

**CARACTERIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE LOS RIPIOS DE PERFORACIÓN  
PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE ADOQUINES**

**JESUS DAVID BERMÚDEZ POMARES  
JUAN SEBASTIÁN ÁLVAREZ TOLE**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICOQUÍMICAS  
ESCUELA INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
BUCARAMANGA**

**2018**

**CARACTERIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE LOS RIPIOS DE PERFORACIÓN  
PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE ADOQUINES**

**JESUS DAVID BERMÚDEZ POMARES  
JUAN SEBASTIÁN ÁLVAREZ TOLE**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
Ingeniero de Petróleos**

**Director:  
JIMENA LIZETH GÓMEZ DELGADO  
M.Sc. en Ingeniería de Petróleos y Gas**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍA FISCOQUÍMICAS  
ESCUELA INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
BUCARAMANGA**

**2018**

## DEDICATORIA

*Quiero dedicar este trabajo a Dios, por siempre haberme dado la sabiduría y las fuerzas para alcanzar este logro. A mi madre por siempre apoyarme en cada decisión que he tomado, por confiar en mí y brindarme su apoyo y su amor incondicional. A mi padre por ayudarme a forjar mi carácter en cada situación difícil que se ha presentado. A mis abuelos por brindarme su amor y sus palabras de aliento en los momentos más difíciles. A mis familiares y a mis amigos que siempre han estado a mi lado y han formado parte de todo este proceso que hoy culmina de forma exitosa. Y sin duda a cada uno de los profesores que ayudaron a mi formación académica a lo largo de todos estos años de estudio.*

*Jesús Bermúdez*

## DEDICATORIA

*Quiero dedicar este trabajo a Dios por toda la ayuda y fuerza que me ha brindado. A mi padre que siempre estuvo ahí en las buenas y en las malas dándome fuerzas y enfocándome en un buen camino para la culminación de mis estudios. A mi madre por siempre apoyarme, estar pendiente y confiar en mí, aunque las distancias no lo permitan. A mi hermano que fue mi ejemplo a seguir y energía para que todo siguiera su buen curso. Al ingeniero Guillermo y compañera Carol por su ayuda incondicional para culminar este trabajo. A todos mis amigos, María, Diego, Javier, Juliana y demás que brindaron apoyo, información, fuerzas y no dejaron que la procrastinación se hiciera presente en todo este desarrollo.*

*Sebastián Álvarez.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos en primera instancia a Dios por brindarnos la oportunidad de culminar esta etapa tan importante en nuestras vidas. A nuestros padres por apoyarnos y guiarnos a lo largo de todo este proceso, del cual hoy no sería realidad sin ellos. Gracias a todos nuestros familiares y amigos que creyeron en nosotros y formaron parte de todo este arduo proceso. A nuestra directora Jimena por brindarnos la oportunidad de trabajar de su mano y por el tiempo dedicado a solucionar nuestras dudas. Finalmente agradecer a la Universidad Industrial de Santander y a la escuela de Petróleos por los espacios y profesores dispuestos para hacer de nosotros unos profesionales de la industria.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN .....	16
1. TRATAMIENTO DE RIPIOS COMO MATERIA PRIMA .....	17
1.1 VOLUMEN DE RIPIOS GENERADOS .....	17
1.2 CLASIFICACIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA .....	19
1.3 TRATAMIENTO INICIAL.....	21
1.4 EQUIPOS PARA CONTROL DE SÓLIDOS (ECS).....	21
1.4.1 Zarandas vibratorias (Shale Shakers).....	21
1.4.2 Hidrociclones .....	23
1.4.3 Desarenadores .....	24
1.4.4 Desarcilladores .....	25
1.4.5 Limpiadores de lodo (Mud Cleaner) .....	26
1.4.6 Centrífugas .....	27
1.4.7 Procedimientos aplicados para el control de sólidos .....	29
1.4.8 Separación Mecánica .....	29
1.5 ALMACENAMIENTO TEMPORAL.....	29
1.6 DISPOSICIÓN FINAL .....	30
1.6.1 Celdas.....	30
1.6.2 Confinamiento en piscinas.....	31
1.6.3 Esparcimiento en tierra (landspread) .....	32
1.6.4 Incineración controlada .....	32
1.6.5 Estabilización/Solidificación .....	33
1.6.6 Compostaje.....	33
1.7 TRATAMIENTO FINAL PARA DISPOSICIÓN COMO MATERIA PRIMA.....	34
2. ANÁLISIS DE RIPIOS COMO POSIBLE MATERIAL PARA CONSTRUCCIÓN	35
2.1 ORIGEN DE LA MUESTRA.....	35

2.2 LITOLÓGÍA DE LA MUESTRA .....	38
2.3 RECORRIDO DE LA MUESTRA .....	39
2.4 DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA.....	40
2.5 CONSTRUCCIÓN DE ADOQUINES A PARTIR DE RIPIOS DEL CAMPO LA CIRA-INFANTAS .....	41
3. DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS ESTABLECIDA POR LA NORMATIVIDAD COLOMBIANA.....	44
3.1 ABSORCIÓN DE AGUA (Aa%): .....	44
3.1.1 Secado:.....	45
3.1.2 Saturación.....	45
3.2 RESISTENCIA A LA FLEXOTRACCIÓN O MÓDULO DE ROTURA (Mr): .....	46
3.3 RESISTENCIA A LA ABRASIÓN.....	48
3.4 COMPARACIÓN DE RESULTADOS A LA FLEXOTRACCIÓN.....	50
3.5 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE ABSORCIÓN DE AGUA .....	52
3.6 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE ABRASIÓN .....	52
4. ESTUDIO ECONOMICO DE LA ELABORACIÓN DE ADOQUINES TOMANDO RIPIOS DE PERFORACIÓN COMO MATERIA PRIMA .....	54
4.1 COSTOS DEL PROYECTO ZODCO:.....	55
4.2 COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA PARA CONSTRUIR ADOQUINES .....	57
4.3 COMPARATIVA ECONÓMICO PROYECTO ZODCO VS CONSTRUCCIÓN DE ADOQUINES .....	60
5. CONCLUSIONES .....	64
6. RECOMENDACIONES.....	66
BIBLIOGRAFÍA.....	67
ANEXOS.....	69

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1: Clasificación de los tamaños de partícula .....	20
Figura 2: Puntos de corte de los equipos de control de sólidos .....	20
Figura 3: Zaranda vibratoria .....	23
Figura 4: Esquema de un hidrociclón .....	24
Figura 5: Esquema de un hidrociclón .....	25
Figura 6: Desarcillador .....	26
Figura 7: Limpiador de lodo (Mud Cleaner) .....	27
Figura 8: Sección transversal de una Centrifuga decantadora .....	28
Figura 9: Zarandas Vibratorias Pozo RIG-118 .....	36
Figura 10: Limpiador de lodo pozo RIG-118 .....	36
Figura 11: Centrifugas pozo RIG-118 .....	37
Figura 12: Zona de Disposición de Cortes ZODCO .....	38
Figura 13: Cortes recolectados en el Pozo RIG-118 .....	40
Figura 14: Análisis geológico de la muestra .....	41
Figura 15: Adoquín construido a partir de ripios del pozo RIG-118 .....	43
Figura 16: Esquema de ensayo de flexión .....	48
Figura 17: Componentes del aparato para el ensayo de abrasión .....	49
Figura 18: Equipo de medición a la flexotracción Universidad Industrial de Santander .....	51
Figura 19: Equipo de ensayo de Abrasión Universidad Pontificia Bolivariana .....	53
Figura 20: Máquina hidráulica semi-automática modelo AF 0013 .....	58
Figura 21: Carro transportador .....	59
Figura 22: Comparación Costo unitario proyecto ZODCO vs Inversión Inicial de Planta .....	60
Figura 23: Análisis de costos de los proyectos .....	62

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1: Composición y descripción de la muestra de los ripios de perforación obtenidos en el pozo RIG-118 .....	41
Tabla 2: Requisitos de resistencia a la flexotracción (Módulo de Rotura (Mr) .....	46
Tabla 3: Resultados del ensayo a la Flexotracción en los adoquines .....	51
Tabla 4: Resultados del ensayo de Absorción de Agua en los adoquines.....	52
Tabla 5: Resultados prueba de Abrasión en los adoquines .....	53
Tabla 6: Costos totales de disposición mediante el proyecto ZODCO.....	55
Tabla 7: Volumen de cortes producidos por un campo en Colombia.....	56
Tabla 8: Cotización en la empresa Adomaquinas del futuro LTDA.....	59

## LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Resultados prueba de Flexotracción Universidad Industrial de Santander .....	69
Anexo B. Resultados prueba de Absorción de Agua (UIS) .....	71
Anexo C. Resultados prueba de Abrasión Universidad Pontificia Bolivariana .....	72

## RESUMEN

**TITULO:** CARACTERIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE LOS RIPIOS DE PERFORACIÓN PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE ADOQUINES\*

**AUTORES:** JUAN SEBASTIÁN ÁLVAREZ TOLE  
JESUS DAVID BERMÚDEZ POMARES\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Ripios de perforación, recortes, adoquines, tratamiento, disposición, materia prima.

Generar alternativas para la disposición final de los ripios producidos durante las perforaciones de los pozos, se convierte en algo de gran importancia en tiempos donde se necesita reducir costos debido a los precios actuales del petróleo. Sin embargo, no todo radica en la disminución de costos de operación, sino también, en la mitigación de los impactos ambientales. Es por tal razón, que estos proyectos deben ser viables tanto en aspectos económicos, sociales y ambientales, ya que de estos factores depende el éxito de este tipo de operaciones.

La construcción de adoquines a partir de ripios como materia prima, surge como una alternativa atractiva para la industria debido a sus altos beneficios. Aunque tiene sus limitaciones como lo es en ripios producidos en formaciones de lutitas las cuales no se encuentran aptas para ser implementadas en este tipo de proyectos. Sin embargo, las formaciones de areniscas suelen ser ideales para desarrollar proyectos de esta magnitud y reducir significativamente los costos de disposición de ripios. A su vez se puede brindar beneficios a las comunidades aledañas que resultan afectadas por las diversas operaciones realizadas por la industria, construyendo nuevos espacios y vías que mitifiquen un poco las necesidades a las que estas se enfrentan. Todo esto sin dejar a un lado el aspecto ambiental, que también se ve beneficiado ya que se logran reducir las cantidades de agua y aditivos químicos que terminan siendo contaminantes.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: Jimena Lizeth Gomez Delgado, M.Sc. en Ingeniería de Petróleos y Gas.

## ABSTRACT

**TITLE:** CHARACTERIZATION AND TREATMENT OF PERFORATION RIPPERS FOR THEIR IMPLEMENTATION IN THE CONSTRUCTION OF PAVERS<sup>\*</sup>

**AUTHORS:** JUAN SEBASTIÁN ÁLVAREZ TOLE  
JESUS DAVID BERMÚDEZ POMARES<sup>\*\*</sup>

**KEYWORDS:** Drilling grates, cuttings, paving stones, treatment, disposal, raw material.

Generating alternatives for the final disposition of the debris produced during the drilling of the wells, becomes something of great importance in times where it is necessary to reduce costs due to the current oil prices. However, not everything lies in the reduction of operating costs, but also in the mitigation of environmental impacts. It is for this reason, that these projects must be viable in economic, social and environmental aspects, since the success of this type of operations depends on these factors.

The construction of cobbles from gravel as raw material emerges as an attractive alternative for the industry due to its high profits. Although it has its limitations as it is in gravel produced in shale formations which are not suitable to be implemented in this type of project. However, sandstone formations are usually ideal for developing projects of this magnitude and significantly reduce the costs of disposal of gravel. At the same time, benefits can be provided to the surrounding communities that are affected by the various operations carried out by the industry, building new spaces and routes that modify a little the needs they face. All this without leaving aside the environmental aspect, which is also benefited since they manage to reduce the amounts of water and chemical additives that end up being pollutants.

---

<sup>\*</sup> Graduation Work

<sup>\*\*</sup> Faculty of Physical-Chemical Engineering. Petroleum Engineering School. Director: Jimena Lizeth Gomez Delgado, M.Sc. en Ingeniería de Petróleos y Gas.

## INTRODUCCIÓN

En la industria de hidrocarburos se generan muchos contaminantes y desechos perjudiciales para el medio ambiente, no obstante, se han realizado acciones que mitigan la contaminación para el buen uso del recurso natural en todo el ámbito de la extracción de crudo, aun así, se debe continuar disminuyendo la contaminación con nuevos proyectos o ideas innovadoras para el beneficio tanto del medio ambiente como la industria petrolera.

Al momento de perforar un pozo se generan recortes de perforación, un sólido proveniente de la acción rotatoria de la broca con la formación en el interior del hueco del pozo y transportado por el fluido o lodo de perforación, lo cual se debe presentar una mayor atención a estos residuos ya que son uno de los contaminantes más producidos en este campo. Para la disposición de los recortes de perforación generalmente se les extrae la mayor cantidad posible de líquidos con los equipos de control de sólidos y se sitúan en unas celdas o piscinas en el suelo afectando dicho entorno haciendo que los recortes de perforación sean un problema y no un material con algún tipo de uso útil.

El presente documento propone tratar los ripios de perforación para disponerlos como materia prima ofreciendo una nueva alternativa de disposición, aminorando la contaminación y una posible mitigación de costos por efecto de la reutilización de estos desechos por lo cual se genera una ventaja para el control de sólidos y el proceso de perforación.

## **1. TRATAMIENTO DE RIPIOS COMO MATERIA PRIMA**

En el proceso de perforación se presenta el inconveniente de los sólidos (en mayor parte por el material excavado) afectando negativamente la velocidad de penetración, la hidráulica, circulación, propiedades reológicas de lodo y demás, a su vez disminuyen la vida útil de los equipos, todo esto proveniente de los sólidos de fondo de pozo que son transportados por el fluido de perforación de fondo hasta superficie. Actualmente existen muchos tratamientos para eliminar estos sólidos dependiendo de su tamaño y composición para su disposición final.

En este capítulo se muestra los diferentes procesos y equipos para poder llegar a obtener los ripios de perforación como materia prima para su posterior uso.

### **1.1 VOLUMEN DE RIPIOS GENERADOS**

Con ciertos cálculos se puede dar un estimado del volumen de sólidos generados en la etapa de perforación. Cuando se perfora la primera sección de un pozo desde la superficie hasta la profundidad de asentamiento del revestimiento conductor, se obtienen la mayor cantidad de recortes, ya que esta es la etapa donde tiene un mayor diámetro del hueco, por lo cual tiene un mayor volumen de sólido.

El volumen generado de recortes no es igual al volumen del hueco del pozo, generalmente es 2 o 3 veces mayor al volumen teórico del hueco del pozo. Un método práctico para calcular el volumen total de sólidos extraídos es realizar un

promedio entre el diámetro teórico del hueco y el diámetro máximo obtenido por el registro calíper para un determinado tramo de la perforación<sup>1</sup>.

A continuación, se muestra la siguiente expresión para el estimado del volumen en la ecuación 1.

$$V_{Ripios} = \frac{Dh^2}{1029,4} * H * F_h \quad (Ec. 1)$$

Dónde:

- Dh: Diámetro promedio del hueco, [in]
- H: Profundidad, [ft]
- Fh: Factor de humedad
- $V_{Ripios}$ : Volumen de ripios de perforación, [Bb]

El exceso en volumen se presenta como consecuencia de muchos factores como inestabilidad del pozo, el cual cambia el estado inicial de los esfuerzos en la formación, puede exceder la fuerza de la roca y ocasionar una falla; los Washouts que ocasionan ensanchamiento del diámetro de un pozo, el cual es un derrumbe en un tramo del pozo y es causado por la velocidad excesiva de los chorros de la broca, la existencia de formaciones blandas o no consolidadas, los esfuerzos locales presentes en las rocas, el daño mecánico producido por los componentes del BHA, el ataque químico y la dilatación o el debilitamiento de la lutita en contacto con el agua dulce; Algunas rocas exhiben el efectos de creeps, donde la roca se deforma casi indefinidamente bajo la acción de un estrés constante ocasionando más derrumbes en las paredes del pozo; entre otras.

---

<sup>1</sup> ARÉVALO GARZÓN, Samuel; TRIANA TAPIAS, María. Metodología para el tratamiento de ripios de perforación en un pozo stratigráfico profundo. Tesis de grado Ingeniería de Petróleos. Bucaramanga: Universidad Industrial De Santander. Escuela Ingeniería de Petróleos. 2013. p.23

Es importante dar un estimado del volumen generado ya que nos da un indicio de cuanto material podemos extraer de cada pozo, facilitando los cálculos de cantidad de material final para uso como materia prima y una estimación de rentabilidad económica para la toma de decisiones si se desea aplicar este tratamiento a los ripios para disponerlos como materia prima.

## **1.2 CLASIFICACIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA**

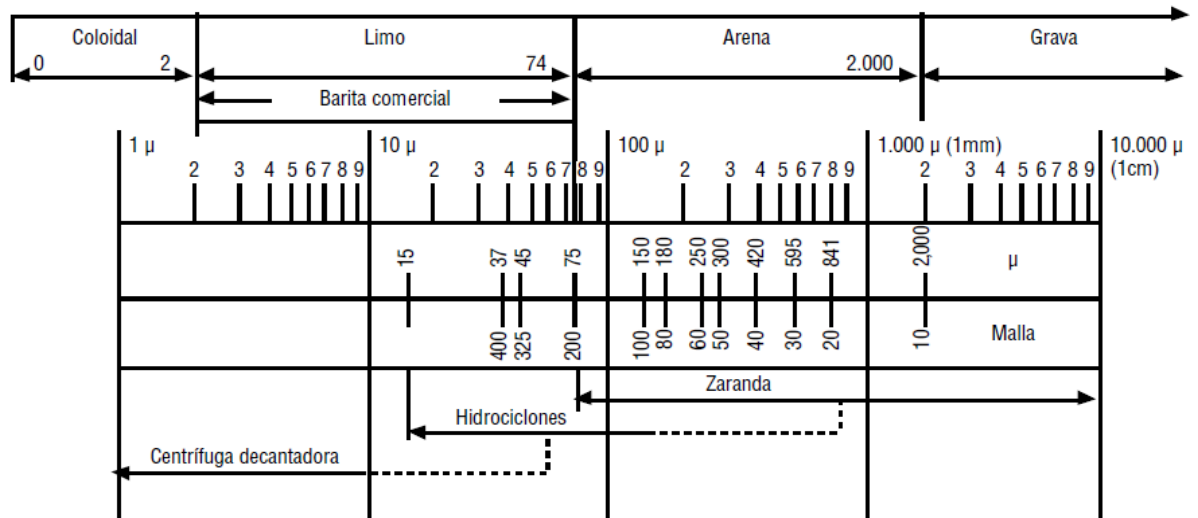
El objetivo de los equipos de control de sólidos (ECS) es retirar eventualmente con diferentes equipos los sólidos de gran tamaño hasta los más pequeños (limos o arena fina) como se muestra en la Figura 2, con el fin que cada equipo optimice el desempeño del equipo siguiente. Las partículas que se encuentran en el lodo de perforación varían desde arcillas muy pequeñas (menores a 1/25.400 de pulgada) a recortes grandes (más de una pulgada)<sup>2</sup>.

En la Figura 1 se muestra la clasificación API de tamaño de partícula y los rangos que operan los ECS para su remoción.

---

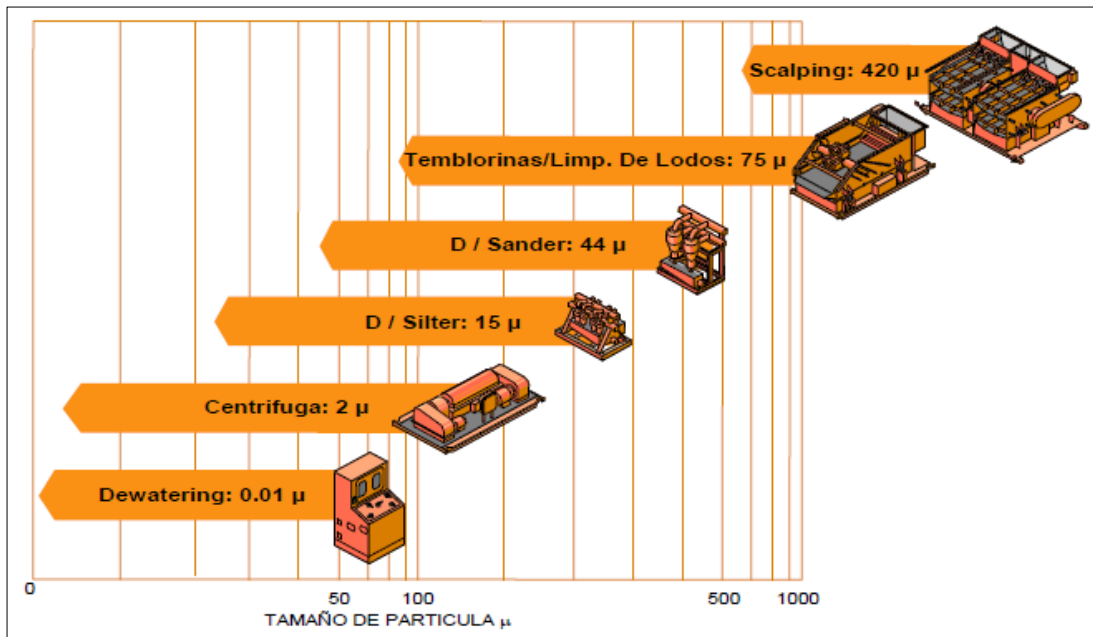
<sup>2</sup> ENERGY API. Manual de fluidos de perforación. Procedimiento estándar para las pruebas de fluido de perforación. Instituto Americano Del Petróleo. Dallas: Texas. 2014. p.249

**Figura 1. Clasificación de los tamaños de partícula**



Fuente: ENERGY API. Manual de fluidos de perforación. Instituto Americano Del Petróleo. Dallas: Texas. 2014. P 249

**Figura 2: Puntos de corte de los equipos de control de sólidos**



Fuente: MOLINA, Miguel A. TECNICAS DESARROLLADAS DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DE SOLIDOS DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN. Perú: 2009.

### 1.3 TRATAMIENTO INICIAL

La extracción de sólidos en el lodo de perforación es una de las actividades primordiales para una buena eficiencia en el control de sistema de lodo, manteniendo una adecuada reología, minimizando perdidas de lodo y principalmente es donde se obtendrán los ripios que posteriormente se utilizarán.

El tratamiento inicial que se les aplica a los ripios utiliza uno o varios principios básicos de separación de sólidos mencionados a continuación<sup>3</sup>:

- Sedimentación.
- Zarandas.
- Hidrociclones
- Centrifugas rotativas<sup>4</sup>.

### 1.4 EQUIPOS PARA CONTROL DE SÓLIDOS (ECS)

Los ECS cumplen un papel fundamental al ser los primeros equipos en recibir el lodo al salir del pozo con el objetivo principal de remover las partículas sólidas que acarrea el lodo mejorando así sus propiedades reológicas, optimizando la velocidad de penetración y evitando problemas en pozo.

A continuación, veremos los equipos que se manejan comúnmente en la industria petrolera.

**1.4.1 Zarandas vibratorias (Shale Shakers)** El ECS más importante y el más común son las zarandas, que contiene uno o más tamices vibratorios que el lodo

---

<sup>3</sup> ARÉVALO GARZÓN, Samuel; TRIANA TAPIAS, María. Metodología para el tratamiento de ripios de perforación en un pozo stratigráfico profundo. Tesis de grado Ingeniería de Petróleos. Bucaramanga: Universidad Industrial De Santander. 2013. p.26

<sup>4</sup> ENERGY API. Manual de fluidos de perforación. Dallas: Texas. 2014. p.253

atraviesa a medida que circula fuera del pozo. Las zarandas se pueden observar en la figura 3. Estas se diferencian de los otros equipos de eliminación de sólidos en que producen un corte de prácticamente 100% al tamaño de abertura de la malla. Las zarandas pueden eliminar hasta el 90% de los sólidos generados, pero no pueden eliminar los sólidos que tienen un tamaño de limo y coloidales, por lo cual es necesario usar la dilución y otros equipos para controlar los sólidos perforados ultra finos<sup>4</sup>.

Hay 2 tipos de Zarandas:

1. **Zaranda de movimiento circular/elíptico:** Esta zaranda emplean rodillos elípticos que generan un movimiento circular de vaivén para obtener una mejor remoción de sólidos a través de los tamices.
2. **Zaranda de movimiento lineal:** Este colador emplea un movimiento de vaivén recto hacia adelante y atrás para mantener el fluido circulando a través de las mallas<sup>5</sup>.

Otro aspecto importante a tener en cuenta en estos equipos son las mallas utilizadas, la finura y diseño de la malla son características que rigen su eficiencia; Cuando se refiere a finura de la malla se habla del tamaño de abertura del tamiz que determina el tamaño de las partículas que un tamiz puede remover, el otro aspecto es el diseño el cual nos indica que tienen diseño bi – o tri- dimensional, como son las mallas tipo panel o tipo pirámide<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> BAROID. Fluids Handbook. Halliburton Company. Houston: USA. 2000.

**Figura 3: Zaranda vibratoria**

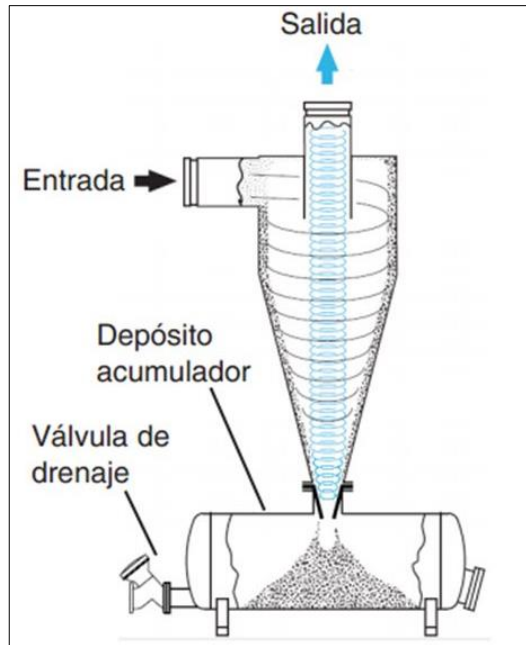


Fuente: GN Shale Shakers – [En línea]. Disponible en: [www.gn-shale-shaker.com/gnzs-shale-shaker-vibration-device-for-drilling-fluids/](http://www.gn-shale-shaker.com/gnzs-shale-shaker-vibration-device-for-drilling-fluids/)

**1.4.2 Hidrociclones** Los hidrociclones están conformados por una bomba centrífuga que suministra un alto volumen de lodo a través de una abertura tangencial en el gran extremo del hidrociclón embudado como se muestra en la figura 4, se usa una cabeza hidrostática apropiada para producir el movimiento de vórtice del fluido, un tornado o un ciclón, expulsando los sólidos húmedos de mayor masa por el fondo abierto y devolviendo el líquido a través de la parte superior del hidrociclón. Por lo tanto, todos los hidrociclones funcionan de manera similar, que se usen como desarenadores, deslimadores o eyectores de arcilla.

El proceso que ocurre adentro del dispositivo es que las partículas más grandes y/o más pesadas son expulsadas hacia afuera, hacia la pared del hidrociclón, por otro lado, el fluido y las partículas más finas y más ligeras se mueven hacia el centro y subirán dentro del hidrociclón de fluido, saliendo a por arriba del dispositivo.

**Figura 4. Esquema de un hidrociclón**



Fuente: Tienda Hidrociclones. [En Línea] Disponible en:  
<http://todoparaelriego.com/tienda/hidrociclones/671-hidrociclon-metalico.html>

El tamaño y el número de hidrociclones requeridos variarán según la aplicación. Para el proceso de desarenar son generalmente hidrociclones de 6 pulgadas a 12 pulgadas, para los deslimadores usan hidrociclones de 4 a 6 pulgadas, siendo común que se usen 12 o más hidrociclones de 4 pulgadas. Los eyectores de arcilla o microciclones usan hidrociclones de 2 pulgadas, normalmente usando 20 hidrociclones de 2 pulgadas. La capacidad de procesamiento depende del tamaño del hidrociclón; por lo tanto, para un volumen determinado, se usará un mayor número de pequeños hidrociclones que de grandes hidrociclones.

**1.4.3 Desarenadores** Los desarenadores son usados en lodo con poco peso, impiden la sobrecarga de los deslimadores, separan partículas de tamaño de arena alrededor de los 74 micrones o mayores, su punto de corte esta entre los 50 a 80micrones. Este equipo es apreciable en la figura 5.

**Figura 5. Desarenador.**



Fuente: GN solids control. Disponible en: [www.gnsolidscontrol.com/drilling-fluids/desanders-and-desilters-for-kuwait-clients](http://www.gnsolidscontrol.com/drilling-fluids/desanders-and-desilters-for-kuwait-clients)

En lodos pesados no es recomendable usar este equipo debido a que la densidad de la barita es sustancialmente más alta que la de los sólidos perforados y pudiera ser eliminada accidentalmente.

En general se usa un hidrociclón de 6 pulgadas de diámetro interior o más grande, con una unidad compuesta de dos hidrociclones de 12 pulgadas, cada uno de los cuales suele tener una capacidad de 500 gpm<sup>6</sup>.

**1.4.4 Desarcilladores** La diferencia entre un desarcillador y un desarenador es el diámetro del cono y la capacidad del procesamiento, pero el funcionamiento es igual. Son fabricados en una gran variedad de tamaños, entre los 2 a 6 pulgadas y remueven partículas sólidas de tamaño limo y arcilla, entre 6 a 40 micras.

La operación de este equipo igualmente depende de una bomba centrífuga. El lodo debe ser succionado del tanque que descarga el desarenador y su descarga procesada en el tanque contiguo<sup>7</sup>. Este equipo se visualiza en la figura 6.

---

<sup>6</sup> MI SWACO. (2004). Curso de control de sólidos. p.112-113

**Figura 6. Desarcillador**



Fuente: AIPU. Solids Control. [En línea] Disponible en: [www.aipusolidcontrol.com/html/products/desilter.html](http://www.aipusolidcontrol.com/html/products/desilter.html)

**1.4.5 Limpiadores de lodo (Mud Cleaner)** Los limpiadores de lodo es básicamente un deslimador montado sobre una zaranda de malla vibratoria muy fina.

En el limpiador de lodo retiene los sólidos de tamaño de arena a través del deslimador y luego separa la descarga con una zaranda de malla fina, los sólidos que pasan por la malla son guardados y los que no pasan son desechados<sup>8</sup>.

El objetivo del desarenador es tamizar la descarga inferior de los hidrociclones para recuperar la fase líquida, la barita y producir cortes más secos.<sup>9</sup> Visible en la figura 7.

---

<sup>7</sup> MI SWACO. (2004). Curso de control de sólidos. p. 113

<sup>8</sup> ENERGY API. Manual de fluidos de perforación. Dallas: Texas. 2014. p.263

<sup>9</sup> MI SWACO. (2004). Curso de control de sólidos. p.122

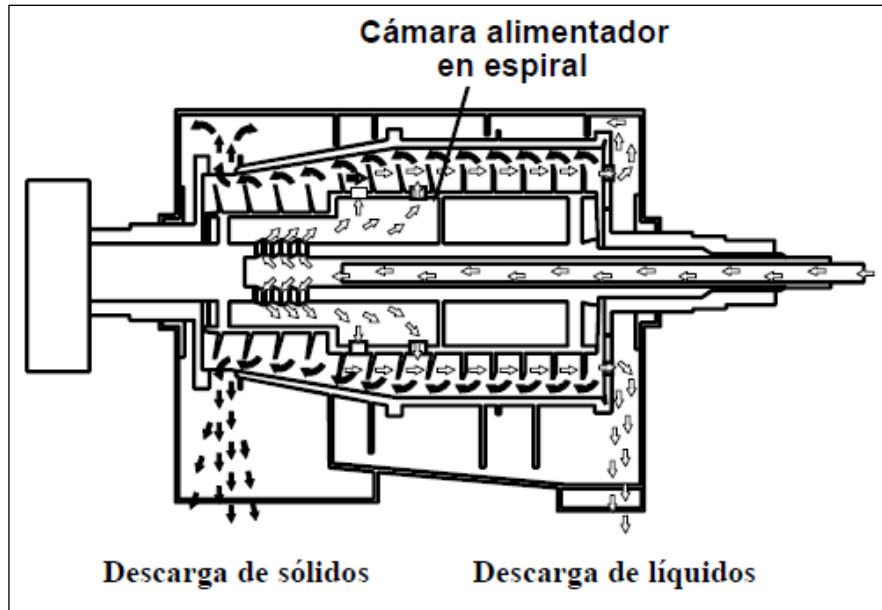
**Figura 7. Limpiador de lodo (Mud Cleaner)**



Fuente: Mi SWACO. (2004). Curso de control de sólidos.

**1.4.6 Centrífugas** Las centrífugas aumentan las fuerzas que causa una separación de los sólidos al aumentar las fuerzas centrífugas. La centrifuga decantadora se compone de un tazón cónico de acero horizontal que gira a una gran velocidad, con un tornillo transportador helicoidal en su interior que gira en la misma dirección que el tazón exterior, pero a una velocidad un poco menor. La alta velocidad rotacional fuerza los sólidos contra la pared interior del tazón y el tornillo transportador los empuja hacia el extremo, donde son descargados. Apreciable en la figura 8.

**Figura 8: Sección transversal de una Centrifuga decantadora**



Fuente: BAROID. Fluids Handbook. Halliburton Company. Houston: USA. 2000. p 325

Una importante operación de la centrifuga es la dilución, su propósito es reducir la viscosidad de alimentación para mantener la eficiencia de separación del dispositivo. En los fluidos de perforación densificados, se suele usar una centrifuga para la recuperación de barita. La centrifuga está configurada para separar principalmente la barita, devolviéndola al sistema, mientras desecha la fase líquida que contiene los sólidos finos y coloidales perjudiciales.

El punto de corte se debe tomar en cuenta el porcentaje real indicado del punto de corte (número D) al comparar las características de rendimiento de las centrifugas. Un D95 indica que, en base al peso, 95% de todas las partículas más grandes que el tamaño micrométrico D95 serán eliminadas. Hay variedad de números D que utilizan los fabricantes como D50, D84, D90 y D95<sup>10</sup>.

<sup>10</sup> ENERGY API. Manual de fluidos de perforación. Dallas: Texas. 2014. p.265

**1.4.7 Procedimientos aplicados para el control de sólidos** Existen cinco métodos para reducir la concentración de sólidos en el lodo de perforación, (dilución, desplazamiento, asentamiento, trampa de arena y separación mecánica), se enfocará solamente a métodos de remoción de sólidos, el cual solo incluye el procedimiento de separación mecánica.

**1.4.8 Separación Mecánica** Es la separación selectiva de los sólidos perforados del lodo por diferencia de tamaño y masa<sup>11</sup>. Hay gran variedad de equipos que remueven diferentes tamaños de sólidos que incluye este método lo cuales ya se han mencionado en este capítulo anteriormente.

## **1.5 ALMACENAMIENTO TEMPORAL**

Después de tratar los ripsos de perforación el siguiente paso es almacenarlos temporalmente para su acumulación con el fin de transportarlos o continuar con el siguiente tratamiento según sea el caso. Generalmente en la industria el procedimiento de los ripsos termina en el proceso de disposición final, como los son los métodos de celdas, confinamiento en piscinas, dispersión en el terreno entre otros, en el cual no son útiles para uso de un posterior tratamiento, haciendo evidente la omisión del almacenamiento final y evitando la necesidad de buscar un territorio apto para este proceso.

Una vez que los ripsos son expulsados del equipo de control de sólidos (ECS) son recibidos en piscinas de volúmenes pequeños para almacenarlos temporalmente llamada Catch Tank o piscinas de cortes para luego ser trasladados a un posterior tratamiento.

---

<sup>11</sup> MI SWACO. (2004). Curso de control de sólidos. p.23

Todos los cortes de perforación provenientes de los equipos de control de sólidos son descargados dentro de un tanque de 40 pies, por medio de bandejas metálicas. En este tanque se podría tratar los ripios, se utiliza cal vivo y/o silicato para deshidratar y/o fijarlos y poder transportarlos para su disposición final.

El segundo tanque de almacenamiento es el de las centrifugas, el cual el producto de la deshidratación del fluido son los cortes los cuales son depositados mediante la utilización de la centrifuga de alta o baja velocidad para recortes de alta o baja velocidad<sup>12</sup>.

## **1.6 DISPOSICIÓN FINAL**

Al producir grandes cantidades de ripios se genera la necesidad de disponerlos permanentemente en un lugar el cual no genere gran impacto al medio ambiente y cumpla con las normas establecidas como lo es el Decreto 4741 de 2005 para la prevención, regulación y manejo de residuos o desechos peligrosos.

A continuación, se mencionarán algunos métodos para la disposición final de ripios de perforación.

**1.6.1 Celdas** Consiste situar los ripios en el terreno de la locación en unas celdas de dimensiones de cuatro metros de largo y ancho por tres o cuatro metros de profundo si el nivel freático lo permite. Estas celdas contienen generalmente 64 metros cúbicos o 403 barriles, al completar este volumen con ripios y demás sólidos se construye otra celda separada a un metro de distancia de la otra para continuar con la operación.

---

<sup>12</sup> ARÉVALO GARZÓN, Samuel; TRIANA TAPIAS, María. Metodología para el tratamiento de ripios de perforación en un pozo estratigráfico profundo. Bucaramanga: Universidad Industrial De Santander. Escuela Ingeniería de Petróleos. 2013. p.46

Este método al estar directamente en contacto con la tierra se debe hacer un seguimiento con muestreo y análisis periódicos los cuales no deben pasar límites permisibles. Su desventaja proviene de la disponibilidad dentro de la locación para la disposición de ripios<sup>13</sup>.

**1.6.2 Confinamiento en piscinas** Este tratamiento consiste en disponer los ripios en piscinas de gran capacidad de almacenamiento, solamente se aplica a sólidos que han sido perforados con un lodo en base agua ya que difiere con el lodo en base aceite por presentar alta toxicidad.

Al lado de las piscinas se construyen celdas entre cuatro o siete metros de largo y ancho las cuales cuentan con un puerto de comunicación o canal con la piscina donde fluyen lodos que generalmente son licuados.

En las piscinas se mezclan sólidos secos provenientes de la deshidratación y cortes de perforación obtenidos de la utilización de la centrifuga con los demás cortes que generan los equipos de control de sólidos (ECS) para darle mayor consistencia y facilitar el tapado de esta. Silicato y/o material secante es aplicado sobre las piscinas para luego remover en su interior hasta homogeneizar todos los cortes, esto acompañado con otros aditivos tienen el objetivo de controlar el pH. En caso de que los sólidos tengan trazos de crudo se utiliza piscinas impermeabilizadas con geomembrana.

Hay que tener en cuenta el nivel freático al momento de construir las piscinas por lo cual se deja un metro de distancia separado del nivel freático, normalmente las piscinas tienen una profundidad de tres a cuatro metros.

---

<sup>13</sup> ARÉVALO GARZÓN, Samuel; TRIANA TAPIAS, María. Metodología para el tratamiento de ripios de perforación en un pozo estratigráfico profundo. Bucaramanga: Universidad Industrial De Santander. Escuela Ingeniería de Petróleos. 2013. p.47

**1.6.3 Esparcimiento en tierra (landspread)** Esta técnica consiste en el esparcimiento de desechos no tóxicos sobre suelos contaminados, se debe realizar un cálculo previo para cumplir con los límites establecidos por la normativa ambiental como ajustar algunos parámetros y dosis de mezcla del desecho con el suelo receptor.

Uno de los parámetros del suelo que afecta positivamente es la capacidad de intercambio catión por efecto del incremento del pH y del contenido de material orgánico. Otro aspecto de importancia es el balance de nutrientes logrado mediante la aplicación de enmiendas complementarias (yeso, cal, azufre, etc.) y fertilizantes<sup>14</sup>.

**1.6.4 Incineración controlada** La incineración tiene como objetivo la quema de materiales peligrosos para destruir contaminantes nocivos o componentes orgánicos, tales como bifenilos policlorados, solventes y plaguicidas.

El proceso consiste en introducir el material contaminado a un incinerador o un tipo de horno, aumentar la temperatura requerida para destruir los contaminantes controlando la cantidad de aire en su interior. En este proceso el material contaminante se calienta, se transforma en gas que pasan a través de una llama, esta llama hace que los gases alcanzan una temperatura lo suficientemente elevada que provoca su descomposición en componentes de menor tamaño. Esto se combina con oxígeno para formar gases menos nocivos y vapor de agua.

La ceniza reamente después de la incineración se puede eliminar en un vertedero o enterrar en el sitio. Una ventaja de este método es que la cantidad de material que requiere eliminación es muy inferior a la cantidad inicial del material

---

<sup>14</sup> ARÉVALO GARZÓN, Samuel; TRIANA TAPIAS, María. Metodología para el tratamiento de ripsos de perforación en un pozo estratigráfico profundo. Bucaramanga: Universidad Industrial De Santander. Escuela Ingeniería de Petróleos. 2013. p.49

contaminado, lo cual demanda menor área de disposición final para enterrar dichos materiales<sup>15</sup>.

**1.6.5 Estabilización/Solidificación** Esta técnica tiene el propósito de reducir el riesgo potencial de un desecho, evitando lixiviaciones de aceites y sales presentes. Este proceso se logra aplicando aditivos estabilizadores que permiten formar una matriz sólida donde quedan atrapados los componentes del ripio inmovilizando los contaminantes ya sea por medio físico o Químico.

En el aspecto de solidificación se mezcla el suelo contaminado con una sustancia como el cemento, provocando endurecimiento del suelo impidiendo que el químico se disperse en el ambiente circundante y evitando que el agua de lluvia disuelva los químicos. Hay que aclarar que la solidificación no elimina los químicos nocivos, si no que los atrapa en el lugar.

Por otro lado, la estabilización convierte los químicos nocivos en sustancias menos dañinas o menos móviles. En el caso de un suelo contaminado con metales, este se mezcla con cal o cemento los cuales reaccionan con los metales para formar compuestos metálicos menos solubles<sup>16</sup>.

**1.6.6 Compostaje** El compostaje es un proceso aeróbico de descomposición biológica de la materia orgánica que contiene los desechos. Generalmente este proceso se mezcla con virutas de madera, paja, cascara de arroz, estiércol o residuos agrícolas para aumentar la porosidad, la aireación potencial para facilitar la degradación biológica y la traza de nutrientes en el suelo, controlando parámetros como la humedad en un rango entre 40 a 60% en peso y temperaturas entre 30°C a 70°C para aumentar la actividad microbiana.

---

<sup>15</sup> VERACIERTA ALFARO, Luis. Evaluación de las técnicas realizadas por el centro de tratamiento y recuperación de desechos en el campo Hamaca. Maturín; Venezuela. 2006.

<sup>16</sup> VERACIERTA ALFARO, Luis. Evaluación de las técnicas realizadas por el centro de tratamiento y recuperación de desechos en el campo Hamaca. Maturín; Venezuela. 2006.

## 1.7 TRATAMIENTO FINAL PARA DISPOSICIÓN COMO MATERIA PRIMA

Ya una vez terminado con el proceso de tratamiento inicial y almacenamiento temporal que se les da generalmente a los ripios una vez extraídos del pozo (omitiendo el proceso de disposición final), el siguiente paso a proceder es adaptar los ripios de perforación para utilizarlo como materia prima en la construcción de adoquines.

Para este procedimiento primero debemos secar los recortes en un horno entre 100 y 105 °C en un lapso de 24 horas, después se requiere enfriar el material para ser molido y alterar su tamaño hasta convertirlo en polvo (tamaño del material por debajo de 45 micras), para al fin almacenarlo como materia prima para su aplicación final<sup>17</sup>.

---

<sup>17</sup> SPE 106913 - An Innovative Utilization of Drilling Wastes as Building Materials - Ta-Lin Chen, National Cheng Kung University; Sunlong Lin, Chinese Petroleum Corp.; and Zsay-Shin Lin, SPE.

## **2. ANÁLISIS DE RIPIOS COMO POSIBLE MATERIAL PARA CONSTRUCCIÓN**

El fin de esta tesis de investigación es analizar la viabilidad del uso de ripios de perforación como materia prima en la elaboración de adoquines, razón por la cual se procedió a recoger muestras en un pozo que estaba en procesos de perforación. A la muestra recolectada se le realizará su análisis litológico, así como también se dará a conocer las características de la formación donde fue extraída; con el fin de estudiar la posibilidad de que estas puedan ser usadas como material de construcción de adoquines.

### **2.1 ORIGEN DE LA MUESTRA**

Para el estudio de la viabilidad de ripios en disposición como material de construcción se adquirió una muestra en el campo La Cira Infantas, en el pozo RIG-118, ubicado a 22 kilómetros del municipio de Barrancabermeja, Santander.

Las muestras fueron obtenidas en los equipos de control de sólidos, los cuales constan de Zarandas vibratorias (Shale Shakers) figura 9, Limpiadores de lodo (Mud Cleaner), figura 10, y las Centrífugas, figura 11. También se obtuvo muestras en la zona ZODCO, un proyecto de la Cira Infantas explicada a continuación.

**Figura 9. Zarandas Vibratorias Pozo RIG-118**



Fuente: Autores

**Figura 10. Limpiador de lodo pozo RIG-118**



Fuente: Autores

**Figura 11. Centrifugas pozo RIG-118**



Fuente: Autores

### **Proyecto ZODCO**

ZODCO es un proyecto que representa una Zona de Disposición de Cortes, el cual consiste en reunir los ripios o cortes de perforación luego de pasar por los equipos de control de sólidos pertinentes de cada pozo a una zona de disposición final utilizando el método de esparcimiento de tierra o Landsread, estos ripios se mezclan con arena para disminuir la humedad de esta, en porcentajes que abarcan un rango de 50% arena (para los ripios muy húmedos) hasta un 10% de arena mezclada. La zona ZODCO se puede apreciar en la figura 12.

**Figura 12: Zona de Disposición de Cortes ZODCO**



Fuente: Autores

## **2.2 LITOLÓGÍA DE LA MUESTRA**

Las muestras fueron perforadas y extraídas en la formación Mugrosa, en la zona C a una profundidad de 3970 ft, el dato fue obtenido por el Up Time (Tiempo el cual de demora los rípios en subir a la superficie y llegar a los ECS al momento de ser perforados) el cual tiene un valor de 18 minutos.

### **Formación mugrosa:**

Los sedimentos se depositaron del cretáceo superior al oligoceno debido a la acreción de la cordillera occidental que causo al norte la progradación de la construcción de la cordillera central.

La Formación Mugrosa presenta una secuencia de arenisca 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 de granos decrecientes hacia el tope en la facie de canal y grano creciente en la facie de crevasse splay<sup>18</sup>.

### **Zona C:**

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 oscura, rojiza y blanca. Con un espesor promedio de 550 pies<sup>18</sup>.

## **2.3 RECORRIDO DE LA MUESTRA**

Después de ser perforada 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, uno de los equipos más importantes en control de sólidos removiendo así gran parte de la muestra en los tamices vibratorios, más adelante el fluido de perforación también pasa por los limadores de lodo o Mud Cleaner, recuperando la fase líquida por lo cual produce cortes más secos. En la últimas fases del recorrido el lodo pasa por las centrifugas donde retiene los ripios más pequeños, mayores a 3 $\mu$ .

En esas etapas del recorrido la muestra caen a unos tanques denominados Catch Tank, en el cual independientemente se han recolectado y empacado las muestras por cada ECS para su posterior estudio.

---

<sup>18</sup> 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.

## 2.4 DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA

Las muestras tienen un peso total de 34 Kg, empaquetado individualmente por cada equipo de control de sólidos con bolsas herméticas y envuelto en papel vinipel para no perder masa ni fluidos durante el transporte. Las muestras difieren entre si ya que se obtuvieron mediante el muestreo de los equipos de controles de sólidos, los cuales fueron; las Zarandas vibratorias (Shale Shakers) con un tamaño de partícula mayores a  $105\ \mu$ , el limpiador de lodo (Mud Cleaner) con un tamaño de partícula entre  $105\ \mu$  y  $75\ \mu$ , y las Centrifugas las cuales presentan un tamaño de partícula entre  $75\ \mu$  a  $3\ \mu$ . En la figura 13 se observa las muestras de diferentes partes ya recolectadas y empaquetadas.

Para la caracterización de estas muestras se tomó la información suministrada en campo por los geólogos, los cuales recolectan muestras cada 10 ft y realizan el análisis de los cortes producidos a las diferentes profundidades con el fin de generar una caracterización óptima de las formaciones perforadas.

**Figura 13: Cortes recolectados en el Pozo RIG-118**



Fuente: Autores

Al tener la muestra en superficie se llevó un diferencial hasta la estación de geología en donde se analizó su composición como se muestra en la figura 14; y de lo cual se obtuvo la información de la tabla 1.

**Tabla 1. Composición y descripción de la muestra de los ripios de perforación obtenidos en el 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.

Fuente: Autores

**Figura 14. Análisis geológico de la muestra**



Fuente: Autores

## **2.5 CONSTRUCCIÓN DE ADOQUINES A PARTIR DE RIPIOS DEL CAMPO LA CIRA-INFANTAS**

Luego de obtener las muestras en el pozo RIG-118, se trasladaron hasta la ciudad de Bucaramanga, donde la empresa **Baldosines Santafé** con sus equipos respectivos se encargó de la elaboración de 6 adoquines a partir de los ripios

recolectados del equipo denominado limpiador de lodo o Mud Cleaner, el cual el operador eligió para asegurar una elaboración óptima en base a sus años de experiencia en esta industria y al tamaño de partícula presentado en la muestra.

En la tabla 2 se muestra la composición normalmente usada en la industria de adoquines y también la composición usada para elaborar los adoquines con ripios de perforación, el cual en cemento usado en estas pruebas es el cemento portland y arena obtenida después de pasarlo por una trituradora, todos estos materiales suministrados por la misma empresa adoquinera.

**Tabla 2 Relación de materiales por cada Kg de cemento**

<b>Relación de materiales por cada Kg de cemento</b>		
<b>Material</b>	<b>Relación en la industria [Kg]</b>	<b>Relación de prueba [Kg]</b>
Cemento	1	1
Agua	0,35	0,35
Arena	5,3	2,5
Ripios	0	2,5

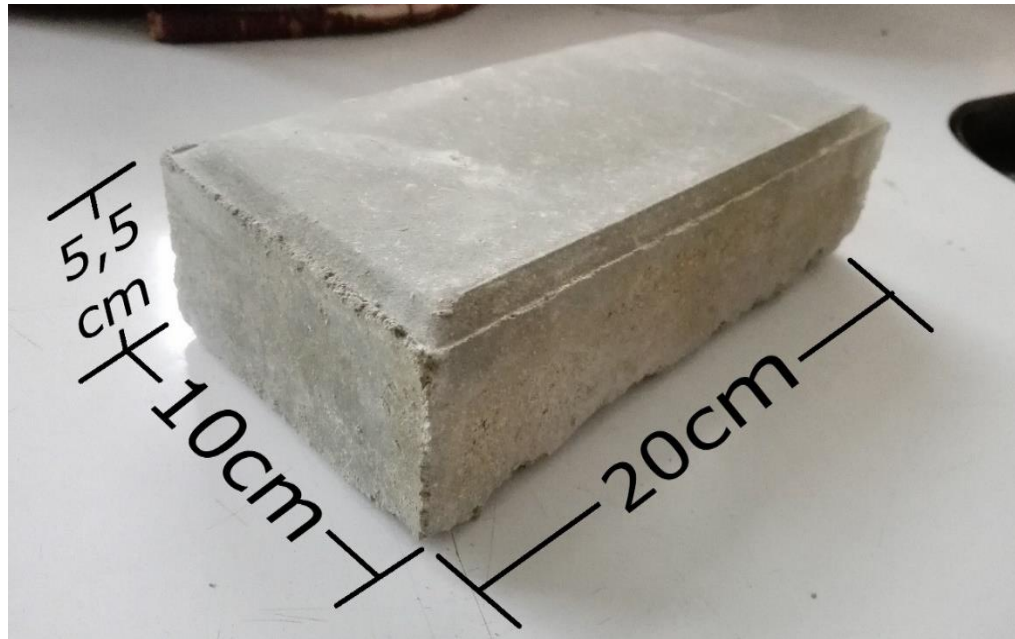
Fuente: Autores

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 ripios de perforación, lo cual se hace con el objetivo de aumentar el porcentaje de cemento para asegurar las propiedades del adoquín para las futuras pruebas de resistencia y cumplimiento de la norma técnica colombiana.

Después de mezclar estos materiales se dispone ahora a introducirlos en los moldes y someterlos a una presión de 3.000 Lb/cm<sup>2</sup>, se extraen y se dejan en un proceso de fraguado por 12 horas el cual consiste en evitar que los adoquines no sufran ningún daño ni un secado prematuro por la acción de los rayos directos del sol y de la acción de vientos fuertes, luego fueron dejados en reposo durante 10 días para que alcancen la resistencia deseada para su posterior uso.

El resultado final del adoquín hecho con ripios de perforación se observa en la figura 15.

**Figura 15: Adoquín construido con ripios del pozo RIG-118**



Fuente: Autores

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. El concepto de adoquín biselado se encuentra en la tesis *Estudio de la viabilidad técnico-ambiental para el uso de ripios de perforación como materia prima para la construcción de adoquines*, la cual surge como base para el desarrollo de esta tesis.

### **3. REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS DE RESISTENCIA ESTABLECIDAS POR LA NTC 2017**

Luego de tener los adoquines hechos con ripios de perforación, se deben realizar diversas pruebas a estos para verificar que cumplan con la normatividad establecida en Colombia.

Existen algunas especificaciones principales que debe cumplir el adoquín elaborado, dentro de las cuales encontramos:

- ✓ Absorción de agua (Aa%)
- ✓ Resistencia a la flexotracción (Módulo de Rotura)
- ✓ Resistencia a la abrasión

La norma técnica colombiana NTC 2017 (Segunda Actualización) muestra los valores establecidos y descripciones de las pruebas, lo cual se tomará como criterio para este capítulo.

#### **3.1 ABSORCIÓN DE AGUA (Aa%):**

Según la NTC 2017<sup>19</sup> los adoquines deben contar con un porcentaje no mayor al 7% de absorción de agua total (Aa%) como valor promedio

Se debe tomar una muestra representativa a la cual se le realizará la medición. El equipo necesario para esta prueba es:

- Una balanza con sensibilidad de 1g

---

<sup>19</sup> Norma Técnica Colombiana 2017. Adoquines de concreto para pavimentos. Editada por el Instituto de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) 2004. Pag 20.

- Un horno ventilado con temperatura controlada en entre 100°C y 115°C y con un volumen de al menos 2,5 veces al de los adoquines de muestra
- Uno o varios recipientes en los que se pueda sumergir completamente un adoquín

El procedimiento para realizar esta prueba consiste en dos pasos; secado y saturación.

**3.1.1 Secado:** Para el proceso de secado todas las muestras se deben secar simultáneamente en un horno ventilado a una temperatura entre 100°C y 115°C. Estos deben estar separados entre sí como mínimo 25 mm. Se deben secar hasta obtener una masa seca (Ms) constante.

Luego, las muestras deben retirarse del horno y se deben dejar enfriar, a temperatura ambiente, en un salón aireado, para seguir con el proceso de saturación.

**3.1.2 Saturación:** Luego de obtenida la masa seca, se deben sumergir las muestras durante 24h 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

Terminado 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 del agua y se deben dejar escurrir durante 1 minuto y se deben pesar inmediatamente para obtener su masa saturada o húmeda (Mh).

La absorción de agua (Aa)<sup>20</sup> del total de la masa de la muestra se debe calcular mediante la ecuación 2, con una aproximación del 0,1% entre cada muestra:

$$\text{Absorción}(Aa), \frac{kg}{m^3} = \left[ \frac{M_h - M_s}{M_h - M_a} \right] * 1000 \quad (\text{Ec. 2})$$

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

En donde:

Mh = Masa saturada (húmeda) de la muestra, g

Ms = Masa seca de la muestra, g

Ma = Masa inmersa en agua y suspendida de la muestra, g

### 3.2 RESISTENCIA A LA FLEXOTRACCIÓN O MÓDULO DE ROTURA (Mr):

Los adoquines deben cumplir los requisitos de resistencia a la flexotracción o módulo de rotura establecidos por la norma (Tabla 3).

**Tabla 3. Requisitos de resistencia a la flexotracción, Módulo de Rotura (Mr)**

Módulo de rotura (Mr), Mínimo, MPa	
Promedio	Individual
5,0	4,2
4,2	3,8

Fuente: Norma Técnica Colombiana 2017

La norma nos dice que se debe contar con una máquina para la determinación de la resistencia a la flexión la cual debe ser capaz de aplicar cargas de 20 kN.

<sup>20</sup> Norma Técnica Colombiana 2017. Adoquines de concreto para pavimentos. Editada por el Instituto de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) 2004. Pag 25.

Para realizar esta prueba se debe colocar en la máquina de ensayo cada muestra en la superficie de apoyo hacia abajo, de tal manera que el elemento que ejerce la carga coincida con la proyección del eje menor del rectángulo inscrito sobre la cara de desgaste.

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<sup>21</sup>. Para cada adoquín se debe calcular el módulo de rotura (Mr), según la ecuación 3.

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

En donde:

Mr = Módulo de rotura, MPa

Cmax = Carga Máxima de rotura, N

li = Longitud del rectángulo inscrito, mm

ar = Ancho real, mm

ai = Ancho del rectángulo inscrito, mm

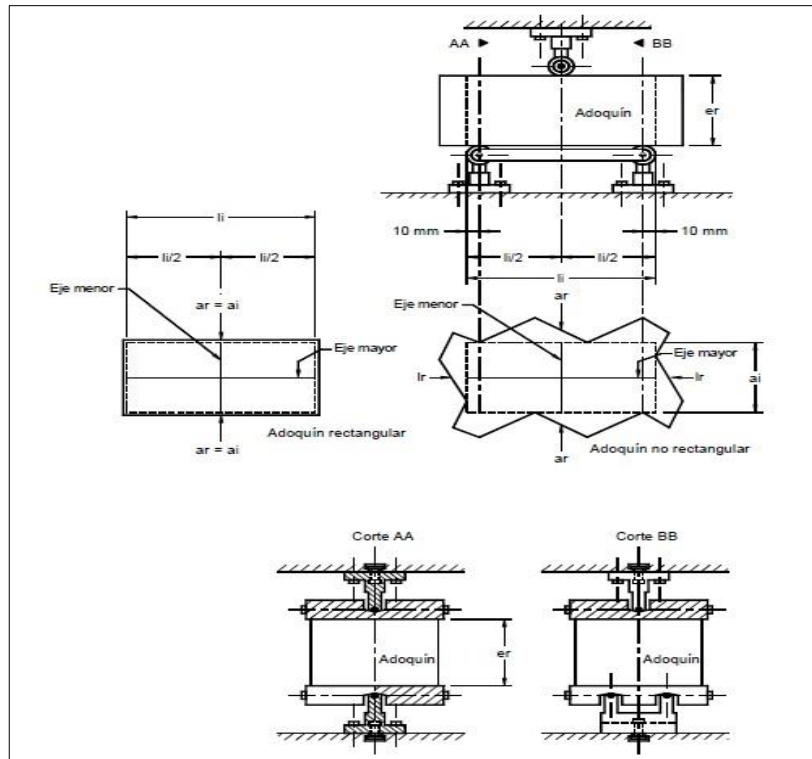
er = Espesor real, mm

Esta prueba se encuentra disponible en la Universidad Industrial de Santander (UIS), en el laboratorio de Resistencia de Materiales del “*Centro de Caracterización de Materiales de Construcción*”, perteneciente a la escuela de Ingeniería Civil.

---

<sup>21</sup> Ibid., Pag 26.

**Figura 16: Esquema de ensayo de flexión**



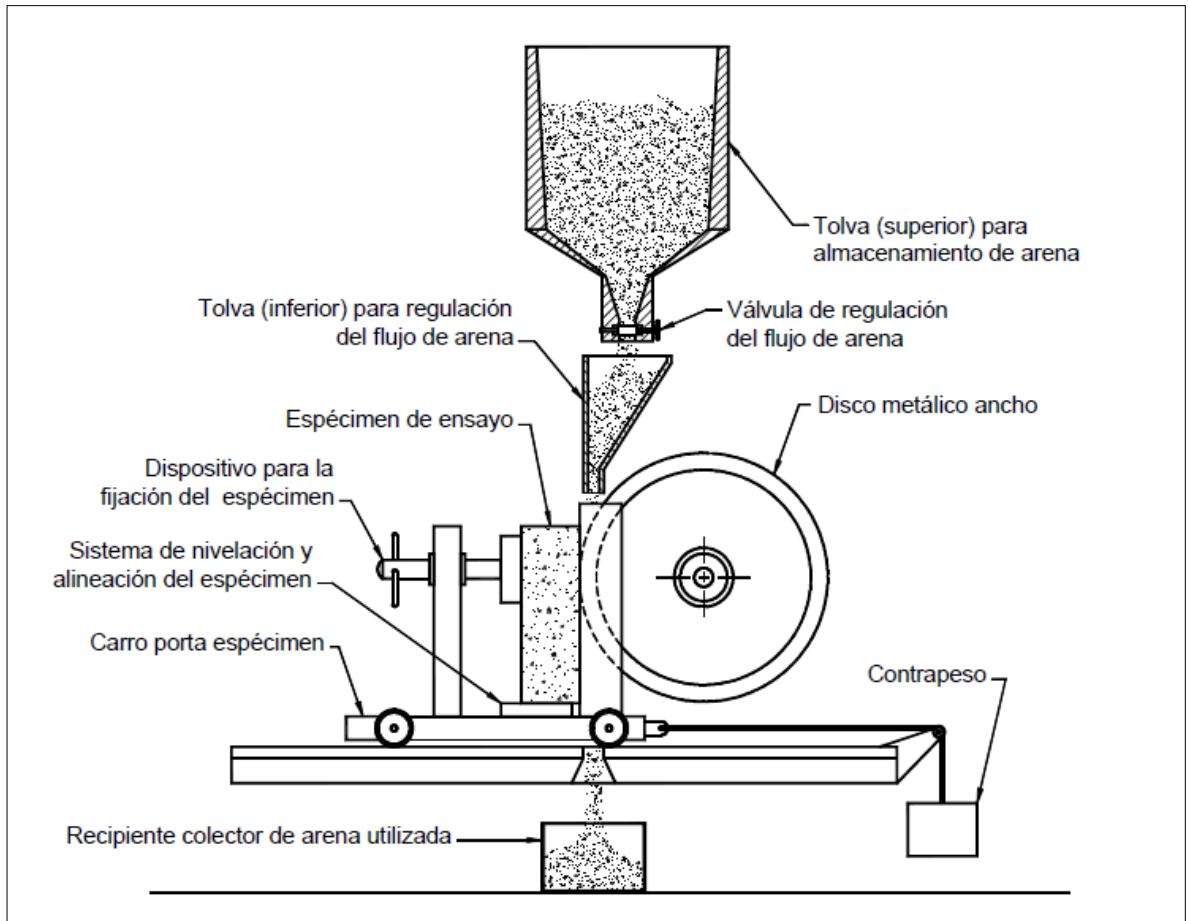
Fuente: Norma Técnica Colombiana 2017. Adoquines de concreto para pavimentos. Editada por el Instituto de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) 2004. Pág. 28.

### 3.3 RESISTENCIA A LA ABRASIÓN

El ensayo consiste en someter una muestra a desgaste por medio de la abrasión ejercida, bajo condiciones controladas, por un flujo de arena que pasa tangencialmente por entre dicha superficie y la cara lateral de un disco metálico que ejerce presión contra ella. 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>22</sup>

<sup>22</sup> 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.

**Figura 17. Componentes del aparato para el 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.

El procedimiento por seguir según lo establece la norma 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.

Luego se debe retirar el carro porta muestra, separándolo del disco metálico, y se debe colocar la muestra, de tal manera que la huella se produzca, al menos, a 15

mm de distancia de cualquier borde de esta. Se debe fijar la muestra, al carro porta muestra.

Y finalmente 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>23</sup>

### **3.4 RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXOTRACCIÓN**

Luego de tener las muestras de adoquines construidas a partir de los ripios obtenidos en campo, se llevaron hasta el *Laboratorio de caracterización de materiales* de la escuela de Ingeniería civil en la Universidad Industrial de Santander, junto con muestra de adoquines comerciales para realizar las comparativas entre ambos y verificar que cumplieran con la normatividad establecida. El equipo utilizado para esta prueba se observa en la figura 18, en la tabla 4 se observa los resultados obtenidos para cada adoquín. Se denominó espécimen P a los adoquines construidos con ripios y espécimen B a los adoquines comerciales.

---

<sup>23</sup> 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 8.

**Figura 18. Equipo de medición a la flexotracción Universidad Industrial de Santander**



Fuente: Autores

**Tabla 4 Resultados del ensayo a la Flexotracción en los adoquines**

ESPECIMEN	ID MUESTRA	CARGA MÁXIMA (N)	MODULO DE ROTURA (Mpa)
P	L5	6602,1	5,9
B	L6	8603,4	5,5

Fuente: Editada por los Autores

La norma establece un Módulo de rotura mínimo de 5 Mpa y en los resultados obtenidos por ambos adoquines se observa que están cumpliendo con la normatividad colombiana; aunque el adoquín elaborado con cortes de perforación soporta menos carga, sigue siendo óptimo para uso en infraestructura vial. En el Anexo A se adjunta los resultados originales emitidos por la escuela de ingeniería civil.

### 3.5 RESULTADOS DEL ENSAYO DE ABSORCIÓN DE AGUA

De igual forma en el ensayo de absorción de agua se acudió al *Laboratorio de caracterización de materiales* de la escuela de Ingeniería civil en la Universidad Industrial de Santander, donde se obtuvieron los resultados presentados en la tabla 5.

**Tabla 5. Resultados del ensayo de Absorción de Agua en los adoquines**

ESPECIMEN	PESO SECO (Kg)	PESO SATURADO (Kg)	ABSORCIÓN (%)
P	2400.8	2452.7	2.12
B	2324.0	2412.3	3.66

Fuente: Editada por los Autores

Para el caso del ensayo de absorción de agua la norma establece que los adoquines deben contar con un porcentaje no mayor al 7% de absorción de agua total. En los resultados obtenidos de laboratorio, se evidencia que los adoquines manejan porcentajes acordes a la normatividad vigente, lo cual los hace óptimos. En el Anexo B se adjunta los resultados originales emitidos por la escuela de ingeniería civil para esta prueba.

### 3.6 RESULTADOS DEL ENSAYO DE ABRASIÓN

En el caso de esta prueba se solicitaron los servicios del laboratorio de la Universidad Pontificia Bolivariana debido a que los laboratorios de la Universidad Industrial de Santander no se encontraban disponible, debido a daños en el equipo. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 6 y el equipo usado se muestra en la figura 19.

**Figura 19. Equipo de ensayo de Abrasión Universidad Pontificia Bolivariana**



Fuente: Autores

**Tabla 6. Resultados prueba de Abrasión en los adoquines**

N°	MUESTRA	DIMENSIONES		FACTOR DE CALIBRACIÓN (fc)	LONGITUD DE HUELLA (AB)	LONGITUD CORREGIDA (lh)
		LARGO (mm)	ANCHO (mm)			
1	MUESTRA P	105,00	103,00	20,30	18,70	18
2	MUESTRA B	100,00	101,00	20,30	17,11	17

Fuente: Anexo B, Editada por los Autores

La norma establece que el valor promedio de la longitud de huella no podrá ser superior a 23 mm, dando de esta manera cumplimiento a la normatividad en sus tres principales requerimientos. Por lo tanto, se considera viable la utilización de ripios de perforación como materia prima en la construcción de adoquines como alternativa de disposición final de cortes de perforación. En el Anexo B se adjunta

los resultados originales emitidos por los laboratorios de la Universidad Pontificia Bolivariana para esta prueba.

#### **4. ESTUDIO ECONOMICO DE LA ELABORACIÓN DE ADOQUINES TOMANDO RIPIOS DE PERFORACIÓN COMO MATERIA PRIMA**

Dada la importancia que tiene la perforación en el proceso de extracción de crudo, se debe resaltar el papel fundamental que tiene la disposición de los cortes producidos; ya que estos influyen directamente en el aspecto económico y ambiental del desarrollo de un campo.

Se evidencia la generación de grandes volúmenes de cortes durante las perforaciones de pozos en Colombia, volúmenes los cuales varían dependiendo de las profundidades alcanzadas. Debido a esto y al gran número de perforaciones realizadas surge la necesidad de buscar alternativas de disposición para cortes producidos, de tal manera que sea viable en lo largo de cualquier proyecto de producción de petróleo.

Para esta tesis se obtuvieron los recortes del campo La Cira-Infantas, en el pozo RIG-118 a una profundidad de 3970 ft. En este campo utilizan un proyecto denominado ZODCO (Zona de disposición de cortes), para la disposición final de los recortes producidos en todos los pozos perforados.

A partir de los datos obtenidos se presentará una alternativa para disponer los cortes producidos en este campo, comparando los costos de operación e implementación de cada una de las opciones.

#### 4.1 COSTOS DEL PROYECTO ZODCO:

En la actualidad disponer los cortes del campo La Cira mediante el proyecto ZODCO tiene un costo que está entre los \$4 USD y \$6 USD por barril, el cual varía dependiendo de la humedad final con la que se disponen los rípios.

Conociendo el costo de disposición por cada barril de cortes producidos, podemos determinar el costo de disposición a diferentes cantidades de volúmenes, tomando un costo medio de \$5 USD/BBI cortes y una TRM de COP \$2.800. Obteniendo de esta manera la tabla 7.

Para determinar los costos totales de disposición utilizamos la ecuación 4; teniendo en cuenta los siguientes valores:

TRM: \$2.800 COP/USD

USD/Bbl cortes = \$5

$$\text{Costo total de Disposición (ZODCO)} = \text{Bbbs de Cortes} * \$5 \frac{\text{USD}}{\text{Bbbs de Cortes}} * \text{TRM} \text{ (Ec. 4)}$$

**Tabla 7. Costos totales de disposición mediante el proyecto ZODCO**

<b>Barriles de Cortes (BBIs)</b>	<b>Costo total de Disposición (COP\$)</b>
1000	\$14'000.000
2000	\$28'000.000
3000	\$42'000.000
4000	\$56'000.000
5000	\$70'000.000
6000	\$84'000.000
7000	\$98'000.000
8000	\$112'000.000
9000	\$126'000.000

<b>Barriles de Cortes (BBIs)</b>	<b>Costo total de Disposición (COP\$)</b>
<b>10000</b>	<b>\$140'000.000</b>
11000	\$154'000.000
12000	\$168'000.000
13000	\$182'000.000
14000	\$196'000.000
15000	\$210'000.000

Fuente: Autores

**Tabla 8. Volumen de cortes producidos por un campo en Colombia**

<b>Cortes de Perforación</b>	<b>Sección 17 ½ “</b>	<b>Sección 12 ¼”</b>	<b>Sección 8 ½”</b>
<b>Pies Perforados</b>	996	5266	1123
<b>Total de Cortes Teóricos, Bbl</b>	296.4	768.0	78.9
<b>Por pie perforado, Bbl/ft</b>	0.30	0.15	0.07
<b>Total de cortes producidos, Bbl</b>	400.0	3000.0	1240
<b>Por pie perforado, Bbl/ft</b>	0.40	0.57	1.10

Fuente: Editada por los autores

En la tabla 8 se muestran los volúmenes producidos de un campo ubicado alrededor de Villavicencio, capital del departamento del Meta, donde se llevó a cabo una perforación hasta los 7345 ft de profundidad, y se generaron aproximadamente 4640 barriles de ripios. Estos datos pueden ser tomados como una media y representan las cantidades significativas que se pueden llegar a obtener durante un proceso de perforación.

## **4.2 COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA PARA CONSTRUIR ADOQUINES**

Al momento de estudiar las diversas alternativas que existen para la disposición final de los cortes producidos durante la perforación de un pozo, surge como posible solución el usar los ripios de perforación como materia prima para la construcción de adoquines, generando como producto final de la disposición un elemento que puede contribuir y disminuir los daños ambientales en las comunidades cercanas al campo.

Para la implementación de una planta básica de construcción de adoquines, se requiere una maquinaria mínima; la cual fue consultada con la empresa **ADOMAQUINAS DEL FUTURO LTDA**, con sede en el municipio de Mosquera, Cundinamarca y con más de 25 años de experiencia en la industria. Esta empresa se dedica a la fabricación, asesoría, capacitación del personal para el manejo de maquinaria hidráulica y semiautomática para la elaboración de bloques y adoquines.

### **4.2.1 MAQUINA HIDRAULICA SEMI-AUTOMATICA MODELO AF 0013**

Esta máquina, como se observa en la figura 20 es usada para la fabricación de losetas y adoquines, la cual se encuentra equipada con un gato hidráulico de una capacidad de 200 toneladas de presión; junto con dos tolvas que alimentan los carros que llevan el concreto al molde. Otras de las características de esta máquina son:

- ✓ Pantalla de 7 pulgadas
- ✓ Extractor de tabla operado por un gato hidráulico
- ✓ Unidad hidráulica con un motor de 10 caballos
- ✓ Sistema de vibración por medio de un motor vibrador de 500 kilos
- ✓ Sistema electrónico manipulado por medio de un pélese (P L S)

- ✓ Extractor de molde operado por dos gatos hidráulicos

**Figura 20: Máquina hidráulica semi-automática modelo AF 0013**



Autores: Adomaquinas del futuro LTDA

El diseño o el estampado del adoquín lo da un molde que trae la máquina de 40x40x6, definido por un caucho que suministra diferentes acabados dentro de los cuales pueden ser cuadráticos, lisos, táctil guía o tope rol. Los moldes se pueden cambiar entre medidas de 10x20x6, 10x20x8 y 20x20x6 según se deseen las especificaciones. Hay que tener en cuenta que para los moldes de 10x 20 salen 15 unidades por ciclo y los de 20x20 salen 6 unidades por ciclos.

#### **4.2.2 CARRO TRANSPORTADOR:**

El carro transportador, como se observa en la figura 21 sirve para movilizar los adoquines hasta una zona en la que puedan permanecer en secado, hasta que alcancen condiciones óptimas de consistencia y resistencia para el posterior uso

de estos. Las cotizaciones del carro transportado y de la máquina hidráulica se presentan en la tabla 9.

**Figura 21: Carro transportador**



Autores: Adomaquinas del futuro LTDA

**Tabla 9 Cotización en la empresa Adomaquinas del futuro LTDA**

CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO UNIT.
1	Máquina hidráulica semi-automática modelo AF 0013	\$120'000.000
1	Carro transportador	\$500.000
1	Molde para adoquín de 10x20x6 cms	\$15'000.000
1	Transporte	\$2'000.000
<b>IVA 19%</b>		\$26'125.000
<b>TOTAL</b>		<b>\$163'625.000</b>

Fuente: Editada por los autores

En las diferentes empresas productoras de adoquines se analizaron los costos de producción por unidad, y se obtuvieron rangos entre los \$400 y \$600 pesos colombianos dependiendo de las características. Al momento de utilizar los rípios de perforación como materia prima para la construcción de estos, se reducen los costos de producción hasta en un 85%; debido a que se reemplaza la mitad de la arena por rípios de perforación y no se adicionara agua debido a que la humedad

con la que son obtenidos los recortes es suficiente para construirlos. Obteniendo de esta manera un costo unitario de \$60 pesos colombianos.

#### 4.3 COMPARATIVA ECONÓMICO PROYECTO ZODCO VS CONSTRUCCIÓN DE ADOQUINES

Como se presentó anteriormente el proyecto ZODCO tiene un costo promedio de **\$5 USD/Bbl** de cortes dispuestos, lo cual implica un costo fijo a lo largo del tiempo. Para el caso de implementar una planta dedicada a la construcción de adoquines en el corregimiento de El Centro se necesitaría una inversión inicial de **\$163'625.000** pesos colombianos. Si igualamos la ecuación 4 al valor de la inversión inicial del proyecto y despejamos los *Bbbs de cortes*, podremos determinar a los cuantos barriles de cortes producido se igualan los costos; de lo cual nos queda la ecuación 5.

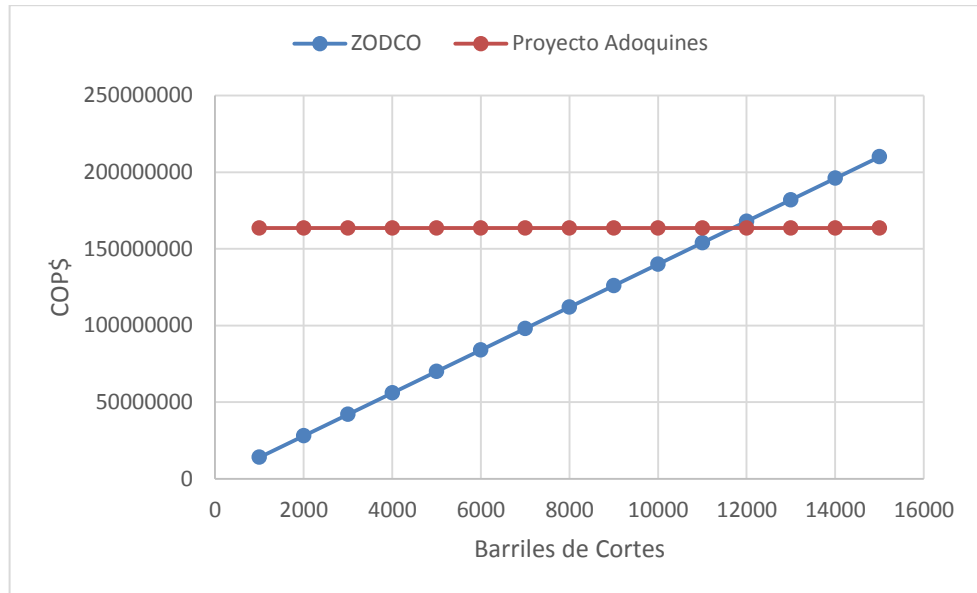
De la ecuación 5 se obtuvo que las curvas se cortan cercano a los 12.000 barriles de cortes dispuestos bajo el proyecto ZODCO y comparándolo con el costo inicial de inversión como se muestra en la figura 22.

$$Bbbs\ de\ Cortes = \frac{Inversión\ Inicial}{\$5 \frac{USD}{Bbbs\ de\ Cortes} * TRM} \quad (Ec. 5)$$

$$Bbbs\ de\ Cortes = \frac{163'625.000}{5 * 2800}$$

$$Bbbs\ de\ Cortes = 11687,5\ Bbbs$$

**Figura 22. Comparación Costo unitario proyecto ZODCO vs Inversión Inicial de Planta**



Fuente: Autores

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 aproximadamente cuantos adoquines se pueden construir por cada barril de cortes producidos. Para estos cálculos se asumirá que los moldes tendrán una medida de 10x20x6 cm, y se tendrán en cuenta los siguientes valores:

- $1 \text{ bbl} = 158987 \text{ cm}^3$
- $\text{Vol Adoquín} = 1200 \text{ cm}^3$
- $\text{Vol De Cortes} = 1200 \text{ cm}^3 * 85\% = 1020 \text{ cm}^3$

$$\text{Adoquines Construidos X Barril de Cortes} = \frac{158987 \text{ cm}^3}{\text{Vol Cortes}} \quad (\text{Ec. 6})$$

$$\text{Adoquines Construidos X Barril de Cortes} = \frac{158987 \text{ cm}^3}{1020 \text{ cm}^3} = 155 \text{ adoquines}$$

Desarrollando la ecuación 6 se logra obtener el número de adoquines que se pueden construir por cada barril de cortes producidos, que en este caso sería de 155 adoquines, manejando un 85% de cortes y un 15% de cemento para el proceso de construcción.

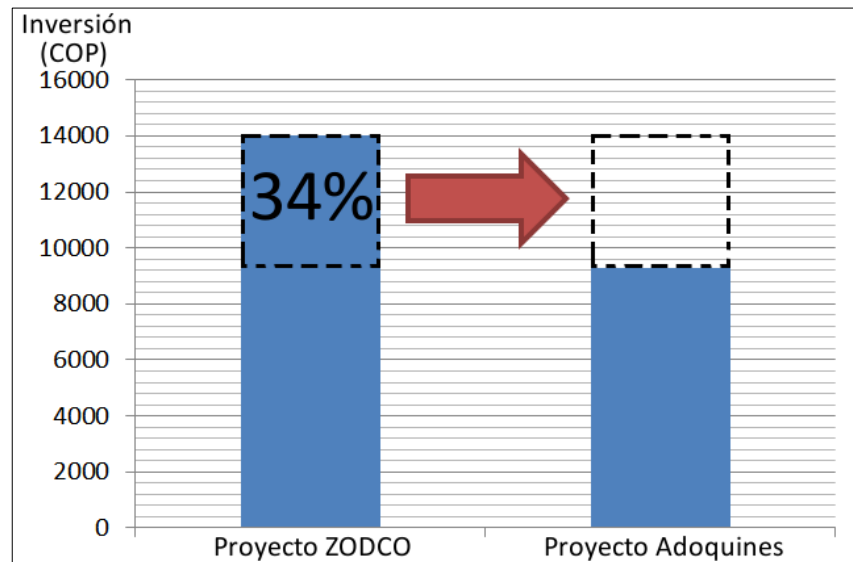
Con el valor unitario por adoquín y conociendo la producción de adoquines por cada barril de ripios; podemos determinar el costo de disposición de un barril de cortes con la alternativa presentada por medio de la ecuación 7.

$$\begin{aligned} \text{Costos Dispos. x Bbl de Cortes (Planta Adoquines)} \\ = \text{Costo Unitario} * \text{Adoq x Bbl (Ec. 7)} \end{aligned}$$

$$\text{Costos Dispos. x Bbl de Cortes (Planta Adoquines)} = \text{COP\$ } 60 * 155$$

$$\text{Costos Dispos. x Bbl de Cortes (Planta Adoquines)} = \text{COP\$ } 9300$$

**Figura 23. Análisis de costos de los proyectos**



Fuente: Autores

En la figura 23 se puede observar que se logra una reducción en costos de disposición del 34% a partir de la elaboración de adoquines por medio de ripios de perforación como materia prima. Con esto se demuestra la viabilidad técnico-económica del proyecto, la cual brinda a su vez una oportunidad de contribuir a las comunidades cercanas en materia de infraestructura vial y adecuación de senderos para parques localizados en el corregimiento de El Centro.

## 5. CONCLUSIONES

- La construcción de adoquines a partir de ripios de perforación como materia prima resultar ser una opción viable económicamente, debido a la reducción en costos que se evita al no necesitar los aditivos químicos que otros métodos implementan para llevarlos a condiciones óptimas de disposición.
- En el aspecto social, se generan impactos positivos en las comunidades cercanas a la operación que resultan siendo afectadas por las diferentes actividades realizadas por la industria; ya que, con la construcción de los adoquines se pueden proporcionar nuevos espacios y vías para estas comunidades, mitigando de esta forma muchas de las necesidades a las que a diario se enfrentan.
- Las formaciones arcillosas no son viables para desarrollar este tipo de proyectos, debido a su bajo contenido en arenas y alta compactación, que hacen difícil extraer de estas, materiales que sean de utilidad en la construcción de adoquines.
- Las perforaciones realizadas con lodos en base aceite resultan desfavorables al momento de adecuar los ripios producidos, ya que contaminan y hacen más difícil la separación entre el lodo y los recortes; lo cual termina afectando el porcentaje de humedad, impidiendo el cumplimiento con la normatividad vigente.
- Se logra reducir el impacto ambiental en la zona de perforación debido a que se reduce significativamente las cantidades de agua requeridas para preparar las piscinas que se utilizan para la disposición de los ripios.

- Se logra disminuir el espacio de la locación, ya que no serán necesarias bodegas de almacenamiento para los sacos de aditivos químicos que antes eran requeridos en grandes cantidades.

## 6. RECOMENDACIONES

- Generar más contacto entre la industria y las universidades, para facilitar de esta manera el acceso a la información que en muchos casos suele ser confidencial; lo cual resulta impactando negativamente muchos de los trabajos de investigación y truncando el avance científico de nuevas tecnologías y/o metodologías.
- Realizar un estudio de las zonas de Colombia en donde sea factible implementar este tipo de proyectos, teniendo en cuenta que las formaciones de areniscas son las ideales para el buen desarrollo de esta alternativa de disposición de ripios.
- Implementar este método en campos donde se realizaron perforaciones con lodos en base agua para garantizar el buen estado final de los recortes, para que estos puedan ser utilizados en la construcción de adoquines y estén en cumplimiento con la normatividad.
- Realizar la construcción de adoquines a partir de ripios como materia prima recolectando cortes de distintas formaciones y evaluando su factibilidad técnico-económica.

## BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE; Recommended Practices for Core Analysis, Practice 40, API Environmental health and safety mission and guiding principles. Second edition, February 1998.

ANH, Cuenca Llanos Orientales, Integración geológica de la digitalización y análisis de núcleos. 2012.

ARDILA MATEUS, Maryuri; ARENAS RUEDA, Félix. Metodología para el análisis e interpretación de resultados del laboratorio de análisis petrofísicos de la escuela ingeniería de petróleos. Universidad Industrial De Santander. Facultad de ciencias físico-químicas. Bucaramanga. 2010.

ARÉVALO GARZÓN, Samuel; TRIANA TAPIAS, María. Metodología para el tratamiento de ripsos de perforación en un pozo estratigráfico profundo. Bucaramanga: Universidad Industrial De Santander. Escuela Ingeniería de Petróleos. 2013.

BAROID. Fluids Handbook. Halliburton Company. Houston: USA. 2000.

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.

ENERGY API. Manual de fluidos de perforación. Dallas: Texas. 2014.

ESPINOSA FRANCO, Paula; GÓNGORA ZARMIENTO, Andrés. Aplicación de una metodología propuesta para el diagnóstico y el análisis de las causas raíz de los problemas operacionales durante la perforación de pozos en el campo castilla. Universidad De América. Facultad Ingeniería de Petróleos. 2016.

ICONTEC, Norma técnica colombiana, Adoquines de concreto para pavimentos, Segunda actualización, 2017.

MI SWACO. Curso de control de sólidos. 2004

TA-LIN, Chen; SUNLONG, Ling., ZSAY-SHIN, Lin., An Innovative Utilization of Drilling Wastes as Building Materials. SPE E&P Enviromental and Safety Conference held in Galveston, Texas, U.S.A., 2007.

VERACIERTA ALFARO, Luis. Evaluación de las técnicas realizadas por el centro de tratamiento y recuperación de desechos en el campo Hamaca, estado Anzoátegui. Teis de grado Ingeniero de Petróleos. Maturín; Venezuela: Universidad de oriente núcleo de Monagas. 2006

ZAMBRANO CARDOZO. María Del Mar; OSORIO ESCOBAR. Diego Alejandro. Estudio de la viabilidad técnico-ambiental para el uso de ripios de perforación como materia prima para la construcción de adoquines. Universidad Industrial de Santander. Facultad Ingeniería de petróleos. 2017

## ANEXOS

### Anexo A. Resultados prueba de Flexotracción Universidad Industrial de Santander



#### LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

##### INFORME DE RESULTADOS ENSAYO A FLEXIÓN

**FECHA DE ENSAYO** : ABRIL 30 DE 2018  
**CLIENTE** : JUAN SEBASTIAN ALVAREZ  
**MATERIAL** : ADOQUIN  
**NORMA DE REF** : NTC 2017  
**PROYECTO** : IMPLEMENTACIÓN DE RIPIOS DE PERFORACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE ADOQUINES

##### CONDICIONES DE ENSAYO

**EQUIPO** UNIVERSAL DE ENSAYOS MTS    **PUNTO DE CARGA**    CENTRICA AXIAL  
**TEMPERATURA** 24°C    **HUMEDAD**    75%  
**VELOCIDAD DE ENSAYO** 0.7m/s    **LONGITUD ENTRE APOYOS** 180mm

##### CARACTERISTICAS DEL ESPECIMEN

**LARGO Cm**    20    **ALTO Cm**    5,5    **ANCHO Cm**    10

##### RESULTADOS

ESPECIMEN	ID MUESTRA	CARGA MÁXIMA N	MODULO DE ROTURA Mpa
P	L5	6602,1	5,9

##### NOTA

- DECLARAMOS QUE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS REPORTADOS EN ESTE INFORME ESTAN RELACIONADOS CON LOS ESPECIMEN QUE SE HAN IDENTIFICADO Y ENSAYADO, LAS CUALES FUERON ENTREGADAS EN EL LABORATORIO DIRECTAMENTE POR EL CLIENTE.
- ESTE INFORME NO DEBE REPRODUCIRSE PARCIAL O TOTALMENTE SIN LA AUTORIZACION DEL CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION, ESCUELA INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.
- LA APLICACION Y EMPLEO DE LOS DATOS Y RESULTADOS REPORTADOS EN ESTE INFORME NO SON RESPONSABILIDAD DEL CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION, ESCUELA INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.
- LA INFORMACION DECLARADA EN ESTE INFORME ESTA BASADA EN LOS DATOS SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE, NO ES COMPETENCIA DEL LABORATORIO LA VERACIDAD DE DICHA INFORMACION.

**ENSAYO**  
**JAIME A. CADENA**  
Lab. Resistencia de Materiales

LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES  
Ciudad Universitaria, Carrera 27 – Calle 9, Edificio Álvaro Beltrán Pinzon  
PBX: (+57 7) 634 4000 Ext. 2487-2937 – FAX: (+57 7) 632 0744, Bucaramanga, Colombia  
E-mail labcivil@uis.edu.co





**LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

**INFORME DE RESULTADOS ENSAYO A FLEXIÓN**

**FECHA DE ENSAYO** : ABRIL 30 DE 2018  
**CLIENTE** : JUAN SEBASTIAN ALVAREZ  
**MATERIAL** : ADOQUIN  
**NORMA DE REF** : NTC 2017  
**PROYECTO** : IMPLEMENTACIÓN DE RIPIOS DE PERFORACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE ADOQUINES

**CONDICIONES DE ENSAYO**

**EQUIPO** UNIVERSAL DE ENSAYOS MTS **PUNTO DE CARGA** CENTRICA AXIAL  
**TEMPERATURA** 24°C **HUMEDAD** 75%  
**VELOCIDAD DE ENSAYO** 0.7m/s **LONGITUD ENTRE APOYOS** 180mm

**CARACTERISTICAS DEL ESPECIMEN**

**LARGO Cm** 20 **ALTO Cm** 6 **ANCHO Cm** 10

**RESULTADOS**

ESPECIMEN	ID MUESTRA	CARGA MÁXIMA N	MODULO DE ROTURA Mpa
B	L6	8603,4	5,5

**NOTA**

1. DECLARAMOS QUE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS REPORTADOS EN ESTE INFORME ESTAN RELACIONADOS CON LOS ESPECIMEN QUE SE HAN IDENTIFICADO Y ENSAYADO, LAS CUALES FUERON ENTREGADAS EN EL LABORATORIO DIRECTAMENTE POR EL CLIENTE.
2. ESTE INFORME NO DEBE REPRODUCIRSE PARCIAL O TOTALMENTE SIN LA AUTORIZACION DEL CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION, ESCUELA INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.
3. LA APLICACION Y EMPLEO DE LOS DATOS Y RESULTADOS REPORTADOS EN ESTE INFORME NO SON RESPONSABILIDAD DEL CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION, ESCUELA INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.
4. LA INFORMACION DECLARADA EN ESTE INFORME ESTA BASADA EN LOS DATOS SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE, NO ES COMPETENCIA DEL LABORATORIO LA VERACIDAD DE DICHA INFORMACION.

**ENSAYO**  
**JAIME A. CADENA**  
Lab. Resistencia de Materiales

**LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES**  
Ciudad Universitaria, Carrera 27 – Calle 9, Edificio Álvaro Beltrán Pinzón  
PBX: (+57 7) 634 4000 Ext. 2487-2937 – FAX: (+57 7) 632 0744, Bucaramanga, Colombia  
E-mail labcivil@uis.edu.co



## Anexo B. Resultados prueba de Absorción de Agua (UIS)



### LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

#### INFORME DE RESULTADOS ENSAYO DE ABSORCIÓN

**FECHA DE ENSAYO** : ABRIL 30 DE 2018  
**CLIENTE** : JUAN SEBASTIAN ALVAREZ  
**MATERIAL** : ADOQUIN  
**NORMA DE REF** : NTC 2017  
**PROYECTO** : IMPLEMENTACIÓN DE RIPIOS DE PERFORACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE ADOQUINES

#### RESULTADOS

ESPECIMEN	PESO SECO Kg	PESO SATURADO Kg	ABSORCIÓN %
B	2400.8	2452.7	2.12
P	2324.0	2412.3	3.66

#### Observaciones:

1 DECLARAMOS QUE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS REPORTADOS EN ESTE INFORME ESTAN RELACIONADOS CON LOS ESPECIMEN QUE SE HAN IDENTIFICADO Y ENSAYADO, LAS CUALES FUERON ENTREGADAS EN EL LABORATORIO DIRECTAMENTE POR EL CLIENTE.  
2 ESTE INFORME NO DEBE REPRODUCIRSE PARCIAL O TOTALMENTE, SIN LA AUTORIZACION DEL CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION, ESCUELA INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.  
3 LA APLICACION Y EMPLEO DE LOS DATOS Y RESULTADOS REPORTADOS EN ESTE INFORME NO SON RESPONSABILIDAD DEL CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION, ESCUELA INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.  
4 LA INFORMACION DECLARADA EN ESTE INFORME ESTA BASADA EN LOS DATOS SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE, NO ES COMPETENCIA DEL LABORATORIO LA VERACIDAD DE DICHA INFORMACION.


Ensayo  
**Jaime A. Cadena**  
Lab. Resistencia de Materiales

LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES  
Ciudad Universitaria, Carrera 27 – Calle 9, Edificio Alvaro Beltrán Pinzón  
PBX: (+57 7) 634 4000 Ext. 2487-2937 – FAX: (+57 7) 632 0744, Bucaramanga, Colombia  
E-mail: labcivil@uis.edu.co



## Anexo C. Resultados prueba de Abrasión Universidad Pontificia Bolivariana

001280

REPORTE DE ENSAYO																													
 <b>Universidad Pontificia Bolivariana</b> <small>REGIONAL BUCARAMANGA</small> <b>VIGILADA MINEDUCACIÓN</b> Km 7 via Piedecuesta	OBRA:		PROYECTO		FECHA DE INFORME:																								
	SOLICITADO POR:		JUAN SEBASTIAN ALVAREZ TOLE		jueves, 03 de mayo de 2018																								
MUESTRAS:		2	N° DE ENSAYOS:		2	FECHA DE ENSAYO:																							
METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE MATERIALES, PARA PISOS Y PAVIMENTOS, MEDIANTE ARENA Y DISCO		DESCRIPCIÓN:			ADOQUIN																								
CODIGO DE INFORME:		RES-18-48	INFORME N°:		30	OPERADOR:																							
					Sergio Alvarez Naranjo																								
					PÁGINAS: 1 de 1																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">N°</th> <th rowspan="2">MUESTRA</th> <th colspan="2">DIMENSIONES</th> <th rowspan="2">FACTOR DE CALIBRACIÓN (Fc)</th> <th rowspan="2">LONGITUD DE HUELLA (AB)</th> <th rowspan="2">LONGITUD CORREGIDA (lh)</th> </tr> <tr> <th>LARGO (mm)</th> <th>ANCHO (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>MUESTRA P</td> <td>105,00</td> <td>103,00</td> <td>20,30</td> <td>18,70</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>MUESTRA B</td> <td>100,00</td> <td>101,00</td> <td>20,30</td> <td>17,11</td> <td>17</td> </tr> </tbody> </table>							N°	MUESTRA	DIMENSIONES		FACTOR DE CALIBRACIÓN (Fc)	LONGITUD DE HUELLA (AB)	LONGITUD CORREGIDA (lh)	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	1	MUESTRA P	105,00	103,00	20,30	18,70	18	2	MUESTRA B	100,00	101,00	20,30	17,11	17
N°	MUESTRA	DIMENSIONES		FACTOR DE CALIBRACIÓN (Fc)	LONGITUD DE HUELLA (AB)	LONGITUD CORREGIDA (lh)																							
		LARGO (mm)	ANCHO (mm)																										
1	MUESTRA P	105,00	103,00	20,30	18,70	18																							
2	MUESTRA B	100,00	101,00	20,30	17,11	17																							
OBSERVACIONES:																													
LOS RESULTADOS SON VÁLIDOS ÚNICAMENTE PARA LAS MUESTRAS ENSAYADAS																													
SE PROHIBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PRESENTE INFORME																													
FIN DEL REPORTE																													

Fecha de reporte: 3/05/2018

pagina:1 de 1

Aprobado: Ing.   
 Nohora Emma Monsalve Peña  
 Coordinadora De Laboratorio