbitros: José Marcos Gil Ortiz, Universudad de Las Tunas, Las Tunas, Cuba y a Angel Luís Brito Sauvanell, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba; por su contribución a la evaluación de este trabajo.

Disponibilidad de los datos. Los datos pueden solicitarse al autor de correspondencia.

Contribución de los autores

Jorge de los Santos Portuondo Pera

Diseño de la investigación, preparación de las muestras ensayadas, manejo de la instrumentación adecuada según la norma, procesamiento de datos, análisis e interpretación de los resultados, revisión del estado del arte, participó en la búsqueda de información y coordinación con los laboratórios. Trabajó en la revisión crítica de su contenido, redacción y aprobación del informe final.

Francisco Lafarge Pérez

Colaboró en el diseño de la investigación, Apoyó en la preparación de las muestras ensayadas, trabajó en el área de combustible, apoyó en la revisión del estado del arte, realizó contribuciones en el análisis e interpretación de los datos. Trabajó en la revisión crítica de su contenido, redacción y aprobación del informe final.

Lorenzo Alfredo Enríquez García

Preparación de las muestras ensayadas, trabajó en el área de combustible, selección de las normas empleadas en el análisis de los resultados, en la revisión del estado del arte y en la obtención de datos experimentales. Trabajó en la revisión crítica de su contenido, redacción y aprobación del informe final.