

Cortes de perforación impregnados en diésel, una opción energética viable para la fabricación de materiales refractarios

Drilling cuttings impregnated with diesel, a viable energy option for the manufacture of refractory materials

Maria Regla Soroa-Bell^{1*}<https://orcid.org/0000-0002-0638-0943>

YuletsisDíaz-Rodríguez¹<https://orcid.org/0000-0002-0705-1439>

Erenio González-Suárez²<https://orcid.org/0000-0001-5741-8959>

¹ Centro de Investigación de Petróleo CEINPET, La Habana, Cuba

² Universidad Central de las Villas “Martha Abreu”, Villa Clara, Cuba

*Autor para la correspondencia. Correo electrónico:resobell@ceinpet.cupet.cu

RESUMEN

Cuba presenta una situación energética compleja en la actualidad, el encadenamiento productivo pudiera ser la solución para garantizar la producción en algunos sectores industriales, a partir de implementar el concepto de economía circular. La fabricación de elementos cerámicos en Cuba es una actividad que requiere incrementar sus producciones para la construcción de viviendas, por ello utilizar como variante energética los cortes de perforación impregnados de diésel (OBM) podría ser una alternativa viable en éste sector. El trabajo se realizó en tres tejares cubanos, con el objetivo de

evaluar el aporte energético del residuo OBM en el proceso de cocción de ladrillos cerámicos. Se realizaron pruebas industriales en hornos con diferente tipología, de productores seleccionados. Se determinó el valor calórico antes de la prueba industrial, se empleó el corte OBM como carburante y se midió la calidad del aire antes y durante el uso de éste residual. Se determinaron las partículas suspendidas totales (PST). Los contaminantes seleccionados, la frecuencia mínima de muestreo y la cantidad de muestras en cada punto se establecieron de acuerdo a las normas establecidas. Los resultados fueron favorables para uso de los cortes OBM, se apreció una alta combustión mantenida en el tiempo y aunque se evidenció un ambiente contaminado y enrarecido, tanto por las partículas provenientes de la combustión incompleta de la madera como por el alto contenido de metano, no se incrementaron los contaminantes al emplear los residuales propuestos.

Palabras clave: construcción; economía circular; ladrillos; materiales refractarios; OBM; perforación petrolera; residuos.

ABSTRACT

Cuba currently presents a complex energy situation; hence, the production chain could be the solution to guarantee production in some industrial sectors based on the circular economic concept introduction. The manufacture of ceramic elements in Cuba is an activity that requires increasing its production for the construction of houses, therefore using diesel-impregnated drilling cuttings (OBM) as an energy alternative could be a viable alternative in this sector. The work was carry out by the three Cuban tiles, with the objective of evaluating the energy contribution of the OBM residue in the ceramic brick firing process. Industrial tests were carry out in kilns with different types, from selected producers. The caloric value was determined before the industrial test, the OBM cut were uses as fuel and the air quality was measure before and during the use of this residual. Total suspended particles (TSP) were determined. The selected pollutants, the minimum sampling frequency and the number of samples at each point was establish in accordance with the laws.

The results were favourable for the use of the OBM cuts, a high-sustained combustion was observe over time and although a polluted and rarefied environment was evident, both due to the particles coming from the incomplete combustion of the wood and due to the high content of methane, contaminants were not increased when using the proposed residuals.

Keywords: Oil drilling; refractory materials; construction; OBM waste; bricks; circular economy.

Recibido: 10/05/2023

Aceptado: 18/08/2023

Introducción

Los cortes de perforación contaminados con diésel se generan por la inclusión de los fluidos base diésel (fluidos OBM) en el proceso de perforación petrolera en Cuba. Dicha inclusión resultó una opción eficaz, pues permitió reducir el tiempo de perforación durante la exploración en busca de nuevos yacimientos petrolíferos y evitar incidentes negativos durante el trayecto de la sarta.⁽¹⁾ Todo ello resulta sostenible y viable siempre que se logre cerrar el ciclo de manejo para el residuo generado durante el proceso. Cero residuos, con la adopción de una estrategia de economía circular ayudarán a diseñar un manejo adecuado de los cortes OBM en la industria de petróleo y gas.⁽²⁾

Hasta el momento, la experiencia con el manejo del corte OBM en Cuba permite afirmar que: es mayor la velocidad de generación del residuo que la velocidad con que se disponen dichos cortes peligrosos; por ello, actualmente hay grandes volúmenes almacenados. Tal situación provoca limitaciones en cuanto al almacenamiento temporal de los mismos y el consecuente impacto ambiental que puede generar su vertimiento por sobrecarga del volumen de almacenamiento.

En la búsqueda de soluciones ambientalmente seguras para la disposición final de cortes OBM, se traza la estrategia de emplearlo como portador energético en la industria de materiales de construcción, debido a que contienen un valor calórico aprovechable en procesos productivos que demanden carburantes.

El desarrollo de materiales de la construcción en la actualidad se encuentra limitado por la racionalización del consumo de áridos y el consumo de combustibles para su procesamiento. Algunos procesos industriales tradicionales como la producción de ladrillos cocidos se han visto limitados por los altos costos de la energía o por la insuficiente disposición de dichos portadores.

La situación energética a nivel mundial, incluido Cuba, es la principal causa de incremento en costo de los combustibles empleados en la fabricación de materiales refractarios, lo que ha provocado una disminución en el número de productores de ladrillos cerámico rojo común en países del tercer mundo.⁽³⁾

Por otro lado, se utilizan grandes volúmenes de leña para la cocción de ladrillos lo que, unido al bajo nivel tecnológico, conduce a la ineficiencia de los hornos que se emplean. Tal situación constituye una de las principales causas del cambio climático a nivel global, además de conducir a la deforestación cuando la tala de bosques se realiza de forma indiscriminada. En este sentido, la implementación de una economía circular para aprovechar las propiedades beneficiosas que poseen los residuos de otros procesos productivos, podrá contribuir al rescate de la industria del ladrillo.⁽⁴⁾

El residuo o corte OBM se genera al emplear fluidos oleosos en la perforación petrolera. Dichos fluidos son costosos y muy valorados por los perforadores porque minimizan las pérdidas económicas que comúnmente se contabilizan por roturas de brocas, sartas de perforación, derrumbes de las paredes, entre otras, cuando se atraviesan formaciones geológicas con arcillas reactivas a los fluidos acuosos.^(5,6) Los cortes OBM están constituidos por compuestos dañinos (hidrocarburos del petróleo, metales o metaloides, etc.) que afectan tanto a la salud de las personas como al ecosistema asociado. Sin embargo; esos componentes que resultan dañinos al medio ambiente, son valiosos para otros procesos productivos por su poder calórico y contenido de arcillas, lo cual

añade valor al residuo.^(1,2,5,6,7) Teniendo en cuenta lo anterior, este trabajo tuvo el propósito de evaluar el corte OBM como portador energético en la producción de ladrillos cerámicos (tejares) y analizar el efecto en la calidad del aire en esos ambientes al emplear este residuo.

Materiales y métodos

Hornos de ladrillos cerámicos

Se desarrollaron pruebas industriales para evaluar el comportamiento del corte OBM como carburante en el proceso de cocción de ladrillos cerámicos. Para ello se determinó el valor calórico, método éste aplicable a combustibles hidrocarbonados.⁽⁸⁾ Para la aplicación práctica se emplearon 3,5 t de corte OBM que se distribuyeron en los tejares ubicados en Guanabo, Encrucijada (UEB Sagua la Chica) y Manicaragua; estos dos últimos en la provincia de Villa Clara.

En la prueba realizada en Guanabo se utilizó un corte con mayor tiempo de envejecimiento, compacto y con menor contenido de humedad. Por otro lado, el corte que se utilizó en Encrucijada y Manicaragua, presentó una estructura más fangosa por ser un corte recién generado, con mayor contenido de agua (figura 1).





Fig. 1- Corte OBM empleado y tipología de los hornos: a) corte utilizado en el tejado de Guanabo, b) corte empleado en Encrucijada y Manicaragua, c) Horno de Guanabo, d) Horno de Manicaragua, e) Horno de Encrucijada

En todos los casos, para la cocción de los ladrillos se empleó leña como carburante. Luego de dos horas de encendido el horno se incorporó el corte OBM pues la temperatura de ignición de estos residuos es por encima de 1500 °C de temperatura.

En los tejares de Guanabo y Manicaragua, se alimentó el horno con palas cuyo peso aproximado del residuo fue de 2,3 a 3,2 kg, de esa manera se depositó el corte encima de la leña que estaba ardiendo.

En Encrucijada, fue necesario descender el nivel del suelo, por lo que se introdujo el corte en sacos de nylon con un peso aproximado de 11,3 kg y se administró al horno, al igual que en los otros casos, encima de la leña encendida. Una vez depositado el corte se observó el comportamiento de la llama. Cuando se alimentó el horno con palas, se repitió el proceso cuatro veces seguidas en el momento. Cuando se alimentó con sacos se introdujeron dos pues la llama subió de manera abrupta, fue necesario disminuir la intensidad.

Equipos empleados para el monitoreo de la calidad de aire

Con el fin de conocer la influencia en la calidad del aire de los vapores generados al combustionar el corte OBM, se tomaron muestras a 1,5 m de

altura sobre el nivel del suelo en la zona de trabajo durante la realización de las pruebas. Los contaminantes seleccionados, la frecuencia mínima de muestreo y la cantidad de muestras en cada punto se establecieron de acuerdo a lo normado.^(9,10)

Las muestras de gases se analizaron con equipo X-am 5600 de la firma alemana Dräger, que utiliza sensores electroquímicos XXS (SO₂, NO_x, H₂S/CO) y un sensor DUAL IR Ex/CO₂ para hidrocarburos (expresado como ppm CH₄). Las calibraciones de aire fresco de los sensores del analizador se realizaron entre mediciones, de acuerdo a las instrucciones del fabricante. Los resultados se expresan en mg/m³ para SO₂, NO_x y H₂S, mientras que para CH₄ y CO se expresan en ppm.^(11,12)

Para el caso de los hidrocarburos, como el sensor está calibrado con CH₄, los resultados se expresan como ppm de este compuesto y se comparan con la norma que regula como concentración máxima admisible (CMA) y concentración media ponderada (CPA), 300 y 100 mg/m³ respectivamente, para hidrocarburos alifáticos saturados C₁ – C₁₀ (expresados como C).⁽¹²⁾

Se tomó para comparar:

CMA: $300 \text{ mg/m}^3 \times 1.5 \text{ ppm} \times 16/12 = 600 \text{ ppm CH}_4$ (25 °C y 1013 hPa)

CPA: $100 \text{ mg/m}^3 \times 1.5 \text{ ppm} \times 16/12 = 200 \text{ ppm CH}_4$ (25 °C y 1013 hPa)

Factor de conversión CH₄ /C: 16/12

Para cada contaminante se registraron los valores máximos puntuales y promedios de 600 determinaciones en un tiempo de 10 min. Los valores experimentales se compararon con los requisitos de la norma que regula dichos parámetros.⁽¹³⁾ Se utilizaron los valores en mg/m³ para unificar las unidades de todos los contaminantes.

A partir de las condiciones de funcionamiento del horno, observadas en el tejear de Guanabo, se incluyó la determinación de partículas suspendidas totales (PST) en los tejares de Villa Clara. Los muestreos y determinaciones de partículas suspendidas totales (PST) se realizaron con el monitor de partículas

en aire ambiente EPAM 5000 que utiliza el método de dispersión de luz al IR cercano.⁽¹⁴⁾ Este equipo registra 10 mediciones instantáneas por minuto en cada punto y a los 10 min promedia el valor máximo y mínimo. Los resultados se expresan en mg/m³ para SO₂, NO_x, H₂S y PST y en ppm para CO y CH₄ para hidrocarburos.

Los datos meteorológicos se determinaron *in situ* con una estación de condiciones atmosféricas portátil de alta precisión SKYWATCH GEOS 11 de la firma suiza JDC Instruments de medición de velocidad (± 2 %) y dirección de viento, presión barométrica (± 1.5 hPa), temperatura ambiente (± 0.5 °C) y humedad relativa (± 2 %). Los números en paréntesis indican la precisión para cada parámetro.

Puntos de muestreo

Los puntos de muestreos se determinaron teniendo en cuenta el rumbo predominante del viento y la ubicación de emplazamientos habitables cercanos a los tejares (tabla 1). En todos los casos se determinó la calidad del aire con utilización de leña como portador energético (antes de emplear del corte OBM) y luego con adición del corte al horno, o sea, antes y durante el empleo de corte OBM.

Las características del horno en Encrucijada fueron atípicas y para introducir el carburante hubo que descender del nivel del suelo (ver figura 1e). Colindante al horno (por el lado Este), estaba el río y luego una comunidad, por lo que se decidió monitorear el lado Este en dos puntos aledaños a diez metros de distancia, cuando se incorporó el corte OBM al horno. Un primer punto antes del río y un segundo punto del otro lado del río para conocer las concentraciones de gases contaminantes que se percibían al otro lado, cercano a áreas habitadas. En Manicaragua (punto 12), se midió detrás del horno que utiliza fuel oil para la cocción de los ladrillos y a la derecha del tanque que almacena el combustible con la intención de analizar los aportes que hace el fuel a la calidad de aire.

Tabla 1- Identificación de los puntos de muestreo

Lugar	Puntos de muestreo
Guanabo	1. Lateral izquierdo del horno
	2. Lateral derecho del horno
	3. Entrada lateral izquierdo, punto cercano a la vivienda colindante
	4. Entrada lateral derecho, punto cercano a la oficina
Encrucijada (UEB Sagua la Chica)	5. Lateral derecho del horno antes de usar corte OBM
	6. Lateral derecho del horno durante el uso de corte OBM
	7. Lateral izquierdo del horno después de alimentación del corte OBM
Manicaragua	8. Lateral derecho del horno antes de usar corte OBM
	9. Lateral derecho del horno durante el uso de corte OBM
	10. Lateral izquierdo del horno durante el uso de corte OBM
	11. Parte de atrás del horno durante el uso de corte OBM
	12. Detrás del horno grande industrial que quema Fuel Oil

Resultados y discusión

Aplicación

Los resultados obtenidos en cuanto al corte OBM, arrojaron un valor calórico promedio de 4409,9 kJ/kg, lo que no resulta tan alto como otros residuos.⁽¹⁵⁾ Se resalta el interés de este indicador por su valía para la industria cubana actual que implementa el concepto de economía circular. El valor calórico y el contenido de arcilla presente en los cortes OBM han permitido su reúso en la fabricación de cemento.^(1,16) Países desarrollados con vasta experiencia en el uso de fluidos OBM para la perforación petrolera, emplean equipamientos costosos para recuperar el aceite e introducirlo nuevamente al fluido.⁽¹⁷⁾ Cuba apuesta por el cierre de ciclo del recurso peligroso al utilizarlo en otros procesos productivos. Aspecto éste que cobra en la actualidad mayor importancia, teniendo en cuenta el precio de los portadores energéticos en el contexto actual.

Durante la prueba industrial se observó que el corte OBM arde bien y con potencia en la combustión, cuanto más se oxigena más arde (figura 2). Este material posee arcillas impregnadas en aceite (diésel), a la cual se le agregan otros aceites para asegurar su eficacia durante la perforación. Dicha característica favorece la combustión del producto, lo que resulta muy beneficioso pues el combustible impregnado permite disminuir el consumo de leña.



Fig. 2- Apariencia de la combustión al adicionar corte OBM a los hornos: a) tejar Guanabo, b) tejar Manicaragua, c) tejar Encrucijada.

Durante el empleo de corte OBM para la cocción de materiales refractarios, se apreció un incremento en generación de cenizas, contrario a lo que demanda la tendencia mundial en cuanto a tecnologías más limpias.⁽³⁾ Sin embargo, dichos compuestos que aparecen en las cenizas se pueden emplear como desgrasantes en la pasta preparada con la arcilla para facilitar la extracción de los moldes, lo que sería una nueva oportunidad para valorizar dichos residuos. Diferente a la utilidad reportada por otros autores, quienes han encontrado compuestos minerales de gran interés para las nanociencias, asociados a los cortes OBM.⁽²⁾

Los tejares presentan construcciones diferentes y no están preparados para introducir el corte OBM como carburante, por lo que introducir este residuo como carburante requerirá modificaciones en la tipología del horno para introducir con facilidad el corte y emplear parrillas que faciliten la recogida de

las cenizas, también será necesario ventear el horno durante la combustión del corte OBM y definir dosis a utilizar en función del tamaño y capacidad del horno. Esos serán retos que se asumirán en próximos trabajos, a partir de los resultados obtenidos, para producir elementos refractarios.

Calidad del aire

De manera general, las concentraciones puntuales de los gases contaminantes sulfuro de hidrógeno (H₂S), dióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x) en los puntos evaluados del tejear de Guanabo se constataron dentro de lo normado.⁽¹⁰⁾ Sin embargo; en la zona de trabajo, los compuestos orgánicos volátiles (COV) expresado como metano (CH₄), en todos los casos excedieron los límites permisibles según se establece en la normativa de referencia (Tabla 2). Lo que coincide con autores que enfatizan sobre el carácter contaminante de los hornos refractarios.^(3,4,18)

Tabla 2-Contaminantes en aire en la zona de trabajo en el tejear de Guanabo, presión 1013 hPa

Variables (u/m)	Puntos de muestreo (1 al 4)								CMA (3)	CPA (4)
	1- Lateral izquierdo		2- Lateral derecho		3- Entrada lateral izquierdo		4- Entrada lateral derecho			
	S/c ⁽¹⁾	C/c ⁽²⁾	S/c	C/c	S/c	C/c	S/c	C/c		
COV ⁽⁵⁾ (ppm CH ₄)	974 ±84	704,5 ±61	715,5 ±62	704,5 ±61	702±6 0	778 ±67	702±6 0	1037± 89	600	
H ₂ S (mg/m ³)	0	0,7 ±0,08	0	0,7 ±0,08	0	0,7 ±0,08	0,1 ±0,11	0,7 ±0,08	20	10
SO ₂ (mg/m ³)	0	1 ±0,10	0	1 ±0,10	0,7 ±0,07	1 ±0,10	0,4 ±0,04	1 ±0,10	10	5
NO _x (mg/m ³)	1,34± 0,14	1,8 ±0,19	1,03± 0,11	1,8 ±0,19	1,8 ±0,19	1,8 ±0,19	1,8 ±0,19	0,9 ±0,09	10	5
T (°C)	31	32	31	32	32	33	32	32		

⁽¹⁾S/c: Punto de muestreo sin corte OBM; ⁽²⁾C/c: Punto de muestreo con corte OBM; ⁽³⁾CMA: Concentración máxima admisible; ⁽⁴⁾CPA: Concentración media ponderada; ⁽⁵⁾COV: Compuestos orgánicos volátiles

Los resultados reflejan que los COV, expresado como metano (CH₄), manifiestan un incremento con la adición del corte a la combustión en los puntos 3 y 4. Por la experiencia, se encontró que el rumbo del aire fue Noreste, o sea rumbo a la entrada de las viviendas que, ahí están lo que está directamente relacionado con el rumbo del viento. El mismo se encontraba

orientado hacia la vivienda más cercana al tejear, de ahí que sea recomendable elevar la bóveda del horno o hacer una chimenea de mayor altura, en caso de uso permanente del corte OBM en éste lugar.

Los resultados experimentales en los tejares de Villa Clara (Encrucijada y Manicaragua), fueron muy similares a los de Guanabo (tablas 3 y 4).

Tabla 3-Contaminantes en aire de la zona de trabajo tejear de Encrucijada, presión 1014,2 ($\pm 0,1$) hPa

Variables (u/m)	Puntos de muestreo (5 al 7)				SMA ⁽³⁾
	5- Lateral derecho	6-Lateral derecho	7- Lateral izquierdo		
	S/c ⁽¹⁾	C/c ⁽²⁾	C/c		
COV ⁽⁴⁾ (ppm CH ₄)	3396 \pm 292	2466 \pm 212	1943 \pm 167	1915 \pm 165	600
CO (ppm)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	86
H ₂ S (mg/m ³)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	20
SO ₂ (mg/m ³)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	10
NO _x (mg/m ³)	4,06 \pm 0,418	2,97 \pm 0,306	3,75 \pm 0,386	3,86 \pm 0,397	10
v ⁽⁵⁾ (km/h)	8,1	5	10,4	15,3	-
Rumbo ⁽⁶⁾	NE	E	E	E	-
T (°C)	26,9	29	30,2	30,3	-
HR ⁽⁷⁾ (%)	67,8	66,4	63,4	61,8	-

⁽¹⁾S/c: Punto de muestreo antes del corte OBM; ⁽²⁾C/c: Punto de muestreo después del corte OBM; ⁽³⁾SMA: Concentración máxima admisible; ⁽⁴⁾COV: Compuestos orgánicos volátiles; ⁽⁵⁾v: Velocidad del aire; ⁽⁶⁾Rumbo: Dirección del aire; ⁽⁷⁾HR: Humedad relativa.

Tabla 4-Contaminantes en aire de la zona de trabajo tejar Manicaragua, presión 5997,6 ($\pm 1,3$) hPa

Variables (u/m)		Puntos de muestreo (8 al 12)						CMA ⁽⁴⁾
		Lateral derecho			Detrás del horno			
		8	9	10	11	12		
		A/c ⁽¹⁾	T/c ⁽²⁾	D/c ⁽³⁾	D/c	Fuel oil	Tanque fuel	
COV	(ppm CH ₄)	2407 ± 207	212 ± 18	3865 ± 333	2357 ± 203	3793 ± 327	1879 ± 162	600
CO	(ppm)	3 $\pm 0,1$	< 0,1	2 $\pm 0,08$	< 0,1	5 ± 0	2 $\pm 0,08$	86
H ₂ S	(mg/m ³)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,3 $\pm 0,03$	20
SO ₂	(mg/m ³)	< 0,1	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,5 $\pm 0,05$	0,4 $\pm 0,04$	10
NO _x	(mg/m ³)	2,99 $\pm 0,31$	4,33 $\pm 0,45$	3,54 $\pm 0,36$	4,04 $\pm 0,42$	0,69 $\pm 0,07$	1,92 $\pm 0,20$	10
v ⁽⁵⁾	(km/h)	0,6	10,9	1,6	7,2	1,8	9	-
Rumbo ⁽⁶⁾	-	E	E	E	E	E	E	-
T	(°C)	27,2	27	26,5	26,9	27,1	30	-
HR ⁽⁷⁾	(%)	66,1	66,4	67,7	67,1	67,5	62,8	-

⁽¹⁾A/c: Antes de alimentación del corte OBM, ⁽²⁾T/c: Durante la alimentación, ⁽³⁾D/c: Después de la alimentación del corte; ⁽⁴⁾CMA: Concentración máxima admisible; ⁽⁵⁾v: Velocidad del aire; ⁽⁶⁾Rumbo: Dirección del aire; ⁽⁷⁾HR: Humedad relativa.

Se apreció que la leña empleada no estuvo seca en todos los hornos. La utilización de leña verde en el proceso de combustión incrementa la emisión de gases contaminantes pues posee más del 20 % de humedad. La quema genera una combustión ineficiente comparada con la leña seca, debido a que se produce la evaporación del agua que elimina energía térmica del fuego.

Los hornos que emplean leña se consideran muy contaminantes, pueden producir un humo denso durante horas, fundamentalmente durante la estabilización (encendido) del horno.⁽¹⁸⁾ Independientemente de que el humo se vea o no, los vapores pueden contener: partículas suspendidas, monóxido de carbono, ozono, óxido nitroso, dióxido de azufre e hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH). Al respecto se evidencian concentraciones elevadas de partículas en todos los puntos de muestreo al comparar con lo que establece la norma en zonas de trabajo.⁽¹³⁾

La concentración de partículas suspendidas totales (PST), estuvo por encima de los valores normados (tabla 5).⁽¹⁴⁾ Resultados similares a los reportados en investigaciones previas.⁽³⁾ Los índices de monóxido de carbono no resultaron elevados, lo que difiere de otros trabajos.⁽³⁾

Tabla 5-Concentraciones promedio de PST en los puntos de muestreo

Parámetro (mg/m ³)	Norma ⁽¹⁾	Puntos de muestreo							
		5	6	7	8	9	10	11	12
PST	4	12,610 ±0,159	15,048 ±0,190	13,293 ±0,168	14,003 ±0,177	13,062 ±0,165	3,014 ±0,038	10,822 ±0,137	19,904 ±0,252
PST_{MAX}	4	14,751 ±0.186	15,773 ±0.20	13,755 ±0.17	14,691 ±0,19	13,315 ±0.17	12,236 ±0,15	13,547 ±0.17	20,031 ±0.25

⁽¹⁾ Concentración máxima admisible en el aire para zona de trabajo. ⁽¹³⁾

Las concentraciones de PST en los puestos de trabajo exceden la normativa de referencia, se encontró que las condiciones de trabajo asociadas a la calidad de aire en el horno que emplea combustible tradicional (fuel oil) no eran idóneas, existió mayor concentración de partículas suspendidas y gases de combustión, en comparación con la calidad del ambiente en las que se empleó leña y corte OBM.

De manera general, se evidencia que los cortes de perforación impregnados en diésel aportan un valor energético considerable para ser utilizados en la fabricación de ladrillos cerámicos. Así mismo, no incrementan las emisiones contaminantes en el proceso de combustión respecto a los combustibles usados tradicionalmente, lo que tributa a un menor impacto al medio ambiente. En adición a esto presume como una alternativa de disposición final de un residuo de la industria petrolera.

Introducir el corte OBM en la cocción de materiales refractarios permitirá cerrar ciclo para un residuo peligroso, aportar carburante a un proceso que demanda portadores energéticos, reducir el empleo de leña y también podrá aportar con la ceniza un material útil para la propia producción de refractarios. Además, los resultados demuestran que la implementación de una economía circular propone beneficios para la industria petrolera y el ministerio de la construcción.

Sin embargo; deberá continuar la investigación en cuanto al diseño adecuado que viabilice la forma de alimentar el horno, así como aprovechar la ceniza generada.

Por otro lado, se evidenció que la leña empleada en tejares propicia la liberación de altos índices de compuestos orgánicos volátiles a la atmósfera, expresados como metano, además de valores de material particulado que exceden ampliamente lo establecido por la normativa vigente, aspecto este que puede mitigarse con el empleo de leña seca. También se deberían diseñar hornos de bóveda cerrada, con lo que se liberarían menos gases contaminantes a la atmósfera.

Conclusiones

1. Se determinó que el corte OBM se puede emplear como combustible en la fabricación de elementos cerámicos, pero los hornos requieren de nuevos diseños.
2. Se obtuvo que las emisiones de gases contaminantes durante la combustión del corte OBM sobrepasan los límites establecidos en los puestos de trabajo; pero no constituyen una fuente adicional de las mismas en comparación a lo obtenido con los combustibles tradicionales.

Referencias bibliográficas

1. SOROA-BELL M.R., DÍAZ, Y., RIVAS, L., MARTÍNEZ, DE LA C., J. Disposición final de cortes de perforación petrolera en la fabricación del clinker de cemento. *Revista Centro Azúcar*, Editorial Feijóo, UCLV: 2021, **48**(4) p. 63-73. ISSN: 2223- 4861
2. SIDDIQUE, S.; K. YATES AND J. NJUGUMA. Characterization of oil based mud waste to explore the possibility in transforming waste into a value added product. *6th International conference on sustainable solid*

waste management (NAXOS 2018)[online]. 13-16 June 2018, paper number 45. Greece. Athens: National Technical University of Athens, [Consultado:3febrero2023]. Disponible en: http://uest.ntua.gr/naxos2018/proceedings/pdf/45_NAXOS2018_Siddique_et_al.pdf.

3. LÓPEZ-JIMÉNEZ, Y. *Necesidad del uso de tecnologías limpias en el sector de la producción de los materiales de la construcción y su significación para el desarrollo del municipio de Manicaragua*. Tesis de Grado. Universidad Central Marta Abreu de las Villas, 2012, 85 p.

4. REYES-ROMERO, D. Anteproyecto de un horno vertical continuo en condiciones alternativas. Tesis de Grado. Universidad Central Marta Abreu de las Villas, 2012, 73 p.

5. ONUH, C. Y., DOSUNMU, A., ANAWE, P. A. L., BOLUJO, E. O., OLABODE, O. A., OGUNKUNLE, T. F. Investigating the potential of Calophyllum plant base oil for oil and gas drilling mud operations. *IOP Conf. Series: Journal of Physics*: 1299 012069 [online]. 2019. [Consultado: 22 febrero 2023]. DOI:10.1088/1742-6596/1299/1/012069.

6. URENNA V., J. NJUGUNA, P. POLLARD AND K. YATES. Waste to Want: Polymer nanocomposites using nanoclays extracted from Oil based drilling mud waste. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 64[online]. 2014. [Consultado: 22 febrero 2023]. DOI:10.1088/1757-899X/64/1/012023

7. DA MATA-MEDINA, G. *Empleo de los lodos y ripios de perforación petrolera sin previo tratamiento para la elaboración de concreto, mortero y mezcla asfáltica*. Tesis de Grado. UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO. Venezuela, 2017. 204 p.

8. ASTM INTERNATIONAL. Standard Test Method for Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimeter (Precision Method). Designation: D4809. Agencies of the U.S. Department of Defense, 2019.

9. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. NC 1020. Calidad del aire. Contaminantes. Concentraciones máximas admisibles y valores guías en zonas habitables, Cuba. 2014.
10. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. NC 111. Calidad del aire. Reglas para la vigilancia de la calidad del aire en asentamientos humanos. Cuba. 2004.
11. DRÄGER. DRÄGER X-am 5600. Technical Handbook. 14th ed. Instructions for use DRÄGER X-am 5600. 12th ed. 2018.
12. DRÄGER. Dispositivo de medición múltiple de gas. Manual técnico, Dräger, Editor. 2019: Alemania. p. 72.
13. EDC. Environmental Particulate Air Monitor Model EPAM - 5000. User's Guide. SKC Inc., PA. 1999.
14. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. NC 872. Seguridad y salud en el trabajo. Sustancias nocivas en el aire de la zona de trabajo. Evaluación de la exposición laboral. Requisitos generales. Oficina Nacional de Normalización: Cuba. 2011. p. 24.
15. NAVARRO-SOSA Y., PUPO P. L., RIVAS TRASANCOS L. Propuesta de disposición final del residual de brea de hulla generado en la industria farmacéutica. *Revista CENIC Ciencias Químicas* [online]. 2020, **51**(1), p 1-17. ISSN 2221-2442. [Consultado 2 abril 2023]. Disponible en: <https://revista.cnic.edu.cu>
16. HILAL, S., DAHMRI, A., SABAH A., COSTAS V., BLACKS, L. Oil based mud as an additional raw material in clinker production. *Journal of Hazardous materials* [online]. 2020, (384). 15 february 2020. [Consultada 24 marzo 2023]. DOI:10.1016/j.jhazmat.2019.121022
17. JIWEI, W., ZENG, L., WEIGUO MA., ZHANG, S., XIANZHONG, Y., NIE, Q. Influence of cyclone oil desorption technology on the change of Oil-Based mud cuttings properties. *Fuel* [online]. 2022, 15 september 324 (Part A). [Consultada 27 marzo 2023]. DOI 10.1016/j.fuel.2022.124524
18. YÁÑEZ-LEÓN, S. A. *Contaminación por uso de leña en las comunas de Temuco y Padre las Casas. Análisis comparativo de políticas públicas utilizadas a nivel internacional*". Tesis de Grado. Universidad de la Frontera.

Facultad de Ingeniería, Ciencias y Administración. Departamento de Administración y Economía. 2012.

Conflictos de interés

Los autores declaran que no hay conflictos de intereses

Contribución de los autores

Maria Regla Soroa Bell: concepción, ejecución y dirección de la investigación.

Yuletsis Díaz Rodríguez: aportó criterios, participó en la realización de la parte experimental y revisión del documento manuscrito.

Erenio González Suárez: asesoró, aportó criterios sobre la investigación y selección de la bibliografía; revisó el documento manuscrito.