

## ACIPET

# Elaboración de adoquines a partir de ripios de perforación como alternativa para el manejo ambiental de residuos

J. L. Gómez, N. Santos, R. Martínez, Universidad Industrial de Santander.

- Artículo Técnico
- Tesis Pregrado
- Tesis Posgrado

Derechos de Autor 2022, ACIPET

Este artículo técnico fue preparado para presentación en el XIX Congreso Regional Colombiano de Petróleo, Gas y Energía organizado por ACIPET en Cartagena, Colombia.  
Este artículo fue seleccionado para presentación por el comité técnico de ACIPET, basado en información contenida en un resumen enviado por el autor(es).

### Resumen

El manejo de los residuos de perforación representa para las empresas operadoras un problema de alto impacto económico y ambiental, debido a sus componentes contaminantes que además de ser peligrosos para el medio ambiente, supone retos y costos para su adecuada disposición. La mayoría de estos residuos sólidos, están representados por los recortes (ripios) que se generan durante la perforación, normalmente impregnados de lodos base agua o base aceite.

En este trabajo se propone tratar los ripios de perforación para ser usados como materia prima para la construcción de adoquines que pueden ser usados como material de construcción en andenes y fachadas de edificios o casas, siendo una alternativa de disposición innovadora y de alto impacto. Para lo anterior, se empleó como prueba un volumen determinado de ripios de perforación de un pozo ubicado en un campo del Magdalena Medio, realizando todo el tratamiento habitual de control de sólidos, pasando por zarandas, desarenadores, desarcilladores y mud cleaner. Luego de tratar los ripios de perforación, se procedió a secarlos en un horno entre 100 y 150°C por 24 horas, después se dejó enfriar la muestra para molerla y llevarla por debajo de 45 micras; donde finalmente se usó como material para la construcción del adoquín, al cual se le efectuaron las respectivas pruebas de resistencia establecidas en la norma NTC 2017.

Los resultados obtenidos indican que es viable el uso de determinados ripios de perforación para la industria de la construcción y así gestionar de una mejor forma los residuos; por otro lado, se realizó la comparación con una forma convencional de gestionar los ripios, con su reutilización en la elaboración de adoquines, obteniendo una reducción de hasta el 34 % de los costos asociados, cuando se tienen volúmenes altos de, mayores a 12000 barriles de residuos.

### Introducción

Son miles de pozos los que se perforan al año en el mundo; en Colombia, solo en el 2021 fueron perforados 25 pozos exploratorios <sup>1</sup>, los cuales generaron miles de barriles de residuos sólidos, cuyo manejo representa un problema de alto impacto ambiental y económico para las empresas operadoras. La mayoría de estos residuos están representados por los recortes (ripios) que se generan durante la perforación, los cuales consisten en pedazos pequeños constituidos por minerales de las formaciones perforadas entre otros, arcilla, lutitas, areniscas, carbonatos y haluros <sup>2</sup> normalmente impregnados de lodos base agua y/o base aceite, los cuales tienen componentes altamente contaminantes que además de ser peligrosos para el medio ambiente, su disposición se debe tratar con especial cuidado.

Existen varios métodos para el manejo y disposición de estos residuos; como, reducción en la fuente, reciclaje o recuperación, tratamiento, re-inyección y disposición, los fluidos también se pueden reciclar y volver a usar como fluidos de perforación o de completamiento <sup>3</sup>. La reutilización de los materiales que se titulan como residuos, es un movimiento en el cual está apostando la industria en la actualidad, el cual consiste en convertir estos desechos o residuos en materias primas para otros tipos de materiales. Es así como los recortes que se generan los procesos de perforación han sido en los últimos años objeto de estudio y tratamiento para ser usados como posible materia prima para la construcción de diferentes materiales evitando la contaminación ambiental que conlleva el disponer de ellos en piscinas, o en reinyección por medio de fracturamiento hidráulico, procesos que requieren alto contenido de agua, adición de químicos y sin asegurar que las zonas frontera de la formación no se contaminen <sup>4</sup>.

Todos los problemas ambientales, técnicos y económicos que generan la disposición de los residuos de perforación motivan a la búsqueda de diferentes alternativas amigables ambientalmente, innovadoras y rentables. Entre estas, el uso de ripios de perforación

como materia prima para la construcción de adoquines, cumpliendo con las regulaciones ambientales de disposición y reglamentarias de la nación.

El proceso de tratamiento y preparación de los rípios de perforación para ser usados como materia prima en la construcción de adoquines, consiste en realizar un análisis litológico inicial y caracterizar las muestras de formación dado que las formaciones arcillosas no son viables para este proyecto, debido a su bajo contenido de arenas y alta compactación, lo que dificulta la extracción de materiales que sean de utilidad en la construcción de adoquines

Se han llevado a cabo varios estudios para el uso de rípios de perforación en la construcción, Chen et al. <sup>5</sup> realizaron en Taiwán una investigación sobre el uso de los residuos de cortes de perforación para la construcción de ladrillos, bloques permeables y como sustitutos parciales del concreto. En estos estudios se encontraron altos contenidos de hierro, aluminio, calcio, magnesio, potasio y manganeso en las muestras, sin embargo, no incumplían con la normatividad. Las muestras de los rípios usados en este estudio fueron secadas a 100°C durante 24 horas, luego fueron molidas y usadas para la elaboración de ladrillos según normatividad taiwanesa.

Chiappori et al. <sup>6</sup> aplicaron en Argentina el uso de cortes de perforación como sustrato en la construcción de nuevas locaciones de pozos, realizando una mezcla de los cortes de perforación con material calcáreo para mejorar las propiedades de plasticidad y aumentar su densidad, posteriormente se realizaron los respectivos ensayos constructivos en las locaciones donde se demostró que no se ve comprometida la integridad de las mismas, alcanzándose los niveles de compactación e impermeabilidad necesarios.

En Ecuador, se realizó un estudio usando rípios de perforación en base agua como material de construcción de ladrillos, a partir de diferentes muestras representativas durante un periodo de disposición diferente con una variación de las humedades, entre el 21% y el 26,4%, con el fin de identificar cómo afecta el tiempo de disposición final de los rípios en las celdas de confinamiento frente a las propiedades de resistencia a la comprensión confinada, las cuales cumplieron con la norma NTE INEN 297 de Ecuador, aplicándolos finalmente en la construcción de muros interiores y exteriores que no están expuestos a condiciones extremas de lluvia <sup>7</sup>.

De esta forma, aunque se evidencian estudios e investigaciones en el uso de rípios de perforación para la construcción, en Colombia no se registran estudios de acuerdo con la normatividad interna- Decreto 4741 de 2005 y la NTC 2017 (segunda actualización). Es en este sentido que se desarrolla el presente estudio, en el cual se tomó como prueba un volumen determinado de rípios de un campo ubicado en VMM, realizando todo el tratamiento habitual de control de sólidos, se manejó temperaturas de secado en horno entre 100 y 150°C por 24 horas, y la muestra se llevó por debajo de 45 micras para ser usada como material para la construcción del adoquín.

### Metodología desarrollada

Con el fin de adecuar los rípios de perforación como materia prima para la elaboración de adoquines, fue necesario inicialmente realizar todo el proceso de tratamiento inicial de separación de sólidos, por sedimentación, zarandas y centrifugas, posterior a esto se realizó el almacenamiento temporal que se le da generalmente a los rípios una vez extraídos del pozo, luego de almacenarlos se inició con el procedimiento para adaptarlos como materia prima en la construcción de adoquines. A continuación, se describen cada uno de los procesos realizados para su adecuación.

**Litología de la muestra.** Las muestras fueron tomadas del campo La Cira Infantas, del pozo RIG-118, extraídas y perforadas en la formación Mugrosa, en la zona C a una profundidad de 3970 ft.

La formación Mugrosa está caracterizada por una secuencia de areniscas gris verdosas, lodolitas grises y capas de areniscas conglomeráticas, intercaladas con shales y lodolitas. Está compuesta en su tope por un paquete de lutita de aproximadamente 200 ft de espesor, con abundante bioturbación. Ésta es una de las unidades más productivas de petróleo en la concesión de Mares. El ambiente de depositación se considera como continental fluvial que se conforma por canales meandriformes que se caracterizan por ser granos decrecientes hacia el tope en la facie de canal y grano creciente en la facie de *crevasse splay* [8].

Específicamente la Zona C, está compuesta de arenisca gris-verdosa, grano medio a grueso, sub angular a sub redondeada, matriz arcillosa, regular a pobre selección, con delgadas intercalaciones de arcillolita gris verdosa, gris oscuro rojiza y blanca. Con un espesor promedio de 550 pies <sup>8</sup>.

**Recorrido de la muestra.** Después de perforar la formación C, la muestra sube a la superficie con ayuda del fluido de perforación, el primer equipo en recibir la muestra son las Zarandas vibratorias o *Shale Shakers* (Figura 1a), removiendo gran parte de la muestra en los tamices vibratorios, luego el fluido pasa por el *Mud Cleaner* (Figura 1b), recuperando la fase líquida por lo cual produce cortes más secos, finalmente pasa por centrifugas donde retiene los rípios más pequeños, mayores a 3 micras (Figura 1c) <sup>9</sup>.

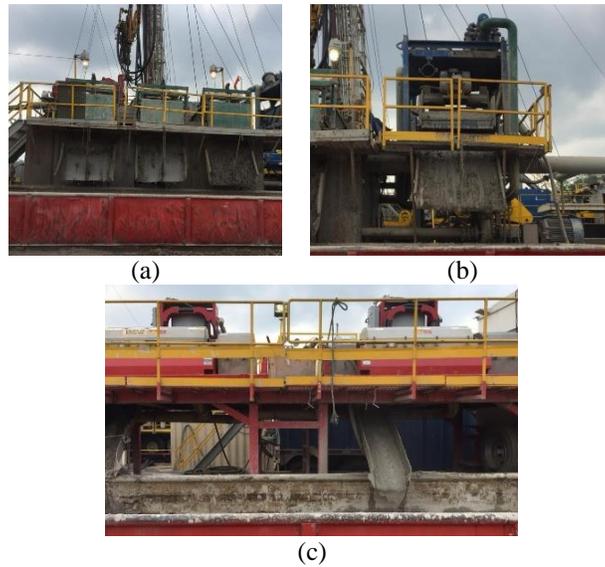


Figura 1. Equipos control de solidos Pozo Rig-118.

**Embalaje de las muestras.** El muestreo se realizó en cada uno de los equipos de control de sólidos, empaçados individualmente en bolsas herméticas y envueltas en papel vinipel, con el fin de no perder masa ni fluidos durante el transporte. Las muestras de las Zarandas vibratorias (*Shale Shakers*) tienen un tamaño de partícula mayor a 105 micras, las muestras del *mud Cleaner* un tamaño de partícula entre 105 a 75 micras y las de las centrifugas entre 75 a 3 micras (Ver figura 2).



Figura 1. Cortes pozo Rig-118.

**Composición de las muestras.** Luego de recolectar las muestras se realizó la caracterización geológica, dando como resultado la composición que se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición geológica cortes de perforación pozo Rig-118

Tipo	Composición en %	Descripción
Arena	60%	Cuarzosa, grano muy fino, menor grano fino, ocasional grano medio, incoloro, menor hialino; sub redondeado, ocasional sub angular, sub esférico, buena selección. Sin manifestación de hidrocarburos.
Arcillolita	40%	Gris medio a claro, gris verdoso, moderadamente firme, sub blocosa, menor blocosa; soluble; no calcárea.

## Resultados

Se eligió la muestra óptima para la elaboración de los adoquines de acuerdo con el tamaño de partícula de las tres muestras obtenidas de los equipos de control de sólidos, siendo elegida la del *Mud Cleaner* ya que al tener un tamaño medio de partícula (105-75 micras) cumple con las especificaciones de la norma NTC 2017[9].

**Elaboración de adoquines.** Con el fin de tener la composición que normalmente se usa para la construcción de adoquines la empresa *Baldosines Santafé*, ubicada en Bucaramanga proporcionó la relación de materiales usada por cada kilogramo de cemento, a la cual se le realizó una comparación usando el material obtenido de los rípios de perforación como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Relación de materiales usados convencionalmente vs relación usada con ripios de perforación.

Relación de materiales por kilogramo de cemento		
Material	Convencional [Kg]	Experimental [Kg]
Cemento	1	1
Agua	0,35	0,35
Arena	5,3	2,5
Ripios	0	2,5

En la relación de prueba se observa que se ha disminuido la relación entre el cemento y las arenas que representa la arena de trituradora y los cortes de perforación.

Luego de mezclados los materiales, fueron puestos en el molde y se sometieron a una presión de 3.000 Lb/cm<sup>2</sup>, se extraen del molde y se dejaron en un proceso de fraguado por 12 horas. Lo anterior con el fin de evitar que los adoquines no sufran daño ni un secado prematuro por la acción de los rayos directos del sol y/o abrasión por los fuertes vientos.

Finalmente, se dejaron en reposo por 10 días, con el fin de que alcancen la resistencia deseada según la norma NTC 2017<sup>10</sup>. En total se obtuvieron 6 adoquines biselados con una dimensión de 10 cm de ancho, 20 cm de largo y 5,5 cm de alto (Ver figura 3).

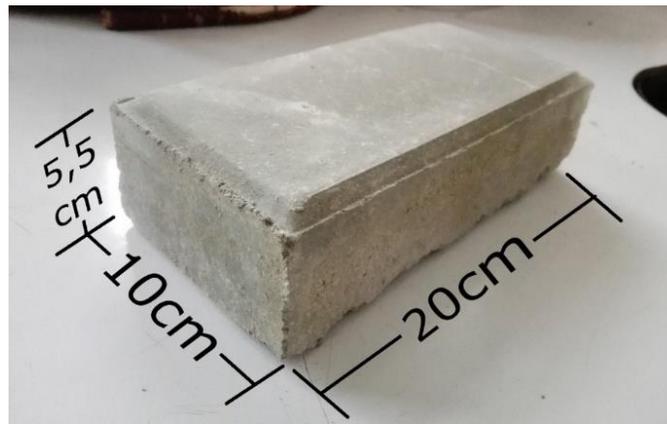


Figura 3. Adoquín construido con Cortes del pozo Rig-118.

**Pruebas de resistencia adoquines.** Una vez construidos los adoquines es necesario evaluar si cumplen con la normatividad vigente, de acuerdo con la NTC 2017 (Segunda actualización)<sup>10</sup> existen diferentes pruebas que se le deben practicar a los adoquines, como:

**Absorción de agua (Aa%).** Según la NTC 2017<sup>10</sup> los adoquines deben contar con un porcentaje no mayor al 7% de absorción de agua total (Aa%) como valor promedio. Para realizar la prueba se debe tomar una muestra representativa a la cual se le realizará la medición, se requiere de una balanza con 1g de sensibilidad y un horno ventilado con temperatura controlada entre 100°C y 115°C.

**Procedimiento.** Para la prueba de absorción de agua fue necesario realizar dos pasos, de secado y saturación. Para el proceso de secado todas las muestras se dejaron secar simultáneamente en un horno ventilado a una temperatura entre 100°C y 115°C. Estas deben estar separadas entre sí como mínimo 25 mm. Se deben secar hasta obtener una masa seca (Ms) constante. Luego se deben dejar enfriar las muestras a temperatura ambiente, para seguir con el proceso de saturación.

Luego de obtener la masa seca, se dejaron sumergir las muestras por 24 horas dentro de un recipiente lleno de agua a una temperatura entre 15°C y 27°C, de manera que quede una altura de agua sobre todo su volumen, entre 25 mm y 50 mm.

Terminando el periodo de saturación se pesan las muestras sumergidas en agua y suspendidas mediante un alambre para obtener la masa inmersa en agua (Ma). Luego se debe retirar el agua, dejar escurrir por 1 minuto y pesar inmediatamente para obtener su masa saturada o húmeda (Mh).

La absorción de agua (Aa) del total de la masa de la muestra se debe calcular mediante la ecuación 1, con una aproximación del 0.1% entre cada muestra:

$$Absorción(Aa), \frac{kg}{m^3} = \left[ \frac{M_h - M_s}{M_h - M_a} \right] * 1000 \dots \dots \dots (1)$$

$$Absorción(Aa), \% = \left[ \frac{M_h - M_s}{M_s} \right] * 100 \dots \dots \dots (2)$$

Donde  $Mh$  = Masa saturada (húmeda) de la muestra en gramos,  $Ms$  = Masa seca de la muestra en gramos, y  $Ma$  = Masa inmersa en agua y suspendida de la muestra en gramos. Los ensayos de absorción de agua se realizaron en el Laboratorio de caracterización de materiales de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander, donde se obtuvieron los resultados presentados en la tabla 3, se denominó a espécimen A a los adoquines construidos con ripios de perforación del Pozo Rig-118 y espécimen B a los adoquines comerciales.

Tabla 3. Resultados del ensayo de absorción de agua en los adoquines.

Espécimen	Peso Seco (Kg)	Peso Saturado (Kg)	Absorción
A	2400.8	2452.7	2.12
B	2324.0	2412.3	3.66

De acuerdo con los resultados obtenidos, se evidencia que los adoquines manejan porcentajes acordes a la normatividad vigente, ya que no sobrepasan el 7% que establece la NTC 2017.

**Prueba de Resistencia a la flexotracción o módulo de rotura ( $M_r$ ).** Los adoquines deben cumplir los requisitos de resistencia a la flexotracción o módulo de rotura establecidos por la norma, como se establece en la tabla 4<sup>10</sup>.

Tabla 4. Requisitos de resistencia a la flexotracción, Módulo de Rotura ( $M_r$ )

Módulo de rotura ( $M_r$ ), Mínimo, MPa	
Promedio	Individual
5.0	4.2
4.2	3.8

**Procedimiento.** La norma [9] establece que se debe contar con un equipo para la determinación de la resistencia a la flexión capaz de aplicar cargas de 20Kn. La carga se debe aplicar a una velocidad tal que produzca un aumento en el esfuerzo cercano a 0.5 MPa/s, o sea un tiempo de 10 segundos para 5 MPa, para cada adoquín se debe calcular el módulo de rotura ( $M_r$ ), de acuerdo con la ecuación 3.

$$M_r = \frac{[3C_{max}*(li-20)]}{[(ar+ai)*er^2]} \quad (2) \dots\dots\dots (3)$$

Donde  $M_r$  = Módulo de rotura en MPa,  $C_{max}$  = Carga Máxima de rotura en N,  $li$  = Longitud del rectángulo inscrito en mm,  $ar$  = Ancho real en mm,  $ai$  = Ancho del rectángulo inscrito en mm y  $er$  = Espesor real en mm. Este ensayo se realizó en el Laboratorio de caracterización de materiales de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander, el equipo usado para esta prueba se muestra en la figura 5 y los resultados de la prueba en la tabla 5.



Figura 5. Equipo de medición de Flexotracción de la Universidad Industrial de Santander.

Tabla 5. Resultados del ensayo a la Flexotracción en los adoquines.

Espécimen	ID Muestra	Carga máxima (N)	Módulo de Rotura (Mpa)
A	L5	6602.1	5.9
B	L6	8603.4	5.5

La norma [10] establece un Módulo de rotura mínimo de 5 Mpa, por lo cual se cumple con la normatividad colombiana

**Prueba de Resistencia a la abrasión.** Esta prueba consiste en someter una muestra a desgaste por medio de la abrasión, bajo condiciones controladas, por un flujo de arena que pasa tangencialmente entre la superficie y la cara lateral de un disco metálico que ejerce presión contra ella (Ver figura 6). Esto genera una huella, con la forma de la superficie curva del disco metálico, cuya longitud resultante es inversamente proporcional a la resistencia al desgaste por abrasión que posee la muestra <sup>11</sup>.

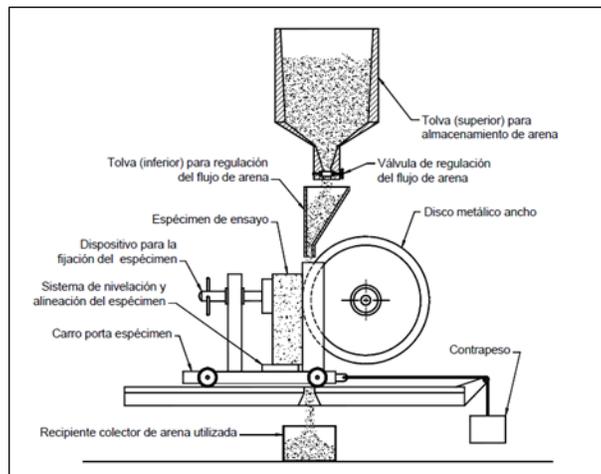


Figura 6. Equipo para ensayo de abrasión. Fuente: Norma técnica colombiana 5147. Método de ensayo para determinar la resistencia a la abrasión de materiales para pisos y pavimentos, mediante arena y disco metálico ancho, editada por el Instituto de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) 2002. Pag 2



Figura 7. Equipo de ensayo de abrasión UPB.

**Procedimiento.** Consta en primera instancia en llenar la tolva de almacenamiento con el material abrasivo, en estado seco, y se debe colocar un recipiente vacío, bajo el disco metálico, para recoger el material abrasivo que fue usado para el ensayo. El espécimen se debe poner en contacto con el disco metálico; luego se debe abrir la válvula de control de flujo y, simultáneamente, se debe encender el motor,

de tal manera que el disco metálico complete 75 revoluciones en  $60 \text{ s} \pm 3$ . Luego de las 75 revoluciones del disco, se debe suspender el flujo del material abrasivo y se debe detener el disco <sup>11</sup>.

Este ensayo lo realizó el Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Pontificia Bolivariana, los resultados se presentan en la tabla 6 y el equipo usado se muestra en la figura 7.

Tabla 6. Resultados del ensayo de abrasión.

Muestra	Dimensiones		Factor de calibración	Longitud de la huella (AB)	Longitud corregida (lh)
	Largo (mm)	Ancho (mm)			
A	105	103	20.30	18.70	18
B	100	101	20.30	17.11	17

La norma establece que el valor promedio de la longitud de huella no podrá ser superior a 23 mm, dando cumplimiento a los tres requerimientos técnicos de la NTC 2017 sobre los requerimientos en la construcción de adoquines.

**Análisis económico.** En la actualidad disponer los cortes del campo en estudio tiene un costo que fluctúa entre los \$4 USD y \$6 USD por barril, el cual varía dependiendo de la humedad final con la que se disponen los ripios.

Se determinó el costo de disposición a diferentes cantidades de volúmenes, tomando el costo medio de \$5 USD/BBL de cortes y una TRM de COP \$3.000. Obteniendo de esta manera la tabla 7.

Tabla 7. Costos de disposición de los ripios del campo estudio

Barriles de cortes (BBIs)	Costo total de disposición (COP\$)
1000	\$15.000.000
2000	\$30.000.000
3000	\$45.000.000
4000	\$60.000.000
5000	\$75.000.000
6000	\$90.000.000
7000	\$105.000.000
8000	\$120.000.000
9000	\$135.000.000
10000	\$150.000.000
11000	\$165.000.000
12000	\$180.000.000
13000	\$195.000.000
14000	\$210.000.000
15000	\$225.000.000

En el campo estudio se llevó a cabo una perforación de un pozo hasta los 7345 ft de profundidad, y se generaron aproximadamente 4640 barriles de ripios, estos datos fueron tomados como una media y representan cantidades significativas que pueden llevar a obtener durante un proceso de perforación.

**Costo de una planta para construcción de adoquines.** Para implementar una planta básica de construcción de adoquines, se requiere de una maquinaria mínima; una maquina hidráulica semiautomática modelo AF 0013, un carro transportador y un molde para adoquines 10x20x6 cms. Para realizar el análisis económico se solicitó cotización de las herramientas requeridas como se detalla en la tabla 8.

Tabla 8. Cotización implementación planta básica de construcción de adoquines

Cantidad	Descripción	Precio Unitario
1	Maquina hidráulica semiautomática modelo AF 0013	\$120.000.000
1	Carro transportador	\$500.000
1	Molde para adoquín 10x20x6 cms	\$15.000.000
1	Transporte	\$2.000.000
	<b>IVA (19%)</b>	\$26.125.000
	<b>TOTAL</b>	\$163.625.000

Se solicitaron cotizaciones a las diferentes empresas de adoquines, analizando los costos de producción por unidad, obteniendo rangos entre los \$400 y \$600 pesos colombianos. Sin embargo, al usar los ripios de perforación como materia prima para la construcción de los adoquines, se reducen los costos de producción hasta en un 85%; debido a que se reemplaza la mitad de la arena por ripios y no requiere la adición de agua dulce debido a que la humedad de los ripios es suficiente para su construcción. Obteniendo un costo unitario de \$60 pesos colombianos.

Conociendo que el campo estudio tiene un costo promedio de \$5 USD/BB1 de cortes dispuestos, lo que implica un costo fijo a lo largo del tiempo. En el caso de llegarse a implementar una planta de construcción de adoquines, se necesitaría una inversión inicial de \$163.625.000 de pesos colombianos, con la ecuación 4 se puede determinar a los cuantos barriles de cortes producidos se igualan los costos de la inversión inicial para la planta de adoquines.

$$Bbbs \text{ de cortes} = \frac{\text{Inversión inicial}}{\$5 \frac{\text{USD}}{\text{Bbbs de cortes}} \times \text{XTRM}} \dots\dots\dots(4)$$

$$Bbbs \text{ de cortes} = \frac{163.625.000}{5 \times 3.000} = 10.908 \text{Bbbs}$$

Teniendo en cuenta que para construir un adoquín generalmente el agua y la arena representan cerca de un 85% del material necesario y el otro 15% de cemento (porcentajes en volumen); se puede calcular cuántos adoquines se construyen por barril de cortes producidos. Teniendo en cuenta que: 1 barril=158987 cm<sup>3</sup>, que el volumen del adoquín= 1200 cm<sup>3</sup> y que el volumen de cortes= 1200 cm<sup>3</sup>\*85%= 1020 cm<sup>3</sup>, se tiene la cantidad de adoquines construidos por barril de cortes como se muestra en la ecuación 5.

$$\text{Adoquines construidos por barril de cortes} = \frac{158987 \text{ cm}^3}{1020 \text{ vol de cortes}} = 155 \text{ adoquines} \dots\dots\dots(5)$$

Teniendo el costo unitario del adoquín y conociendo la producción de adoquines por barril de ripios; se determina el costo de disposición de un barril de cortes con la alternativa de la construcción de la planta de adoquines, como se indica en la ecuación 6.

$$\text{Costo de disposición de Bbbs de cortes} = \text{Costo Unitario} \times \text{Cantidad de adoquines} \dots\dots\dots(6)$$

$$\text{Costo de disposición de Bbbs de cortes (Planta adoquines)} = \text{COP} \$60 \times 155 = \text{COP} \$9300$$

De acuerdo con la tabla 7 el costo de disposición actual en el campo para un barril de ripios de perforación es aproximadamente \$15.000 pesos COP, mientras que el costo de disposición de un barril de cortes en el proyecto de planta de adoquines tiene un costo de \$9.300 pesos COP, observando una reducción de costos del 38%.

### Conclusiones y recomendaciones

Los resultados obtenidos indican que es posible construir adoquines usando ripios de perforación, reduciendo el impacto ambiental que generan los métodos convencionales de disposición y tratamiento de los cortes al igual que los costos asociados a estos tratamientos. Así mismo, se evita la acumulación de recortes de perforación en las locaciones y la consecuente afectación de áreas adicionales para la disposición de estos. La posible implementación de una planta para la construcción de los adoquines supone un acercamiento con la comunidad del área de afectación de los diferentes proyectos; además, de una reducción del 38 % en los costos necesarios para la disposición de los residuos, encontrándole un uso adicional.

La litología necesaria para la construcción de adoquines con materia prima proveniente de ripios de perforación debe estar compuesta en mayor proporción de arenas para cumplir con los requisitos de resistencia de la NTC 2017.

Las perforaciones realizadas con lodos base aceite resultan desfavorables ya que contaminan y hacen más complicada la separación entre el lodo y los cortes, afectando el porcentaje de humedad.

### Reconocimientos

Los autores de la presente investigación manifiestan su agradecimiento al Laboratorio de caracterización de materiales de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander y a la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Pontificia Bolivariana, por los ensayos realizados de caracterización.

## Referencias

1. Agencia Nacional de Hidrocarburos “Cifras y estadísticas-2018” [en línea]. Disponible en: <http://www.anh.gov.co/ANH-en-Datos/paginas/Cifras-y-Estadisticas.aspx> [Accessed:10/04/2019].
2. Guía Ambiental de ARPEL No. 4, Calgary, Alberta, 12 mar 1981. Pag 6.
3. J.A. Lizarazo, C.H. Leal. “Estudio para la implementación de reinyección de cortes durante la perforación de pozos”. Tesis pregrado. UIS. Bucaramanga, Colombia. 2011.
4. M.M. Zambrano, D.A. Osorio. “Estudio de viabilidad técnico-ambiental para el uso de ripios de perforación como materia prima para la construcción de adoquines” Tesis pregrado. UIS. Bucaramanga, Colombia. 2017.
5. T.L.Chen, L. Sunlong, L. Zsay-Shin. “An innovative utilization of drilling wastes as building materials. SPE E&P Environmental and Safety Conference Held in Galveston, Texas. U.S.A., 5-7 march. 2007.
6. Chiappori, Lucas, et al. Utilización de recortes de perforación en la construcción de locaciones. Petrobras Argentina S.A. Petrotecnica. Octubre, 2013.
7. S. Rojas. “Reutilización de los ripios de perforación en base agua como material de construcción. Trabajo de tesis de maestría. Sangolquí. Univ. Fuerzas Armadas, ESPE. 2014.
8. CASADIEGO Quintero, Efraín. Estudio de la continuidad lateral y vertical de las arenas de la formación mugrosa en el campo casabe y llanito, valle medio del magdalena. Trabajo de investigación como requisito para obtener el título de geólogo. UIS. 2008.
9. J.D. Bermúdez, J.S. Álvarez. “Caracterización y tratamiento de los ripios de perforación para su implementación en la construcción de adoquines”. Tesis. UIS. Bucaramanga, Colombia. 2018.
10. Norma Técnica Colombiana 2017. Adoquines de concreto para pavimentos. Editada por el Instituto de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) 2004. Pag 20.
11. Norma técnica colombiana 5147. Método de ensayo para determinar la resistencia a la abrasión de materiales para pisos y pavimentos, mediante arena y disco metálico ancho, editada por el Instituto de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) 2002. Pag 1.
12. Xie B., Qin J., Sun H., Wang S., Li X. “Leaching behavior of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from oil-based residues of shale gas drill cuttings” (2021) *Environmental Pollution*, 288, art. no. 117773.
13. Xia Z., Yang H., Sun J., Zhou Z., Wang J., Zhang Y. “Co-pyrolysis of waste polyvinyl chloride and oil-based drilling cuttings: Pyrolysis process and product characteristics analysis” (2021) *Journal of Cleaner Production*, 318, art. no. 128521.
14. Lee W.-H., Hsieh Y.-C., Wang H.-W., Ding Y.-C., Cheng T.-W. “Fabrication of low-temperature sintering building bricks using drilling cutting and geopolymeric technology” (2021), 14 (20), art. no. 5940.
15. Daneshfar M.A., Ardjmand M. “A new approach in the optimal site selection of landfills for drilling cuttings from petroleum and gas fields” (2021), 270, art. no. 129402.
16. Asim N., Badieli M., Torkashvand M., Mohammad M., Alghoul M.A., Gasaymeh S.S., Sopian K. “Wastes from the petroleum industries as sustainable resource materials in construction sectors: Opportunities, limitations, and directions” (2021), 284, art. no. 125459.
17. Samy A. “Cutting Re-injection CRI Uncertainty and Risk Assessment” Baker Hughes (2021).
18. Mazlova E.A., Baryshev I.G., Katak R.D., Semenychev V.G., Kulikova O.A. “Technology for drilling waste dehydration using textile decanter” (2020), 2020 (5), pp. 101 – 104.
19. Benelkadi S., Bianco E.V., Burton P., Motta M.D. “Subsurface drilling waste injection: Challenges, recent advances and cases studies” (2020).
20. Xing S., Wang J., Feng L. “Disposal technology of waste oil drilling cuttings in drilling engineering” (2018), 208 (1), art. no. 012093.
21. Yudistira B. “Best practicable environmental options assessment for drilled cuttings and fluids waste management strategy” BP Berau Ltd., United States (2018).
22. Rodriguez, J.C., Paredes, L., Sandoval, Orozco, M., Ponce, G. “Cuttings and waste injection disposal management: An environmentally attractive solution for amazonian oil field” (2017), *Chinese Journal of Environmental Engineering* 11(11), pp. 6050-6055.
23. Widodo, A.K.R., Rahmadona, D., Gunawan, H. “Drilling waste disposal: Reduce-reuse-recycle approach in managing onshore drilling waste in North Senoro drilling gas field development project” (2016), *Petroleum Abstracts* 56(20), pp. 107.