

**ESTUDIO DE LA VIABILIDAD TÉCNICO-AMBIENTAL PARA EL USO DE
RIPIOS DE PERFORACIÓN COMO MATERIA PRIMA PARA LA
CONSTRUCCIÓN DE ADOQUINES**

MARÍA DEL MAR ZAMBRANO CARDOZO

DIEGO ALEJANDRO OSORIO ESCOBAR

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA**

2017

**ESTUDIO DE LA VIABILIDAD TÉCNICO-AMBIENTAL PARA EL USO DE
RIPIOS DE PERFORACIÓN COMO MATERIA PRIMA PARA LA
CONSTRUCCIÓN DE ADOQUINES**

MARÍA DEL MAR ZAMBRANO CARDOZO

DIEGO ALEJANDRO OSORIO ESCOBAR

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de

INGENIERO DE PETRÓLEOS

Director:

JIMENA LIZETH GÓMEZ DELGADO

INGENIERA DE PETROLEOS

ESPECIALISTA EN PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS

BUCARAMANGA

2017

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por permitirnos este logro tan importante en nuestra vida. A nuestros padres cuyo apoyo fue siempre incondicional, a nuestros amigos y conocidos, y todas aquellas personas que estuvieron allí para nosotros cuando más lo necesitamos. A la ingeniera Jimena por confiar en este trabajo y por su soporte, apoyo y acompañamiento constante. A la Universidad Industrial de Santander, por hacernos los profesionales que somos hoy.

DEDICATORIA

Presento la dedicatoria de este trabajo a Dios, por darme la fuerza espiritual, sabiduría y fortaleza para alcanzar este triunfo, a mis abuelos, a mi madre y a mi padre, mis hermanos que han sido un gran apoyo en todo este proceso y han sido mis guías para tomar las mejores decisiones.

A aquellas grandes personas que han estado conmigo en los momentos más significativos de este camino, y a los cuales considero mis amigos.

Diego Alejandro Osorio Escobar

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a Dios, quien no me ha olvidado aún cuando en muchos momentos lo hice. A mi papá, quien me fortaleció con paciencia, en especial a mi mamá cuyo apoyo incondicional y esfuerzo fue lo que hizo que esta etapa de mi vida pudiera cumplirse a cabalidad, por enseñarme que todo es posible si tengo Fe y constancia, gracias a ella soy lo que hoy soy, ella es mi madre y también mi mejor amiga y compañera de vida.

A mi hermano quien nunca ha dejado de velar por mí, aún en nuestras diferencias; mi compañía y respaldo estando lejos de casa.

A mis amigos, conocidos, profesores, que estuvieron para mí; compinches y quienes me consideraron una persona “enemiga”; con quienes compartí en el transcurso de este camino; a todos ellos porque en presencia de cada situación difícil aprendí a ser fuerte y mantenerme en mis criterios. A todos, porque me han forjado lo que soy.

María del Mar Zambrano Cardozo

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	16
1. GENERALIDADES DE LOS FLUIDOS DE RETORNO EN EL PROCESO DE PERFORACIÓN.....	17
1.1. FLUIDOS DE PERFORACIÓN.....	17
1.2. COMPOSICIÓN DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN.....	18
1.3. TIPOS DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN.....	19
1.4. FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASE ACEITE.....	20
1.5. FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA.....	21
1.6. RIPIOS DE PERFORACIÓN.....	26
1.6.1. Efecto de los ripios durante la perforación.....	26
1.6.2. Composición de los ripios de perforación.....	27
1.7. DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN LITOLÓGICA DE LOS RIPIOS DE PERFORACIÓN.....	27
1.7.1. Caracterización litológica en la cuenca de los Llanos Orientales.....	29
1.7.2. Caracterización litológica en la cuenca del Valle Medio del Magdalena.....	31
2. TRATAMIENTO EN RIPIOS DE PERFORACIÓN.....	33
2.1. REFERENCIA LEGAL PARA EL MANEJO Y CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS PRODUCTO DE ACTIVIDADES PETROLERAS.....	33
2.1.1. Decreto 2811 del 18 de diciembre de 1974.....	33
2.1.2. Decreto número 4741 de 2005 - 30 dic 2005.....	34
2.1.3. Normas internacionales relacionadas que regulan el manejo de residuos sólidos peligrosos en Colombia.....	35
2.2. SEPARACIÓN DE LOS RIPIOS DE PERFORACIÓN.....	36
2.2.1. Tratamiento primario del lodo.....	36
2.2.2. Métodos aplicados para el control de sólidos.....	36
2.2.3. Equipos para el control de sólidos.....	37

2.3. MANEJO Y DISPOSICIÓN DE RIPIOS DE PERFORACIÓN.....	45
2.3.1. Técnicas convencionales.	45
2.3.2. Tratamiento y disposición final.	46
3. ANÁLISIS DE FACTORES MEDIOAMBIENTALES INVOLUCRADOS.....	53
3.1. TOXICIDAD Y EFECTO DE CONTAMINANTES DE LOS RIPIOS DE PERFORACIÓN EN SUELOS.....	54
3.2. VALORES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LA DISPOSICIÓN DE CORTES DE PERFORACIÓN.....	57
3.3. DESVENTAJAS DE LOS MÉTODOS CONVENCIONALES PARA LA DISPOSICIÓN DE LOS RIPIOS DE PERFORACIÓN.....	59
3.3.1. Confinamiento en piscinas y celdas.....	59
3.3.2. Celdas y terrazas.	60
3.3.3. Desorción térmica.	61
3.4. CONSECUENCIAS DEBIDO A LA INCORRECTA GESTIÓN DE LOS PROCESOS DE BIORREMEDIACIÓN.....	62
4. NORMATIVIDAD COLOMBIANA REFERENTE A LA ELABORACIÓN DE ADOQUINES.	63
4.1. PARTES DE UN ADOQUIN.	63
4.2. CLASIFICACIÓN.	66
4.2.1. Según la geometría general.	66
4.2.1.1. Debido a la unidad.	66
4.2.1.2. Debido a sus aristas.....	69
4.2.1.3. Debido a los separadores.	70
4.2.1.4. Debido a la forma.	71
4.2.1.5. Según la masa de concreto.....	77
4.3. REQUISITOS FÍSICOS.	79
4.3.1. Geométricos.	79
4.3.1.1. Dimensiones.	79
4.3.2. Absorción de agua.	83
4.3.3. Resistencia a la flexotracción (módulo de rotura (Mr)).	83

4.3.4. Resistencia a la abrasión.	84
4.4. ADOQUINES EN UNA EMPRESA SANTANDEREANA.	85
5. ESTADO DEL ARTE DE LOS RIPIOS DE PERFORACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN	89
5.1. UTILIZACIÓN INNOVADORA DE RESIDUOS DE PERFORACIÓN COMO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.	89
5.1.1. Análisis de Toxicidad.	89
5.1.2. Análisis de humedad, cenizas y contenido orgánico.	90
5.1.3. Análisis de difracción de rayos X.	91
5.1.4. Pretratamiento de la muestra.	91
5.1.5. Manufactura del bloque permeable.	94
5.1.6. Análisis de resultados.	95
5.2. UTILIZACIÓN DE RECORTES DE PERFORACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE LOCACIONES	96
5.3. REUTILIZACIÓN DE LOS RIPIOS DE PERFORACIÓN EN BASE AGUA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN.	98
5.3.1. Propiedades mecánicas de ripios de perforación base agua, utilizados.	98
5.3.2. Desarrollo de pruebas.	99
5.3.2.1. Resistencia a la Compresión inconfiada en ladrillos.	100
5.3.2.2. Prueba de Lixiviación en ladrillos.	101
5.3.3. Resultados.	102
5.4 ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	103
6. CONCLUSIONES	104
7. RECOMENDACIONES.	105
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.	106
BIBLIOGRAFÍA.	109
ANEXOS	112

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Funciones de los lodos de perforación	18
Figura 2. Sistemas de lodo base aceite.	21
Figura 3. Clasificación de los tamaños de partículas	28
Figura 4. Zarandas vibratorias.....	38
Figura 5. Hidrociclón.	39
Figura 6. Desarenador.	40
Figura 7. Desarcillador.	41
Figura 8. Esquema de funcionamiento de un limpiador de lodo.	42
Figura 9. Limpiador de lodo convencional.	43
Figura 10. Esquema de centrífuga decantadora	44
Figura 11. Centrífuga decantadora convencional.	44
Figura 12. Catch Tank.....	45
Figura 13. Confinamiento de ripios	47
Figura 14. Fosas de disposición de ripios.....	47
Figura 15. Composting	48
Figura 16. Landfarming	49
Figura 17. Inyección de ripios.....	51
Figura 18. Elementos que pueden causar daño al medio ambiente.....	55
Figura 19. Confinamiento en piscinas y celdas.	60
Figura 20. Celdas y terrazas.....	61
Figura 21. Desorción térmica.....	62
Figura 22. Partes de un adoquín.....	65
Figura 23. Partes de un adoquín (corte).	65
Figura 24. Adoquín estándar.....	66
Figura 25. Adoquín drenante, no biselado.....	67
Figura 26. Unidad complementaria, "media a lo largo"	68
Figura 27. Unidad complementaria, "media a lo ancho".	68
Figura 28. Unidad especial "mitra"	68
Figura 29. Adoquín biselado.....	69
Figura 30. Adoquín parcialmente biselado.....	69
Figura 31. Adoquín no biselado.....	70
Figura 32. Adoquín con separador.....	70
Figura 33. Adoquín sin separador.	70
Figura 34. Adoquín tipo 1 "Rectangular recto" (holandés).	71
Figura 35. Adoquín tipo 1 "Rectangular angulado" (Uni stone).	72

Figura 36. Adoquín tipo 1 "Rectangular ondulado".....	72
Figura 37. Adoquín tipo 1 (Uni-Decor).	72
Figura 38. Adoquín tipo 1 (Super-Decor).	73
Figura 39. Adoquín tipo 1 "Doble hexágono", "corbatín".	73
Figura 40. Adoquín tipo 1 (V).	73
Figura 41. Adoquín tipo 2 "Cruz".	74
Figura 42. Adoquín tipo 2 "Hueso de perro", "I".	75
Figura 43. Adoquín tipo 2 "Volverbund".	75
Figura 44. Adoquín tipo 2 "Trébol" (Eskoo-Six, Delta).	75
Figura 45. Adoquín tipo 3 (Clásico).	76
Figura 46. Adoquín tipo 3 (Simetría).	76
Figura 47. Adoquín tipo 3 y su rectángulo inscrito.....	77
Figura 48. Adoquín bicapa.	78
Figura 49. Ubicación Empresa constructora de Adoquines.	85
Figura 50. Distancia a la locación desde Bucaramanga.....	86
Figura 51. Arena Utilizada en el proceso.	87
Figura 52. Arena de Grano Fino Utilizado.....	87
Figura 53. Arena de Grano Grueso Utilizado.....	88
Figura 54. Adoquín Bicapa.....	88
Figura 55. Muestra de ripios secos.	92
Figura 56. Distribución del tamaño de partícula de ripios del pozo 1.....	93
Figura 57. Distribución del tamaño de partícula de ripios del pozo 2.....	93
Figura 58. Distribución del tamaño de partícula de ripios del pozo 3.....	94
Figura 59. Bloques construidos a partir de ripios de perforación.....	96
Figura 60. Mezcla de ripios con material calcáreo.....	97

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Sistema BARASILIC.	22
Tabla 2. Sistema CARBONOX/Q-BROXIN.	23
Tabla 3. Sistema EZ-MUD.	23
Tabla 4. Sistema Gyp/Q-BROXIN.	24
Tabla 5. Sistema KOH/K-LIG	24
Tabla 6. Sistema SAL SATURADA.	25
Tabla 7. Clasificación de los sólidos de acuerdo al tamaño	28
Tabla 8. Caracterización litológica según las formaciones que forman parte de los Llanos Orientales	30
Tabla 9. Caracterización litológica según las formaciones que forman parte del Valle Medio del Magdalena	31
Tabla 10. Aspectos del Decreto 2811 de 1974 para el ambiente como patrimonio	34
Tabla 11. Aspectos del Decreto 4741 de 2005 para la prevención, regulación y manejo de residuos/desechos peligrosos.	34
Tabla 12. Grados de toxicidad.	56
Tabla 13. Aditivos tóxicos de ripios cuyos lodos son base agua.	56
Tabla 14. Valores máximos permisibles.	57
Tabla 15. Nivel de regulación de una sustancia contaminante.	58
Tabla 16. Confinamiento en piscinas y celdas, desventajas.	59
Tabla 17. Celdas y terrazas, desventajas.	60
Tabla 18. Desorción térmica, desventajas.	61
Tabla 19. Requisitos de flexotracción o módulo de rotura (Mr).	84
Tabla 20. Resultados análisis TCLP.	90
Tabla 21. Propiedades de los ripios de perforación.	91
Tabla 22. Resultados prueba difracción de rayos X.	91
Tabla 23. Resultado de pruebas para Bloque permeable.	95
Tabla 24. Propiedades mecánicas en ripios de perforación base agua.	98
Tabla 25. Celdas de muestreo de ripios de perforación.	99
Tabla 26. Composición ladrillos experimentados.	100
Tabla 27. Resistencia a la compresión inconfiada de ladrillos.	101
Tabla 28. Toxicidad de ladrillos con ripios de perforación.	102
Tabla 29. Características principales de los ripios de perforación	103

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Sistemas de fluidos de perforación base agua.....	112
ANEXO B. Decreto número 2811 de 1974	118
ANEXO C. Decreto 4741 del 2005	121
ANEXO D. Lista de residuos o desechos peligrosos por procesos o actividades	127

INTRODUCCIÓN

Son miles de pozos de petróleo los que se perforan cada año y generan grandes cantidades de residuos sólidos, cuyo manejo representa un problema para las empresas operadoras ya que se trata de un contaminante peligroso para el medio ambiente y su disposición debe ser tratada con especial cuidado. Un porcentaje de estos residuos sólidos, está representado por los recortes que se generan en estos procesos de perforación. Si bien, han surgido disposiciones como la reinyección de éstos en formaciones aisladas mediante el fracturamiento hidráulico, que posee la capacidad de eliminar estos desechos in-situ; también se generan visiones diferentes para estos llamados “desechos”. La reutilización de los materiales que se titulan como residuos, es un movimiento por el cual está apostando la industria en la actualidad; y es ver en los desechos o residuos, materias primas para realizar otro tipo de materiales. Es así como los recortes que se generan en procesos de perforación, han sido en los últimos años, objeto de estudio y tratamiento para ser usados en construcción de diferentes materiales, eso para evitar la contaminación ambiental que conlleva el hecho de disponer de ellos en piscinas, o hacer proyectos de reinyección por medio de procesos de fracturamiento hidráulico, que necesitan altos contenidos de agua, adición de químicos, y que además no aseguran que las zonas aledañas a la formación, no vayan a ser contaminadas.

Los adoquines son bloques que se han utilizado desde hace muchos años como material de construcción de andenes y fachadas de edificios y casas, cuya materia prima es la grava. El reto que se maneja es el de utilizar la grava de los recortes generados en procesos de perforación, para la elaboración de adoquines; esto para contribuir no sólo al impacto ambiental que generan estos residuos

peligrosos, sino también a contribuir de forma positiva con los peligros que conllevan en la industria de la construcción el hecho de explotar canteras.

1. GENERALIDADES DE LOS FLUIDOS DE RETORNO EN EL PROCESO DE PERFORACIÓN

En todo proceso de perforación, la broca tritura las rocas de la formación, produciendo gran cantidad de recortes de material sólido que se mezclan con el fluido de perforación que se bombea hasta el fondo y que son extraídos del pozo hacia la superficie. Estos recortes de roca, mezclados con el fluido de perforación, son también conocidos como cortes, o ripios de perforación.

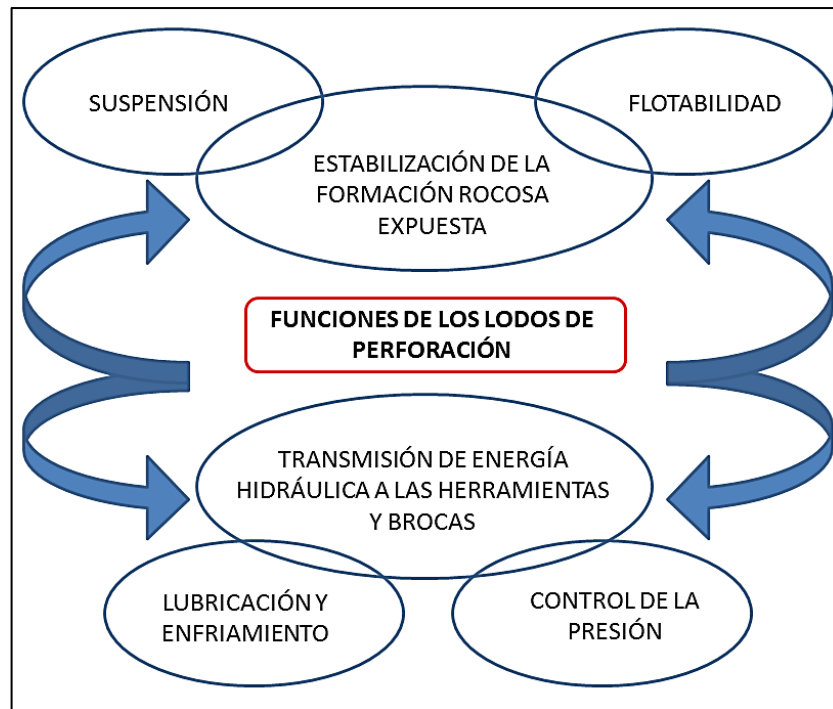
1.1. FLUIDOS DE PERFORACIÓN.

El fluido de perforación es un líquido que se prepara con una gran variedad y cantidad de aditivos minerales y químicos, que se eligen dependiendo de las características del lugar a perforar y que se bombean al pozo para actuar como lubricante y refrigerante de la broca, para estabilizar las paredes del pozo y al tiempo para utilizarse como herramienta para levantar la roca que va siendo removida por la broca, es decir; los ripios de perforación. Se debe tener en cuenta que los lodos y los fluidos son altamente contaminantes debido a los metales pesados, los recortes extraídos y otros fluidos con los que haya podido haber contacto durante el proceso de perforación.

Según lo anterior, los fluidos de perforación disminuyen los riesgos de la operación que se originan por las condiciones abrasivas de presiones y temperaturas del

pozo, y que se dan durante la perforación. En la Figura 1, se puede apreciar las funciones que cumplen estos fluidos.

Figura 1. Funciones de los lodos de perforación



Fuente: Manual de fluidos de Perforación, API. Modificado por los autores

1.2. COMPOSICIÓN DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN.

La composición de los fluidos de perforación que son utilizados en un pozo, se determina a partir del tipo de formación que se va a perforar, así como también las condiciones de fondo de pozo. Existen unos factores que se deben tener en cuenta al momento de decidir dicha composición:

- La alta viscosidad y mucho peso en el lodo de perforación: Sirven para ejercer un mejor control sobre los efectos de ciertos parámetros en fondo de pozo, como la entrada de fluido de alta presión dentro del pozo o arremetida; que puede causar emergencias como en el caso de un reventón.
- La baja viscosidad y poco peso en el lodo de perforación, con lo que se logra un mayor caudal de penetración.

1.3. TIPOS DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN.

Los fluidos de perforación se clasifican según su base, ésta puede estar conformada por agua salada, salmueras, agua dulce, aceite sintético, aceite mineral no tóxico o aceite diésel; de esta forma existen entonces fluidos de perforación base aceite, sintéticos, neumáticos y fluidos de perforación base agua; todos ellos utilizados de acuerdo a la mojabilidad de la roca, la litología de la formación, presiones, así como también la temperatura, el diseño del pozo, entre otros, buscando siempre facilitar la perforación de las formaciones y la no contaminación de la zona productora. Por otro lado, la fase sólida de los fluidos de perforación, se compone normalmente de materiales viscosificantes naturales o poliméricos, sales como el Cloruro de Sodio, Cloruro de Potasio, Cloruro de Calcio; y densificantes como la Barita y el Carbonato de Calcio entre muchos otros químicos adicionales.

Es importante conocer los fluidos de perforación que serán empleados, en este caso los de uso más común (base agua y base aceite) para poder establecer un posterior procesamiento de adecuación como materia prima para la construcción

de adoquines, debido a que los recortes de perforación que son extraídos, se encuentran impregnados de estos fluidos de perforación.

1.4. FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASE ACEITE.

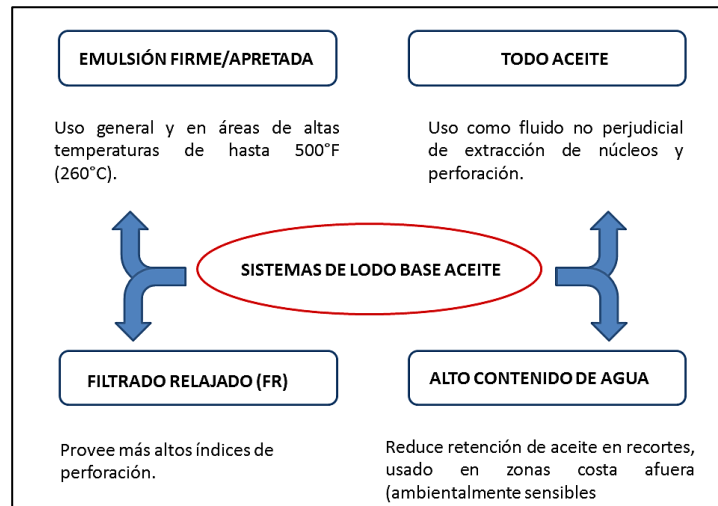
Es un fluido de perforación cuya fase continua o externa, es un aceite, como el diésel o aceite mineral, también es conocido como lodo de emulsión inversa. Son útiles en la perforación de arcillas que generen problemas y también para mejorar la estabilidad del pozo. Estos lodos son resistentes a contaminantes como la anhidrita, gases ácidos como el Dióxido de Carbono y Ácido sulfhídrico, y sales; son útiles en pozos que manejen altas presiones y temperatura minimizando los daños causados a la formación y debido a su alto grado de lubricidad y capacidad de prevenir la hidratación de las arcillas, pueden ser usados en la perforación de pozos con alto grado de desviación.

En las propiedades de los lodos base aceite influyen los siguientes factores [1]:

- Relación aceite/agua
- tipo y concentración del emulsificante
- Contenido en sólidos
- Temperatura y presión de pozo a profundidad

En la Figura 2 que se presenta a continuación, se pueden apreciar los sistemas de lodo base aceite y los usos principales de estos diferentes sistemas.

Figura 2. Sistemas de lodo base aceite.



FUENTE: Manual de Fluidos de Perforación, Baroid. Modificado por los autores.

1.5. FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA.

Son los fluidos más comunes, compuestos por sustancias coloidales que son normalmente preparadas con bentonita comercial (sílice y alúmina pulverizada) y cuya fase continua es el agua; que es favorable para generar la formación de la torta en la pared del pozo. Materiales como la baritina (proveniente del sulfato de bario) son agregados por su peso, para que la presión domine las presiones encontradas a medida que se perforan las formaciones. Generalmente se recurre al uso de sustancias químicas, con la finalidad de mantener la viscosidad, evitar pérdidas de filtración, pH y hacer un buen manejo del contenido de sólidos. Éstos son los fluidos más utilizados debido a su bajo costo de operación y bajo impacto ambiental comparado con los otros fluidos de perforación existentes. Los lodos a base de agua, de acuerdo a lo anterior, son los siguientes:

- Lodos naturales
- Lodos fosfato

- Lodos agua bentonita
- Lodos de yeso
- Lodos de cal
- Lodos tratados con calcio
- Lodos de agua salada
- Lodos de lignosulfonato

Cada uno de estos fluidos, tiene ciertos aditivos químicos que se agregan según lo necesario en el proceso de perforación. En las Tablas 1 a la 6 se muestran algunas de las composiciones químicas de los diferentes sistemas de lodos existentes y en el Anexo A, se muestran los 6 sistemas restantes. [1]

Tabla 1. Sistema BARASILIC.

ADITIVO	FUNCIÓN	CONCENTRACIONES TÍPICAS lb/bbl
Carbonato de Sodio	Removedor de calcio	Según se requiera
Soda Cáustica	Fuente de alcalinidad	
BARASIL-S	Estabilizador de formación	40-80
DEXTRID	Agentes de control de pérdida de fluido	2-8
FILTER-CHEK		0.5- 4
PAC		0.2-2.5
BARAZAN PLUS	Viscosificador	Según se requiera
BAROID	Densificante	1-10
*AQUAGEL	Viscosificador/ agente de suspensión	3-5 % en volumen
*GEM GP/CP	Mejoramiento lubricidad ROP	0.5-4
*BARACOR 95	Secuestrante/ amortiguador de CO2	Según se requiera
*BARA-DEFOAM HP	Desespumante	0.2-1
*BARASCAV D	Secuestrante de oxígeno	

Fuente: Manual de Fluidos de Perforación, Baroid.

Se debe tener en cuenta que este sistema de lodos se formula en agua dulce o salmueras monovalentes.

Tabla 2. Sistema CARBONOX/Q-BROXIN.

ADITIVO	FUNCIÓN	CONCENTRACIONES TÍPICAS lb/bbl
AQUAGEL	Viscosificador/control de filtración	10-35
Q-BROXIN	Adelgazante/control de filtración hasta 350°F	4-12
Soda Cáustica	Fuente de alcalinidad	2-6
CARBONOX	Adelgazante/control de filtración	6-20
BAROID	Agente densificante	Según se requiera
*BARAZAN PLUS/ D PLUS	Viscosificador hasta 275°F	0.25-1.5
*CC-16	Adelgazante/control de filtración	6-12
*CaI	Fuente de alcalinidad	0.25-1
*PAC-R	Agentes de control de filtración	0.25-1.5
*PPAC-L		0.25-1.5
*DEXTRID		4-6
*BARODENSE	Densificante	Según se requiera
*BARANEX	Control filtrado hasta 350°F	2-6
*POLYAC	Control filtrado hasta 400°F	1-6

Fuente: Manual de Fluidos de Perforación, Baroid.

Tabla 3. Sistema EZ-MUD.

ADITIVO	FUNCIÓN	CONCENTRACIONES TÍPICAS lb/bbl
Soda cáustica	Fuente de alcalinidad	0.1-1.5
Carbonato de Sodio	Removedor de calcio	Según se requiera
AQUAGEL	Viscosificador/ agente de suspensión	5-17.5
EZ-MUD/ EZ MUD DP	Estabilizador de lutitas	0.5-3 / 0.2-1

ADITIVO	FUNCIÓN	CONCENTRACIONES TÍPICAS lb/bbl
CELLEX	Agentes de control de pérdida de fluido	0.2-3.5
PAC		
BAROID	Agente densificante	Según se requiera
BARAZAN PLUS	Viscosificador	0.1-1
*DEXTRID	Agentes de control de pérdida de fluido	Según se requiera
*BARO-TROL		
*FILTER-CHEK		
*ALDACIDE G	Biocida	
*THERMA-THIN	Desfloculante	0.2-3

Fuente: Manual de Fluidos de Perforación, Baroid.

Tabla 4. Sistema Gyp/Q-BROXIN.

ADITIVO	FUNCIÓN	CONCENTRACIONES TÍPICAS lb/bbl
AQUAGEL	Viscosificador/costra de filtro	10-20
Q-BROXIN	Desfloculante/agente de control de pérdida de fluido	4-12
CARBONOX	Agente de control de pérdida de fluido	4-20
Soda Cáustica	Fuente de alcalinidad	0.25-3
Yeso	Fuente de calcio	4-10
PAC	Agente de control de pérdida de fluido	0.1-2
*BARANEX		2-8
*BARO-TROL		4-8
BAROID	Agente densificante	Según se requiera

Fuente: Manual de Fluidos de Perforación, Baroid.

Tabla 5. Sistema KOH/K-LIG

ADITIVO	FUNCIÓN	CONCENTRACIONES TÍPICAS lb/bbl
AQUAGEL prehidratado	Viscosificador	14-20
Q-BROXIN	Desfloculante	2-6
Potasa Cáustica	Fuente de alcalinidad y potasio	0.5-1.5

ADITIVO	FUNCIÓN	CONCENTRACIONES TÍPICAS lb/bbl
K-LIG	Fuente de potasio/agente de control de filtrado	2-10
BARAZAN D PLUS	Viscosificador de baja velocidad de corte	0.25-0.5
BAROID	Agente densificante	Lo necesario
*Acetato de potasio	Fuente de potasio	0.5-1
*CELLEX	Agentes de control de filtración	0.5-2
*DEXTRID		0.5-3
*PAC		0.5-2

Fuente: Manual de Fluidos de Perforación, Baroid.

Tabla 6. Sistema SAL SATURADA.

ADITIVO	FUNCIÓN	CONCENTRACIONES TÍPICAS lb/bbl
ZEOGEL	Viscosificador/agente de suspensión	10-20
IMPERMEX	Agente de control de filtración	4-8
Sal (Cloruro de Sodio)	Fuente de cloruro	Según se requiera
BAROID	Agente densificante	
*AQUAGEL	Viscosificador	
*DEXTRID	Agente de control de filtración	4-6
*PAC		0.25-0.5
*BARAZAN PLUS	Viscosificador	0.25-2
*ALDACIDE G	Biocida	Según se requiera

Fuente: Manual de Fluidos de Perforación, Baroid.

Existen otra gran cantidad de aditivos químicos que se adicionan a los fluidos de perforación, según las necesidades y requerimientos in situ. Al extraer los recortes que salen impregnados con estos fluidos, la idea es recuperar la mayor parte posible del fluido utilizado para su reutilización, y en cuanto a los ripsos de perforación, éstos requieren un tratamiento a parte de acuerdo a la futura disposición que éstos vayan a tener.

1.6. RIPIOS DE PERFORACIÓN.

Una vez el fluido de perforación se inyecta y llega al fondo del pozo, arrastra consigo los sólidos que se desprenden de las diferentes formaciones geológicas atravesadas para la construcción del pozo, y los transporta hacia la superficie, debido a que estos cortes se van incorporando al fluido de perforación, esto altera sus propiedades no sólo físicas sino también químicas, y es por esto que las operaciones de perforación en la actualidad, disponen de varias opciones para el acondicionamiento y eliminación de los residuos generados, mediante uso de equipos de control de sólidos (ECS) que se encuentran instalados en superficie.

1.6.1. Efecto de los ripios durante la perforación.

La densidad del fluido, los esfuerzos de gel, el control de la filtración, la viscosidad y la calidad del revoque, son propiedades que se determinan a partir de los tipos y las cantidades de sólidos que se encuentren presentes en los diferentes sistemas de fluidos de perforación, esto también afectando otras propiedades mecánicas físicas. Según lo anterior, en el proceso de perforación, algunos de los efectos que puede conllevar el aumento de los ripios son los siguientes:

- Aumento de la frecuencia en atascamiento diferencial.
- Aumento en el costo del fluido.
- Reducción del caudal de penetración (ROP).
- Mayor dificultad para mantener las óptimas propiedades geológicas.
- Reducción de la vida útil de la broca.

1.6.2. Composición de los ripios de perforación.

Una vez el fluido de perforación es inyectado al pozo, cuando llega al fondo va a arrastrar consigo los sólidos desprendidos de las diferentes formaciones, y los lleva hasta la superficie. Por ende, la nueva mezcla comprende de dos partes:

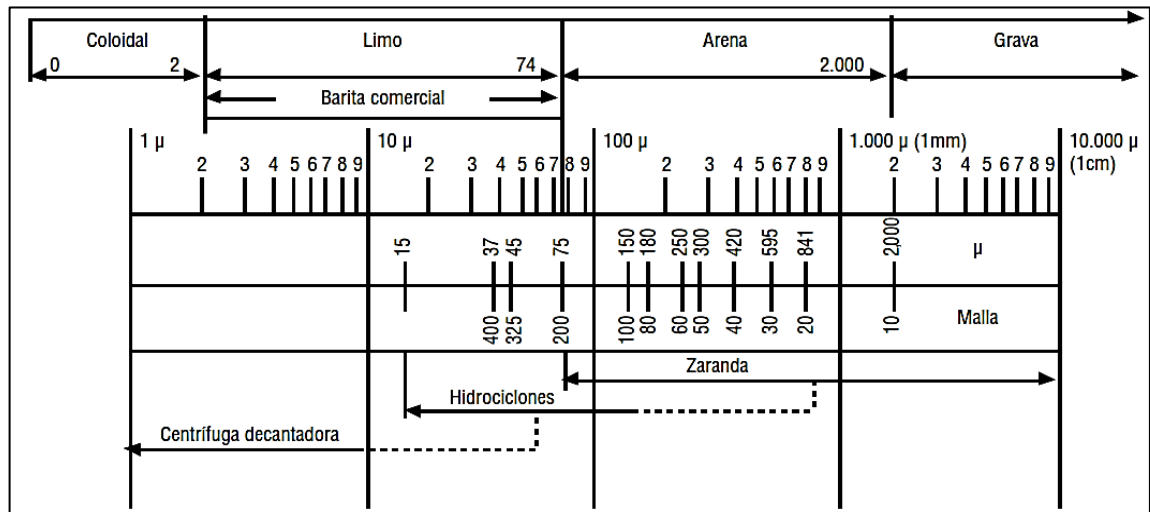
- Una fase líquida, que puede estar constituida por agua dulce, salmuera, o aceite diesel, mineral no tóxico, aceites sintéticos. Esta fase líquida, comprende la seleccionada como base para el fluido de perforación utilizado, es importante resaltar que en Colombia, los fluidos de perforación son en su mayoría base agua, por ahorro de costos y condiciones propias de los yacimientos.
- Una fase sólida, que comprende todos aquellos aditivos químicos y materiales (no solubles) artificiales o naturales; que fueron agregados al lodo para regular ciertas propiedades y ejercer control sobre el pozo. Esta fase sólida también está compuesta por los fragmentos de roca y sólidos que se desprendieron durante la perforación, y que fueron extraídos a través del fluido de perforación.

1.7. DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN LITOLÓGICA DE LOS RIPIOS DE PERFORACIÓN.

Los ripios de perforación, están compuestos de sólidos de diferentes tamaños, si bien la litología varía de acuerdo a la región y lugar específico en donde se esté realizando la perforación; existe una clasificación específica de acuerdo al tamaño

de éstos sólidos, y de acuerdo a éste se puede hacer una estimación de la litología encontrada, es decir; las partículas que son tamaño limo, pueden referirse a partículas de lutita, áreas finas, carbonatos finos y barita; así mismo las partículas de tamaño “arena” pueden incluir partículas de lutita, recortes carbonatos, partículas de arena, materiales de pérdida de circulación entre otros. En la Figura 3, se puede observar la clasificación de los tamaños de partículas de forma gráfica; y las especificaciones de los sólidos de acuerdo al tamaño en la Tabla 7; ambos mostrados a continuación.

Figura 3. Clasificación de los tamaños de partículas



Fuente: Manual de Fluidos de Perforación, Instituto Americano del Petróleo API.

Tabla 7. Clasificación de los sólidos de acuerdo al tamaño

CATEGORÍA	TAMAÑO	EJEMPLO
Coloidal	2 μ o menos	Bentonita, arcillas, sólidos ultrafinos
Limo	2 - 74 μ (<malla 200)	Barita, limo y sólidos perforados finos
Arena	74 - 2,000 μ (malla 200 - 10)	Arena y sólidos perforados
Grava	más de 2.000 μ (>malla 10)	Sólidos perforados, grava y cantos rodados

Fuente: Manual de Fluidos de Perforación, Instituto Americano del Petróleo API.

Para tener una idea de la caracterización litológica que tendrán los rios de perforación, se puede hacer una descripción litológica de acuerdo a las zonas que más producen hidrocarburos en el país, como lo son los Llanos Orientales y el Valle Medio del Magdalena, con sus formaciones productoras respectivas. Esto, para obtener información sobre las zonas que tengan mayor probabilidad de producir arenas en grandes cantidades en sus rios, debido a que es fundamental para la construcción de los adoquines por su aporte a la resistencia, por otro lado, las formaciones que son arcillosas no son convenientes, debido a que la arcilla es un material que se remueve de las arenas en el proceso de elaboración de adoquines, debido a su bajo aporte a resistencia del adoquín.

1.7.1. Caracterización litológica en la cuenca de los Llanos Orientales.

La cuenca de los Llanos Orientales se encuentra ubicada en el noreste de Colombia. Ésta es una depresión topográfica plana, cuya orientación es suroeste – noreste, con alturas que varían entre los 200 y 500 metros, que se desarrolló en el flanco occidental del Escudo de Guyana. Cubre una extensión de 225.603 kilómetros cuadrados con límites geomorfológicos entre la cuenca Apure – Barinas, al norte; la Serranía de la Macarena y el Arco del Vaupés, al sur; el sistema de fallas de Guaicáramo y la Cordillera Oriental, al oeste; y el Escudo de Guyana, al este. [2]. Es importante tener en cuenta, que la principal cuenca productora del país, es la de los Llanos Orientales, en donde se produce el 68,9% del crudo total del país aproximadamente. [3]

En la tabla 8, se puede observar, el periodo en el que se dieron las diferentes formaciones que conforman actualmente la cuenca de los Llanos Orientales, con sus respectivas características litológicas.

Tabla 8. Caracterización litológica según las formaciones que forman parte de los Llanos Orientales

PERIODO	FORMACIONES	CARACTERIZACIÓN LITOLÓGICA
CRETÁCICO	UNE	Areniscas cuarzosas con intercalaciones menores de lutitas y limolitas carbonosas
	GACHETÁ	Lutitas grises con desarrollos menores de areniscas con contenido variable de glauconita y niveles pequeños calcáreos
	GUADALUPE	Secuencias de areniscas masivas con intercalaciones de lutitas y pequeñas capas de carbón
PALEÓGENO	BARCO	Areniscas cuarzosas masivas de grano fino a grueso con intercalaciones delgadas de lutitas
	LOS CUERVOS	Lutitas grises intercaladas con areniscas tono parduzco, de grano muy fino a medio
	MIRADOR	Areniscas masivas de diferentes granulometrías con cuarzo, feldespatos, materia orgánica leñosa y glauconita
	CARBONERA	Rocas arcillosas, limosas y areniscas con algunos niveles de carbón
NEÓGENO	LEÓN	Capas gruesas de lutitas grises y zonas arenosas
	GUAYABO	Alternancia de arcillolitas y areniscas finas a muy gruesas a veces con niveles conglomerados y hacia el tope, niveles carbonosos

Fuente: Cuenca Llanos Orientales, Integración Geológica de la Digitalización y Análisis de Núcleos, ANH, diciembre 2012

1.7.2. Caracterización litológica en la cuenca del Valle Medio del Magdalena.

La cuenca del Valle Medio del Magdalena, se encuentra ubicado geomorfológicamente a lo largo de la parte central del valle cursado por el río Magdalena, entre las cordilleras Oriental y Central de Los Andes de Colombia, cubriendo un área de 32.000 kilómetros cuadrados. Comprende parte de los departamentos de Boyacá, Santander, Cundinamarca y Antioquia, entre otros. [4]. Es importante tener en cuenta, que es la segunda cuenca productora del país, en donde se produce el 15,2% del crudo total del país aproximadamente [3].

En la Tabla 9, se puede observar, el periodo en el que se dieron las diferentes formaciones que conforman actualmente la cuenca del Valle Medio del Magdalena, con sus respectivas características litológicas.

Tabla 9. Caracterización litológica según las formaciones que forman parte del Valle Medio del Magdalena

PERIODO	FORMACIONES	CARACTERIZACIÓN LITOLÓGICA
CRETÁCICO	ARCABUCO	Areniscas cuarzosas, inclusiones variables de glauconita y algunas calizas, algunas trazas de moscovita
	ROSABLANCA	calizas oolíticas negras, duras y densas, hacia el tope se degradan en calidad, presentando coloración de marrón a gris con trazas de pirita
	PAJA	Lutitas marrones oscuras/negras, ligeramente calcáreas a calcáreas, bastantes duras con trazas de calizas
	SIMITÍ	Lutitas no calcáreas a moderadamente calcáreas, duras, compactas con venas de calcita

PERIODO	FORMACIONES	CARACTERIZACIÓN LITOLÓGICA
NERÍTICO EXTERNO	LA LUNA: Miembro Salada	Calizas densas con intercalaciones lutíticas y calcáreas y abundantes trazas de pirita
	LA LUNA: Miembro Pujamana	Lutitas marrones/grises, muy fisibles, con material cristalino, posible gilsonita (asfalto natural)
	La LUNA: Miembro Galembo	Calizas duras, densas y cristalinas, secciones de areniscas y lutitas calcáreas
PALEÓGENO	MUGROSA	Areniscas levemente calcáreas de grano muy fino a fino, masivas intercalaciones parciales de lutitas y limolitas
	COLORADO	Areniscas de grano fino a muy fino con abundantes intercalaciones de lutitas y limolitas no consolidadas con lentes esporádicos de caliza
NEÓGENO	GRUPO REAL	Lodolitas arenosas abigarradas con intercalaciones de cuarzoarenitas arcillosas de grano fino/medio y litoarenitas arcillosas

Fuente: Cuenca Valle Medio del Magdalena, Integración Geológica de la Digitalización y Análisis de Núcleos, ANH, diciembre 2012

Para la adecuación de los ripios obtenidos de las diferentes formaciones, es necesaria la realización de tratamientos para su disposición, que se explican a continuación.

2. TRATAMIENTO EN RIPIOS DE PERFORACIÓN.

Todo proceso de perforación va acompañado de la generación de residuos sólidos y líquidos, los cuales son tratados para su posterior disposición. El tipo de tratamiento a utilizar depende de la disposición final a la que se desea llegar y a su vez del estado del residuo a tratar, todo lo anterior basado en las diferentes normatividades que se deben seguir para el buen manejo de residuos. En este capítulo se da a conocer las diferentes normativas a tener en cuenta en el manejo de los residuos sólidos, así como los diferentes tratamientos y disposiciones que se le pueden dar a los rípios de perforación y los equipos utilizados para realizar el proceso.

2.1.REFERENCIA LEGAL PARA EL MANEJO Y CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS PRODUCTO DE ACTIVIDADES PETROLERAS.

2.1.1. Decreto 2811 del 18 de diciembre de 1974. [5]

En la Tabla 10, se puede observar los principales aspectos normativos de acuerdo al Decreto 2811 de 1974 para el ambiente como patrimonio común que debe ser preservado tanto por el Estado como por particulares y que se puede observar más a profundidad en el Anexo B.

Tabla 10. Aspectos del Decreto 2811 de 1974 para el ambiente como patrimonio

SECCIÓN	ARTÍCULOS	DESCRIPCIÓN
Capítulo Único	1,2,3	Ambiente como patrimonio común que el Estado y particulares deben preservar y restaurar.
Título III	34, 35, 38	Manejo de residuos, basuras, desechos y desperdicios

Fuente: Decreto 2811 de 1974

2.1.2. Decreto número 4741 de 2005 - 30 dic 2005. [6]

En la Tabla 11, se puede observar los principales aspectos normativos de acuerdo al Decreto 4741 de 2005 para la prevención, regulación y manejo de residuos o desechos peligrosos, que se puede observar más a profundidad en el Anexo C.

Tabla 11. Aspectos del Decreto 4741 de 2005 para la prevención, regulación y manejo de residuos/desechos peligrosos.

CAPÍTULO	ARTICULOS	DESCRIPCIÓN
I:	1,2	Objeto y alcance: Prevención de residuos o desechos peligrosos y la regulación de su manejo
II:	5, 6, 7, 8	Clasificación, caracterización, identificación y presentación de los residuos/desechos peligrosos
III:	10,11,12,19,26	Obligaciones y responsabilidades del generador
VIII:	32	Prohibiciones
IX:	36,37,38	Disposiciones finales

Fuente: Decreto 4741 de 2005.

2.1.3. Normas internacionales relacionadas que regulan el manejo de residuos sólidos peligrosos en Colombia.

Las normas internacionales que se aplican también para el manejo ambiental de residuos sólidos peligrosos en el país, son las siguientes: [7]

- Norma Louisiana 29B (Título 43, parte XIX). Esta norma, proveniente de Estados Unidos, se considera como la pionera en normativa dada para todas aquellas actividades de la industria que afecten el medio ambiente.
- USEPA 40 CFR 261: Para la identificación y listado de los residuos peligrosos “Identification and listing of hazardous waste”.
- USEPA 40 CFR 262: Para todos aquellos que generen residuos “Standards applicable to waste generators”
- USEPA 40 CFR 264: Para el manejo, almacenamiento, tratamiento y disposición de residuos “Standards applicable to owners and operators of hazardous waste storage, treatment and disposal facilities”
- CONVENIO DE BASILEA: Casa internacional del medio Ambiente, Suiza. Secretaría de la convención de Basilea en 1989 y ajustado y enmendado en 1992.
- PROTOCOLO DE MONTREAL: Para las sustancias que agotan capa de Ozono. Programa de medio ambiente de las Naciones Unidas de 1987 y cuyo último ajuste y enmendadura se realizó en 1997.

2.2. SEPARACIÓN DE LOS RIPIOS DE PERFORACIÓN.

2.2.1. Tratamiento primario del lodo.

La remoción de sólidos es uno de los puntos clave en el tratamiento de los lodos de perforación, ya que estos determinan la densidad del fluido, la viscosidad, los esfuerzos de gel, la calidad del revoque y el control de filtración, así como otras propiedades químicas y mecánicas. [8]

Normalmente, el lodo debe ser pasado por otras fases de tratamientos, a los que se les llama tratamientos secundarios, debido a que éstos son para mejorar la calidad del lodo, no son mencionados debido a que el tratamiento y el proceso se centra en los ripios o recortes que han sido removidos del lodo y sus posteriores tratamientos.

Por otro lado, en los tratamientos primarios, el control de sólidos se logra a partir de principios básicos de separación de sólidos mencionados a continuación:

- Sedimentación.
- Vibración.
- Centrifugación.

2.2.2. Métodos aplicados para el control de sólidos.

En el proceso de control de sólidos, existen diferentes formas que permiten reducir la concentración de estos sólidos en el lodo y de esta forma mantener las propiedades que se desean del fluido de perforación.

- Dilución: Consiste en agregar un volumen de fluido base al lodo de perforación, lo que permite obtener una reducción de la concentración de los sólidos presentes en volumen.
- Desplazamiento: Consiste en remover grandes cantidades de lodo y de esta manera reemplazar esa cantidad por nuevo fluido con óptimas propiedades reológicas.
- Piscinas de asentamiento: Consiste en separar las partículas sólidas del fluido por efecto de la gravedad debido a la diferencia de densidades entre los sólidos y el líquido. Depende del tamaño de partículas, gravedad específica y viscosidad del lodo.
- Separación mecánica: Consiste en separar los sólidos perforados del lodo de manera selectiva por medio de la diferencia de tamaño y masa.

2.2.3. Equipos para el control de sólidos.

La remoción de sólidos es uno de los más importantes aspectos del control del sistema de lodo, ya que tienen un impacto directo sobre la eficacia de la perforación. Por esta razón cada parte del equipo del sistema de control de sólidos, desde las zarandas hasta las centrifugas, tengan la capacidad apropiada para el manejo de los diferentes volúmenes utilizados en la perforación.

- Zarandas Vibratorias: Las zarandas son los equipos de control de sólidos más importantes, pues su desempeño determina la eficiencia total de todo el equipo. Su función se basa en el uso de mallas vibratorias con el objetivo de eliminar los recortes del lodo con tamaños mayores a 74 micras, siendo la primera etapa de la cadena de limpieza de lodo o remoción de sólidos. Se diferencian de los otros equipos de eliminación de sólidos ya que producen un corte de prácticamente 100% (D100) al tamaño de abertura de malla.

Las zarandas eliminan hasta el 90% de los sólidos generados. A menos que las zarandas estén funcionando correctamente y tengan mallas con los entramados más pequeños posibles, todos los demás equipos estarán sujetos a sobrecargas y a una operación ineficaz. Las zarandas no pueden eliminar los sólidos que tienen tamaños de limo y coloidales, por lo que resulta necesario usar dilución y otros equipos para controlar los sólidos perforados ultrafinos. [8]

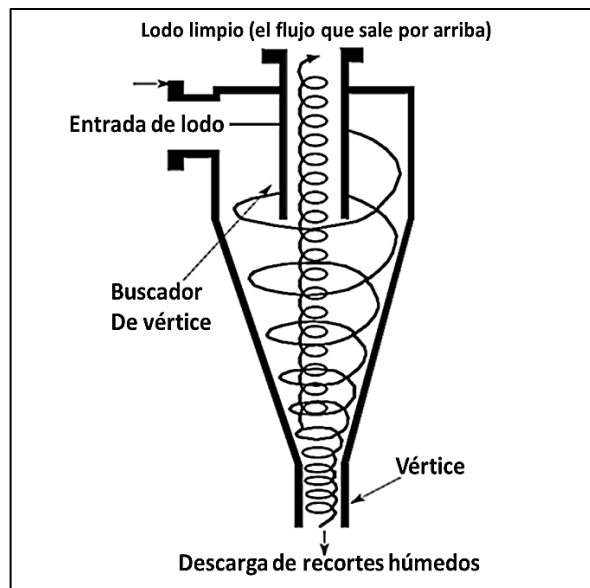
Figura 4. Zarandas vibratorias.



Fuente: GN Shale Shaker

- Hidrociclones: Los hidrociclones, clasificados como desarenadores o desarcilladores, son dispositivos cónicos de separación de sólidos en los cuales la energía hidráulica se convierte en fuerza centrífuga. El lodo es alimentado tangencialmente por una bomba centrífuga a través de la entrada de alimentación al interior de la cámara de alimentación. Las fuerzas centrífugas así desarrolladas multiplican la velocidad de decantación del material de fase más pesado, forzándolo hacia la pared del cono. Las partículas más livianas se desplazan hacia adentro y arriba en un remolino espiral hacia la abertura de rebasamiento de la parte superior. La descarga por la parte superior es el sobreflujo o efluente; la descarga de la parte inferior es el flujo inferior. El flujo inferior debe tomar la forma de un rociado fino con una ligera succión en el centro. Una descarga sin succión de aire es indeseable. [1]

Figura 5. Hidrociclón.



Fuente: Manual de Fluidos de Perforación, Instituto Americano del Petróleo API.

- Desarenadores: Los desarenadores son equipos utilizados para impedir la sobrecarga de los desarcilladores. Se componen de una batería de conos de 6 o más pulgadas. Aunque pueden procesar grandes volúmenes de lodo por un cono único, el tamaño mínimo de partículas que se puede remover está en la gama de los 40 micrones. [1]

Generalmente se usan unidades de dos hidrociclones de 12 pulgadas, cada uno de los cuales suele tener una capacidad de 500 gpm, y para obtener resultados eficaces, un desarenador debe ser instalado con la presión de “cabeza” apropiada.

Figura 6. Desarenador.



Fuente: GN Solids Control.

- Desarcilladores: Los desarcilladores son equipos que se componen de una batería de conos de 4 pulgadas o menos. Dependiendo del tamaño del cono se puede obtener un corte de tamaño de partículas de entre 6 y 40 micrones. [1]

Generalmente se usan unidades que contienen 12 o más hidrociclones de 4 pulgadas, cada uno de los cuales suele tener una capacidad de 75 gpm. La capacidad volumétrica apropiada para los desarcilladores y los desarenadores debería ser igual a 125 - 150% de la velocidad de circulación. Los pozos de gran diámetro requieren un mayor número de hidrociclones. [8]

Un hidrociclón de 4 pulgadas bien diseñado y operado correctamente tendrá un punto de corte D90 de aproximadamente 40 micrones. Como la barita cae dentro del mismo rango de tamaños que el limo, también será separada del sistema de lodo por un desarcillador. Por este motivo, los desarcilladores se usan muy poco en los lodos densificados de más de 12,5 lb/gal. Los desarcilladores y desarenadores son usados principalmente durante la perforación del pozo de superficie y cuando se usan lodos no densificados de baja densidad.

Figura 7. Desarcillador.

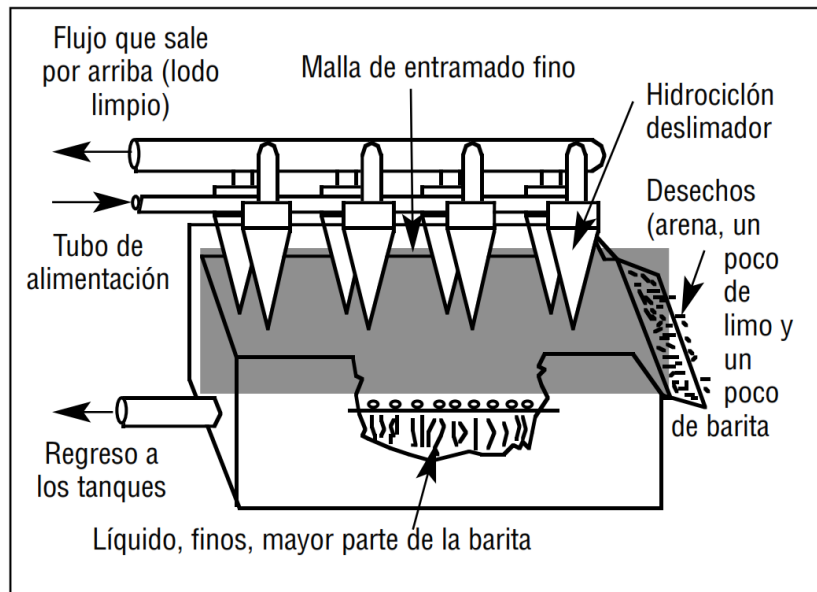


Fuente: Sierra Alta, Oil & Gas Drilling Services.

- Limpiadores de lodo: El limpiador de lodo es un dispositivo de separación de sólidos que reúne un desarcillador y una zaranda de malla vibratoria.

desarcillador y un dispositivo cribador. El limpiador de lodo remueve los sólidos por medio de un proceso de dos etapas. Primero, el fluido de perforación es procesado por el desarcillador. Segundo, la descarga del desarcillador es procesada por una zaranda de alta energía y de malla fina. Este método de remoción de sólidos es recomendado para lodos que contengan considerables cantidades de materiales densificantes o que tengan costosas fases de fluidos. [1]

Figura 8. Esquema de funcionamiento de un limpiador de lodo.



Fuente: Manual de Fluidos de Perforación, Instituto Americano del Petróleo API.

Figura 9. Limpiador de lodo convencional.



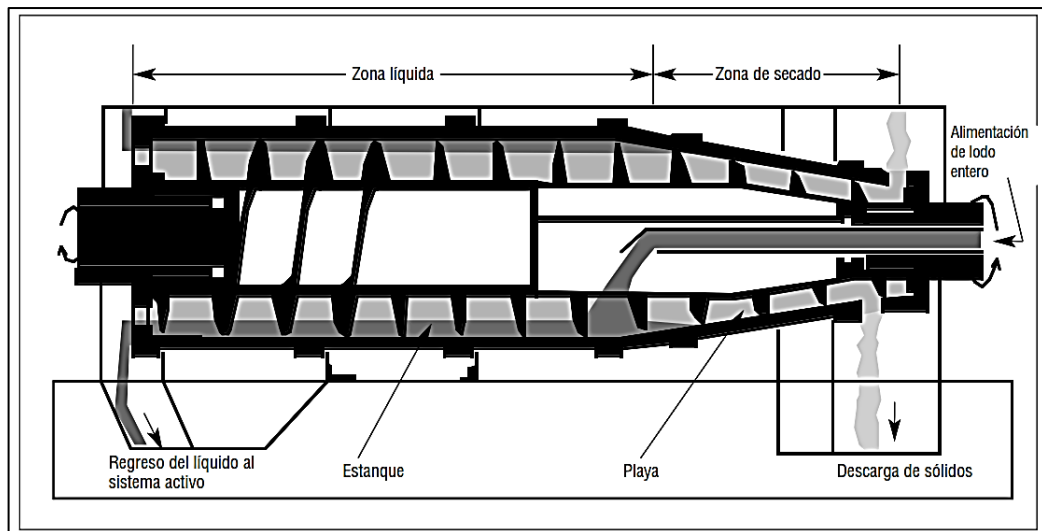
Fuente: GN Control Solids.

- Centrifuga decantadora: Una centrifuga decantadora se compone de una vasija cónica horizontal de acero que gira a alta velocidad usando un transportador tipo doble tornillo sinfín. El transportador gira en el mismo sentido que la vasija externa, pero a velocidad un poco menor. Un aspecto importante del funcionamiento de la centrifuga es la dilución de la lechada que es alimentada al interior de la unidad.

La centrifuga está configurada para separar y desechar los sólidos de tamaño de arcilla y devolver la fase líquida al sistema. Los sólidos descargados por la centrifuga se componen básicamente de sólidos secos con una pequeña

cantidad de agua libre, a diferencia de la descarga húmeda de los Hidrociclones.

Figura 10. Esquema de centrífuga decantadora



Fuente: Manual de Fluidos de Perforación, Instituto Americano del Petróleo API.

Figura 11. Centrífuga decantadora convencional.



Fuente: GN Solids Control.

2.3. MANEJO Y DISPOSICIÓN DE RIPIOS DE PERFORACIÓN

2.3.1. Técnicas convencionales.

- Almacenamiento temporal: Los ripios expulsados del Equipo de Control de Sólidos (ECS) son almacenados en un tanque de volumen pequeño llamado Catch Tank, en el tanque las partículas se asientan por efecto de las fuerzas gravitacionales lo que permite la separación de la fase líquida y fase sólida. En algunas ocasiones este tanque es utilizado con el fin de realizar el manejo de los ripios allí mismo con el fin de deshidratarlos, fijarlos y poder transportarlos para su disposición final.

Figura 12. Catch Tank



Fuente: Metodología para el tratamiento de ripios de perforación en un pozo estratigráfico profundo. 2013.

El segundo tanque del sistema de almacenamiento es el de las centrifugas, donde se depositan los cortes producto de la deshidratación del fluido y los cortes removidos en el control de sólidos de baja y alta gravedad (LGS y HGS).

2.3.2. Tratamiento y disposición final.

Existen diversas técnicas que permiten disponer de los ripios de perforación, a continuación, se mencionaran las más utilizadas:

- **Confinamiento:** La finalidad de esta técnica es reducir el volumen de los ripios a manejar y se logra enterrando estos residuos en celdas apropiadas. Se realiza un seguimiento a través de muestreos y análisis periódicos de los parámetros y límites permisibles. Su limitación radica en que se necesita una gran cantidad de área disponible dentro de la locación para la disposición de ripios.

Figura 13. Confinamiento de rипios



Fuente: CPCOL Consulting S.A.S.

- Fosas para disposición de rипios de perforación: Es un método In situ, en donde se considera la impermeabilidad del suelo, techado y sistemas de drenaje para la recolección del agua fluvial. Todo líquido remanente en la fosa será transmitido al sistema de aguas residuales industriales de la locación. Su capacidad de diseño está de acuerdo al número de pozos y la profundidad a perforar. La fosa será cubierta con suelo natural y será restaurada mediante técnicas de vegetación.

Figura 14. Fosas de disposición de rипios



Fuente: CPCOL Consulting S.A.S.

- Micro-celdas: Técnica aplicada In situ, con la finalidad de reducir el volumen de residuos orgánicos. Su diseño considera un sistema de venteo de gases y un sistema de drenaje para la recolección de lixiviados.
- Biorremediación: Consiste en utilizar microorganismos como bacterias, para degradar las cadenas de hidrocarburos complejos compuestos de hidrogeno, carbono y otros elementos químicos, en compuestos simples como el gas carbónico, y agua.
- Compostaje (*Composting*): En el compostaje, los residuos se mezclan con agentes orgánicos tales como virutas de madera, paja y cáscaras de arroz, con el fin de aumentar la porosidad y la aireación potencial para la degradación biológica. Generalmente, se adiciona estiércol o residuos agrícolas ya que aumenta la capacidad de retención de agua y la traza de nutrientes en el suelo. La adición de fertilizantes ricos en nitrógeno, fósforo y otros minerales, también puede mejorar la actividad microbiana y reducir el tiempo requerido para lograr el nivel deseado de biodegradación.

Figura 15. Composting



Fuente: Fundamentos de Exploración y Producción.

Con el fin de facilitar el proceso de biodegradación, la mezcla de material orgánico mantiene rango de humedad entre 40 a 60% en peso. Las temperaturas elevadas (30°C y 70 °C) aumentan la actividad microbiana. Sin embargo, si las temperaturas superan los 70 °C, se puede producir la muerte celular.

- Landfarming: El proceso de Landfarming es una tecnología de biorremediación para suelos contaminados con hidrocarburo, mediante la cual los microorganismos producen materiales estabilizados que no generan impactos sobre el medio ambiente. Con el fin de estimular la actividad microbiana, se adicionan nutrientes, microorganismos y agentes químicos para mantener el pH neutro y se emplean métodos de arado con tractores para mantener la acción aerobia.

Figura 16. Landfarming



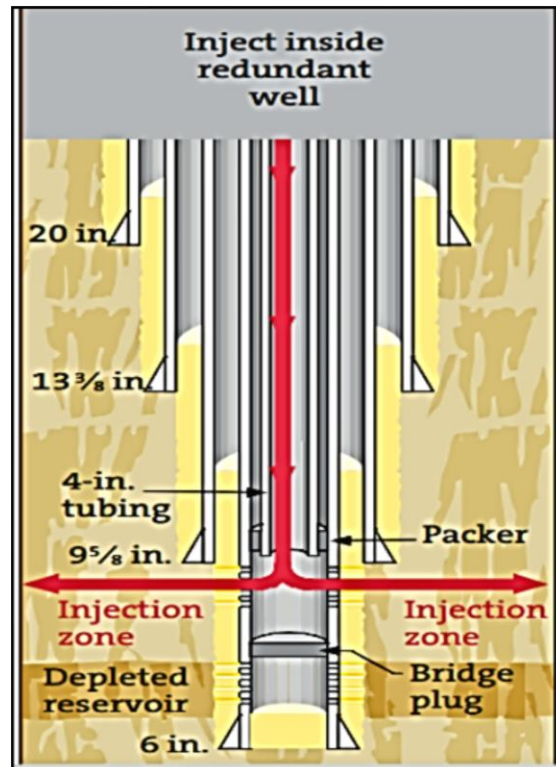
Fuente: Biotecnología aplicada a la descontaminación del medio ambiente.

Algunas limitantes de la técnica de biorremediación son la inhabilidad de la bacteria para procesar hidrocarburos presentes en suelos con alto contenido de arcillas, así como la degradación de fracciones pesadas y emulsiones.

- Desorción térmica indirecta: La desorción térmica utiliza un proceso no oxidante para vaporizar compuestos volátiles y semivolátiles presentes en los residuos, mediante de la aplicación de calor. Debido a que la desorción térmica depende de la presión de vapor, la eficiencia del tratamiento se relaciona con la volatilidad de los contaminantes. Por lo tanto, la desorción térmica elimina fácilmente los hidrocarburos ligeros, aromáticos, y otros compuestos orgánicos volátiles, pero los compuestos más pesados tales como hidrocarburos aromáticos policíclicos se eliminan con mayor dificultad.
- Inyección de ripios de perforación: Esta tecnología puede ser aplicada para la disposición de recortes de perforación base agua, aceite o sintética, tanto en plataformas costa fuera como en locaciones terrestres. La inyección de ripios requiere un sistema capaz de enviar los volúmenes de fluidos requeridos hasta

el fondo del pozo y generar presiones suficientes para fracturar la roca. Además, la tubería instalada en el pozo tiene que estar diseñada para soportar altas presiones de inyección.

Figura 17. Inyección de ripios



Fuente: MI SWACO. Houston, Texas, EUZ. Cuttings Re-injection. Site-specific to meet the challenges, issues or limitations of any waste-disposal injection site.

Existen dos métodos para la reinyección de desechos de perforación que son la inyección anular y la inyección en un pozo de disposición. La inyección anular introduce la mezcla de residuos a través del espacio entre dos sartas de revestimiento. La inyección en un pozo de disposición tiene como objetivo

producir una presión mayor a la presión de fractura para almacenar los ripios de perforación en formaciones de alta permeabilidad.

- Otras disposiciones: Cabe resaltar que, debido a la preocupación ambiental, se han generado otras disposiciones, en donde los ripios de perforación se utilizan como material de construcción, teniendo en cuenta las normativas establecidas y las características finales obtenidas. En el capítulo 4, se presenta la normativa que se debe cumplir, para una de las disposiciones propuestas para los ripios, relacionada con la construcción de adoquines.

3. ANÁLISIS DE FACTORES MEDIOAMBIENTALES INVOLUCRADOS

Cuando se trata de lodos de perforación, un estudio de desechos producidos en este tipo de operaciones, organismos como la el API y EPA, identificaron materiales como arsénico, benceno, cadmio, cromo, cloruro, boro, sodio, plomo, bario, penta-clorofenol; en donde éstos pueden ser potencialmente dañinos no solo para la salud del hombre, sino también someter al medio ambiente a grandes riesgos. Por lo tanto, los desechos como los recortes de perforación, que se encuentran impregnados de lodo, lodos gastados, sobrantes de lodos, aguas lubricantes, sustancias utilizadas para la limpieza de los equipos de perforación, residuos de las operaciones de cementación, entre otros, teniendo en cuenta que el componente más abundante y tóxico corresponden a los lodos de perforación, éstos recortes son considerados como un riesgo medioambiental que debe tratarse, para minimizar los impactos que puedan ser causados.

Si bien los tratamientos y métodos mencionados en el capítulo dos, disponen de los recortes de perforación, cumpliendo con las medidas dictadas por norma y ley, estos procesos de Biorremediación son costosos, por lo tanto, las compañías en su mayoría; disponen de los recortes de perforación en piscinas, con un mínimo tratamiento y debido al incumplimiento, pagando multas severas [9]. En este capítulo se analizarán los problemas e impactos ambientales que se generan en las disposiciones comunes que tiene el país para el manejo de los ripios de perforación, y la forma en la que su reutilización, sería una vía accesible para minimizar dichos impactos ambientales.

3.1.TOXICIDAD Y EFECTO DE CONTAMINANTES DE LOS RIPIOS DE PERFORACIÓN EN SUELOS

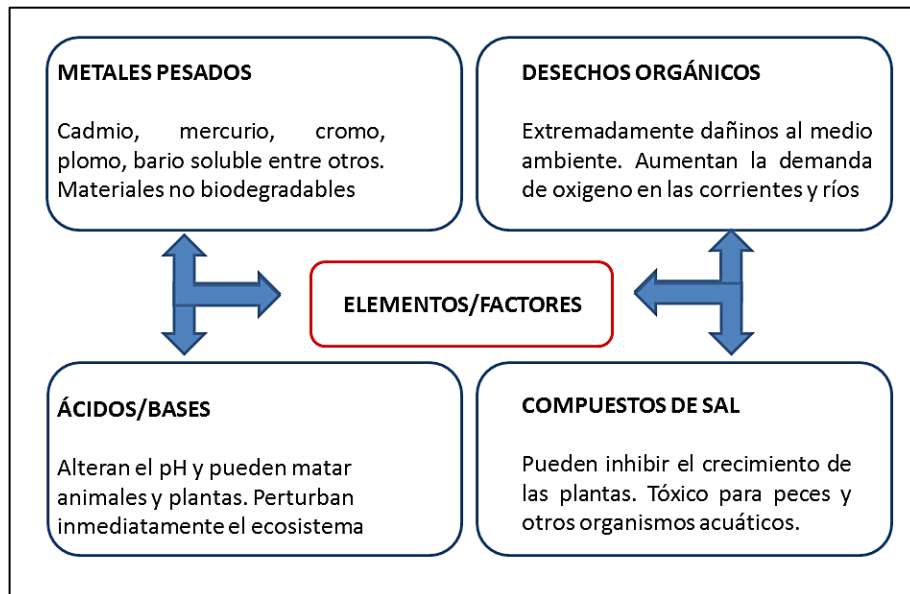
Debido a una gestión ineficiente de los sistemas de operación para tratamiento de recortes de perforación, sean primarios y sus diferentes disposiciones, se puede obtener como resultado, un incremento en el pH del suelo y también la acumulación de altas concentraciones de sal entre otros. Teniendo en cuenta que los minerales que se encuentran presentes comúnmente en los ripios de perforación, son bicarbonato, bario, calcio, sodio, sulfato, magnesio y cloruros, los problemas que generan al suelo por su precipitación, son reconocibles; los taponamientos, la disminución de la productividad del suelo por disminución del agua disponible para plantas, son ejemplos de ello y está claro que, las sustancias que se utilizan en los tratamientos convencionales, han generado repercusiones sobre los recursos naturales, y la necesidad de abordar alternativas para el manejo de desechos peligrosos, para mejorar las condiciones no sólo del suelo, sino del medio ambiente que se ve afectado por la mala gestión de estas actividades de remediación.

En las operaciones de explotación y producción de hidrocarburos, la preocupación por los impactos ambientales han conllevado a generar diversos acuerdos internacionales, para crear y aplicar de un modo concertado, normas para la protección ambiental, las regulaciones ambientales se ven cada vez más presentes en las legislaciones nacionales y regionales con la intención de ser cada vez más estrictas, y es por ello que se incentiva a la generación y la búsqueda de alternativas sobre todo en el área de perforación, para disminuir los impactos ambientales ocasionados por estas operaciones.

En la Figura 18 se pueden apreciar elementos que entre otros, pueden causar daño al medio ambiente de acuerdo al ambiente de descarga, teniendo en cuenta que el impacto se valora de acuerdo al tipo de materiales contenidos en los desechos.

En la Tabla 12, se puede observar la clasificación de acuerdo a los grados de toxicidad existentes (prácticamente no tóxico, ligeramente tóxico, moderadamente tóxico, tóxico y muy tóxico) encontrados con la prueba para supervivencia de camarones tipo *Mysidopsis Bahia* [9]. Por otro lado, la Tabla 13 muestra los elementos tóxicos de algunos de los polímeros orgánicos y solubles en agua, que más aplicación han tenido en la industria del petróleo. Así, la clasificación se encuentra por aditivo, sus elementos tóxicos, el motivo de su uso, y su probable sustituto con el fin de minimizar los grados de toxicidad.

Figura 18. Elementos que pueden causar daño al medio ambiente.



Fuente: Manual de Fluidos de Perforación, Instituto Americano del Petróleo API.

Tabla 12. Grados de toxicidad.

GRADO	VALORES LC_{50} (ppm)
Prácticamente no tóxico	>10.000
Ligeramente tóxico	1000 - 10.000
Moderadamente tóxico	100 – 1000
Tóxico	1 – 100
Muy tóxico	<1

Fuente: Lecturas sobre lodos de perforación / Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2000.

Tabla 13. Aditivos tóxicos de ripios cuyos lodos son base agua.

ADITIVO	TÓXICO	USO	SUSTITUTO
Lignosulfonato/lignito, de cromo	Cromo	Adelgazante	Poliacrilato, poliacrilamida
Taninos o dicromato, sulfometilados	Cromo	Adelgazante	
Dicromato o cromato de sodio	Cromo	Control de corrosión	Sulfitos, fosfonatos, aminas
Cromato de zinc	Cromo	Control de H ₂ S	Controlador de H ₂ S sin cromo
Pentaclorofenol	Pentaclorofenol	Bactericida	Isotiazolinas, carbamatos y glutaraldehidos
Arsénico	Arsénico	Bactericida	
Lubricante con plomo, para tubería	Plomo	Lubricación/sello de roscas	Lubricante sin plomo

Fuente: Lecturas sobre lodos de perforación / Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2000.

3.2. VALORES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LA DISPOSICIÓN DE CORTES DE PERFORACIÓN

De acuerdo a cada uno de los aditivos y sus componentes tóxicos, se tienen valores permisibles dentro del marco legal para estos desechos en el área de rípios de perforación. En la Tabla 14, se muestran cada uno de los parámetros cuya medición es importante y debe cumplir con un valor límite máximo permisible para asegurar una correcta gestión ambiental, de acuerdo a la norma internacional aplicable Lousiana 29B, y en la Tabla 15, lo referente al nivel de regulación de contaminantes de acuerdo a la prueba de lixiviación y caracterización de los residuos tóxicos.

Tabla 14. Valores máximos permisibles.

PARÁMETRO	VALORES MÁXIMOS PERMISIBLES	
	VALOR	UNIDAD
Ph	6-9	adimensional
Arsénico (As)	10	mg/L
Bario (Ba)	20.000	
Cadmio (Cd)	10	
Cromo (Cr)	500	
Mercurio (Hg)	10	
Plomo (Pb)	500	
Plata (Ag)	200	
Selenio (Se)	10	
Zinc (Zn)	500	
Grasas y aceites	<1	
Conductividad eléctrica	<4	Mmhos/cm
Relación de adsorción de Sodio (RAS)	<12	-
Porcentaje de sodio intercambiable	<15	%
Contenido de humedad	<50	%

Fuente: Norma Lousiana 29B

Tabla 15. Nivel de regulación de una sustancia contaminante.

CÓDIGO EPA	CONTAMINANTE	NIVEL DE REGULACIÓN (mg/l)
D004	Arsénico (As)	0,5
D005	Bario (Ba)	100
D018	Benceno	0,5
D006	Cadmio (Cd)	1
D019	Tetracloruro de carbono	0,5
D020	Clordane	0,03
D021	Cloruro de benceno	100
D022	Cloroformo	6
D007	Cromo (Cr)	5
D027	1,4-Diclorobenceno	7,5
D028	1,2-Dicloroetano	0,5
D029	1,1-Dicloroetileno	0,7
D030	2,4-Dinitrotolueno	0,13
D012	Endrina	0,02
D031	Heptacloruro	0,008
D032	Hexacloruro de benceno	0,13
D033	Hexacloruro de dibutaleno	0,5
D034	Hexacloruro de etano	3
D008	Plomo (Pg)	5
D013	Lindano	0,4
D009	Mercurio (Hg)	0,2
D014	Metóxido de cloruro	10
D035	Metil etil cetona	200
D036	Nitrobenceno	2
D037	Pentacloruro de fenol	100
D010	Selenio (Se)	1
D011	Plata (Ag)	5
D039	Tetracloruro de etileno	0,7
D040	Tricloroetileno	0,5
D041	2,4,5-Triclorofenol	400
D042	2,4,6-Triclorofenol	2
D043	Cloruro de vinilo	0,2

Fuente: Ehso.com

3.3. DESVENTAJAS DE LOS MÉTODOS CONVENCIONALES PARA LA DISPOSICIÓN DE LOS RIPIOS DE PERFORACIÓN

3.3.1. Confinamiento en piscinas y celdas

Es el método que normalmente se utiliza cuando se han perforado pozos con lodos de perforación base agua. La construcción de estas piscinas depende de la profundidad, diámetro de las secciones y el tipo de perforación del pozo, ya sea horizontal, direccional o vertical; por lo tanto, existen programas que calculan la capacidad que pueden llegar a tener las piscinas. Un canal de comunicación con la piscina, llega hasta las celdas, en donde fluyen dichos lodos que por lo general han sido licuados.

Tabla 16. Confinamiento en piscinas y celdas, desventajas.

MÉTODO	DESVENTAJAS
CONFINAMIENTO EN PISCINAS Y CELDAS	Limitante para obtener tapado uniforme y a un nivel aceptable respecto a la plataforma
	Presencia de arcillas plásticas en el suelo, de difícil manejo cuando se hace la mezcla para estabilizar los ripios.
	Espacio para la construcción de las celdas, ya que en algunas locaciones no se dispone del mínimo requerido para el manejo eficiente de los ripios.

Figura 19. Confinamiento en piscinas y celdas.



Fuente: Plan V, investigación

3.3.2. Celdas y terrazas.

En este caso, los ripios que proceden de las zarandas, se van a mezclar con una retroexcavadora en un tanque abierto para luego ser enviado a un almacenamiento temporal por aproximadamente 8 días en una piscina para su remediación.

Tabla 17. Celdas y terrazas, desventajas.

MÉTODO	DESVENTAJAS
CELDAS Y TERRAZAS	Necesidad del área dentro de la locación para la disposición de los ripios.
	Paralización de operaciones debido a inconvenientes con las comunidades aledañas

	Remediación de todas las piscinas en cada una de las locaciones
--	---

Figura 20. Celdas y terrazas.



Fuente: Periódico la Región

3.3.3. Desorción térmica.

Este método no es tan común, tiene un uso reciente en el país, y su aplicación es hacia un sistema de lodo base sintético, en las perforaciones donde los ripios se encuentran humectados por éstos; debido a que este método permite recuperar la base sintética y por consiguiente limpiar los ripios de sus contaminantes para su posterior procesamiento sin causar daños graves al medio ambiente.

Tabla 18. Desorción térmica, desventajas.

MÉTODO	DESVENTAJAS
DESORCIÓN TÉRMICA	Baja capacidad de procesamiento en volumen, de 3-6 toneladas por hora
	Es un tratamiento de alto costo

Consume más energía que otros procesos (35 galones por hora de diesel)

Figura 21. Desorción térmica.



Fuente: Induambiente.com

3.4. CONSECUENCIAS DEBIDO A LA INCORRECTA GESTIÓN DE LOS PROCESOS DE BIORREMEDIACIÓN.

Varias empresas han debido pagar multas millonarias, debido a las afectaciones ambientales causadas como la contaminación del suelo, aguas subterráneas con sustancias tóxicas que provenían de los tratamientos de residuos sólidos peligrosos (ripios) por medio del proceso de biorremediación que, bajo un régimen de una gestión ambiental correctamente implementada debía evitar estos impactos en diferentes campos del país, normalmente el proceso se lleva a cabo bajo la Resolución 2086 del 25 de octubre del 2010 por medio del concepto técnico N° PM-GA 3.44.010.2735 del 30 de diciembre de 2010, en donde se dicta y se calcula el valor que finalmente fija CORMACERENA [7].

Está claro, que la parte ambiental y su gestión, por parte de las empresas petroleras, es ineficiente y que, de acuerdo a esto; son necesarias técnicas y métodos alternativos que, generen un mejoramiento en la gestión ambiental de los recursos, y permita así mismo el cumplimiento de las normativas existentes.

4. NORMATIVIDAD COLOMBIANA REFERENTE A LA ELABORACIÓN DE ADOQUINES.

En Colombia, la normatividad que rige todo lo referente a la elaboración de adoquines es la NTC 2017 - ADOQUINES DE CONCRETO PARA PAVIMENTOS, la cual tiene como objetivo establecer los requisitos para adoquines de concreto, no reforzados y sus piezas complementarias, aptos para construir pavimentos de adoquines de concreto para: tráfico peatonal, tráfico vehicular sobre llanta neumática y cargas estáticas distribuidas. [10]

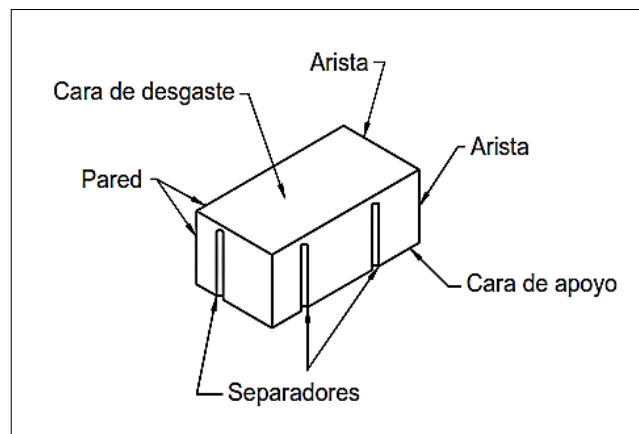
4.1. PARTES DE UN ADOQUIN.

- Cara de desgaste. Cara superior del adoquín la cual queda a la vista en el pavimento y soporta directamente el tránsito (ver Figura 22).
- Capa superior, capa superficial. Capa que conforma la cara de desgaste en los adoquines bicapa (ver Figura 23).
- Capa inferior. Capa debajo de la capa superficial de los adoquines bicapa que constituye la mayoría de la masa de los mismos (ver Figura 23).

- Cara de apoyo. Cara inferior del adoquín que queda en contacto con la capa de arena que lo soporta (ver Figura 22).
- Superficie de referencia. En los adoquines no biselados, es la superficie que corresponde a la cara de desgaste; y en los no biselados, corresponde a la cara de desgaste sin tomar en cuenta el volumen del prisma sustraído por la presencia del bisel (ver Figura 23).
- Forma. Polígono que define la cara de desgaste (incluyendo el bisel cuando existía) y la cara de apoyo, y que a su vez determina el prisma recto que le da volumen a los adoquines.
- Pared, cara lateral. Cada una de las caras laterales y verticales del adoquín que está en contacto con otros adoquines vecinos a través de la junta que conforman entre ellos (ver Figura 22).
- Arista. Línea de intersección entre dos planos o caras. Por lo general se hace referencia a la que conforma la cara de desgaste y las paredes (ver Figura 22).
- Arista de lápiz. Arista que generalmente conforma la cara de desgaste y las paredes, a la que se le ha dado la forma redondeada durante el proceso de fabricación, con un radio de aproximadamente 3,5 mm, y que se asemeja a un cuarto de la sección de un lápiz tradicional.
- Bisel. En los adoquines biselados o parcialmente biselados es el perfil inclinado (generalmente un plano de 45°) que reemplaza la arista que conforman la cara de desgaste y las paredes. Para efectos prácticos tanto en los adoquines producidos por vibrocompresión se considera como parte del bisel, la franja generada por las rebabas verticales, una vez retiradas, aunque esta no sea oblicua (ver Figura 23).

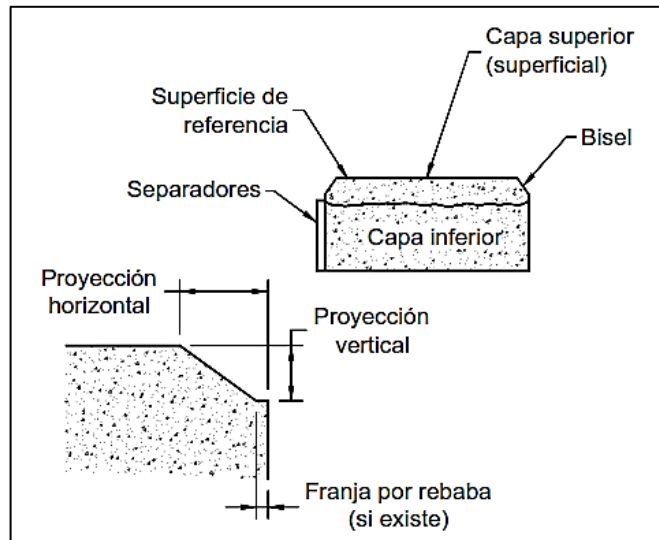
- Separador. Cada una de las salientes verticales (nervaduras, placas, etc.) generadas sobre las paredes de los adoquines para garantizar una separación adecuada y uniforme entre adoquines contiguos, con el fin de que las juntas se puedan llenar con arena, se reduzca el desportillamiento de la arista de la cara de desgaste (cuando el adoquín no tiene bisel) o de la arista del bisel con la pared y para permitir el drenaje a través de las juntas, cuando así se desea, o cuando se tienen algunos tipos de adoquines drenantes (ver Figuras 22 y 23).

Figura 22. Partes de un adoquín.



Fuente: NTC 2017.

Figura 23. Partes de un adoquín (corte).



Fuente: NTC 2017.

4.2. CLASIFICACIÓN.

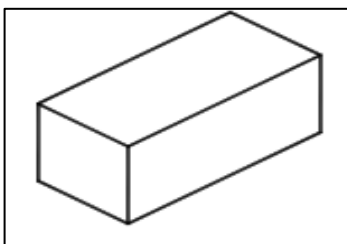
4.2.1. Según la geometría general.

En esta sección se explica la clasificación de los adoquines según la geometría con la que éste se vaya a construir.

4.2.1.1. Debido a la unidad.

- Adoquín estándar. Es el adoquín que en conjunto conforma una superficie continua, a excepción de la junta estándar. Por lo general, se denomina simplemente como adoquín.

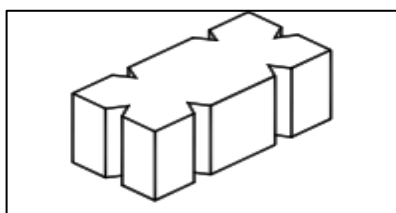
Figura 24. Adoquín estándar.



Fuente: NTC 2017.

- Sistema de adoquines. Combinación de dos o más formas (tipos) o tamaños de adoquines, por razones estéticas o constructivas.
- Adoquín drenante. Es el adoquín que dada su forma genera en las juntas, zonas con un ancho mayor que el de la junta estándar para efectos de drenaje de la superficie a través de dichas zonas (véase la Figura 25); o que posee separadores con dimensiones mayores que las especificadas para la junta estándar o que se coloca con separadores elaborados con otros materiales. Se diferencia de un adoquín con perforaciones en el centro de su masa, el cual se clasifica como una rejilla para pavimentación (cranequín), cubierta por la NTC 3766 (NCMA-A-15-82).

Figura 25. Adoquín drenante, no biselado.

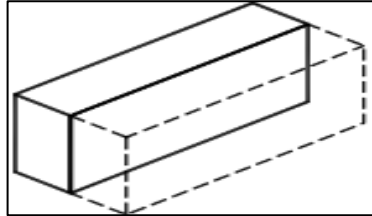


Fuente: NTC 2017.

- Unidad complementaria. Unidad producida con el propósito de generar una junta recta en la capa de adoquines, cuya forma corresponde a una porción

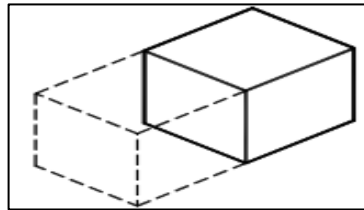
precisa de adoquín. Las unidades complementarias más frecuentes son la unidad media a lo largo y la unidad media a lo ancho.

Figura 26. Unidad complementaria, "media a lo largo".



Fuente: NTC 2017.

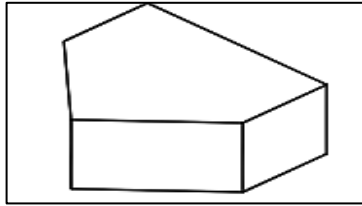
Figura 27. Unidad complementaria, "media a lo ancho".



Fuente: NTC 2017.

- Unidad especial. Unidad producida con el propósito de generar una junta recta en la capa de adoquines, cuya forma no necesariamente está asociada a la de un adoquín. La unidad especial más frecuente es la mitra.

Figura 28. Unidad especial "mitra"

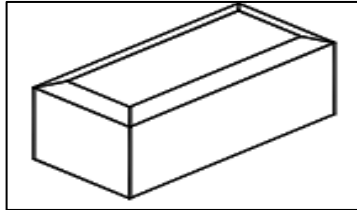


Fuente: NTC 2017.

4.2.1.2. Debido a sus aristas

- Adoquín biselado. Es el adoquín en el cual la cara de desgaste está limitada por un bisel en todas sus aristas.

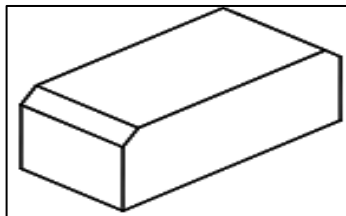
Figura 29. Adoquín biselado.



Fuente: NTC 2017.

- Adoquín parcialmente biselado. Es el adoquín en el cual la cara de desgaste está limitada por un bisel en algunas de sus aristas.

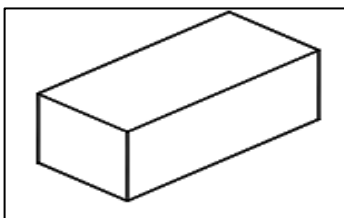
Figura 30. Adoquín parcialmente biselado.



Fuente: NTC 2017.

- Adoquín no biselado, prismático. Es el adoquín sin bisel ni otra modificación en las aristas de la cara de desgaste.

Figura 31. Adoquín no biselado.

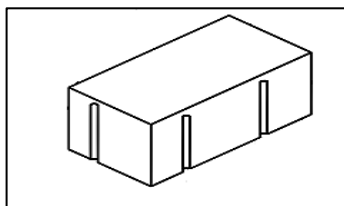


Fuente: NTC 2017.

4.2.1.3. Debido a los separadores.

- Adoquín con separadores. Es el adoquín producido con separadores.

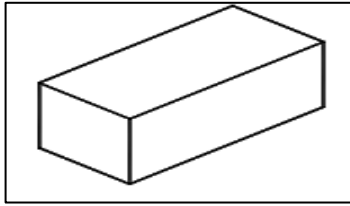
Figura 32. Adoquín con separador.



Fuente: NTC 2017.

- Adoquín sin separadores. Es el adoquín producido sin separadores.

Figura 33. Adoquín sin separador.

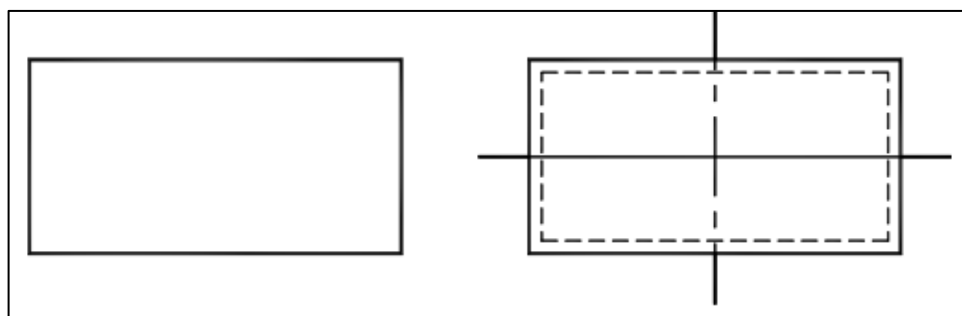


Fuente: NTC 2017.

4.2.1.4. Debido a la forma.

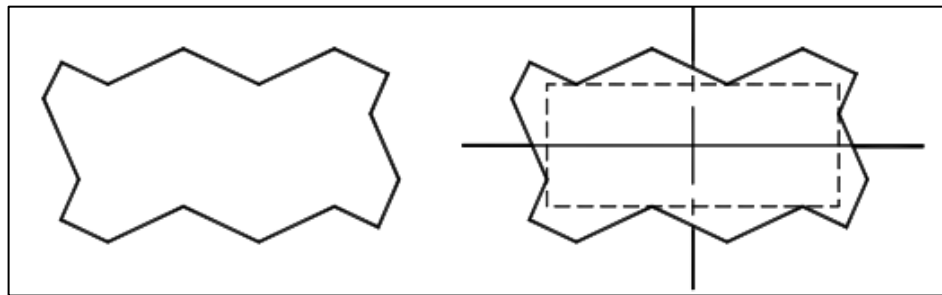
- Adoquín tipo 1, adoquín rectangular. Es el adoquín con una forma única, básicamente rectangular, que se puede colocar siguiendo diversos patrones de colocación como espina de pescado, hileras, tejido de canasto, etc. Algunas de las variantes de forma del adoquín tipo 1 son los adoquines: recto (véase la Figura 34), angulado (véase la Figura 35), ondulado (véase la Figura 36), octógono+cuadrado (véase la Figura 37), octógono+cuadrado con proyecciones (véase la Figura 38). Existen algunos adoquines que conforman un patrón similar al de espina de pescado, pero con ejes no ortogonales como el adoquín doble hexágono (véase la Figura 39) y el "V" (véase la Figura 40).

Figura 34. Adoquín tipo 1 "Rectangular recto" (holandés).



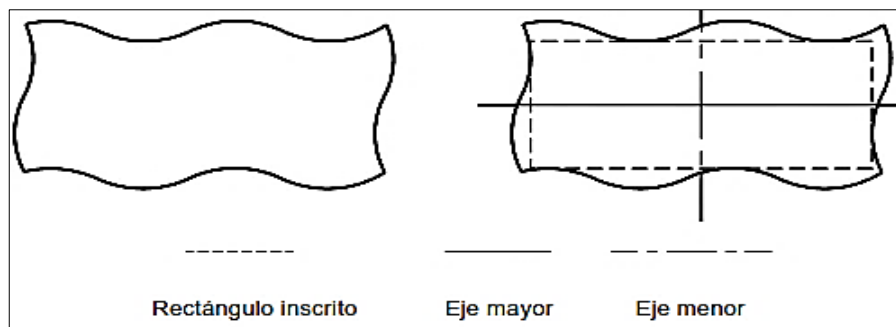
Fuente: NTC 2017.

Figura 35. Adoquín tipo 1 "Rectangular angulado" (Uni stone).



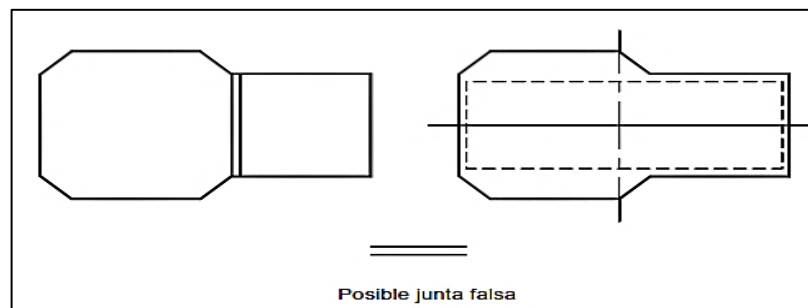
Fuente: NTC 2017.

Figura 36. Adoquín tipo 1 "Rectangular ondulado".



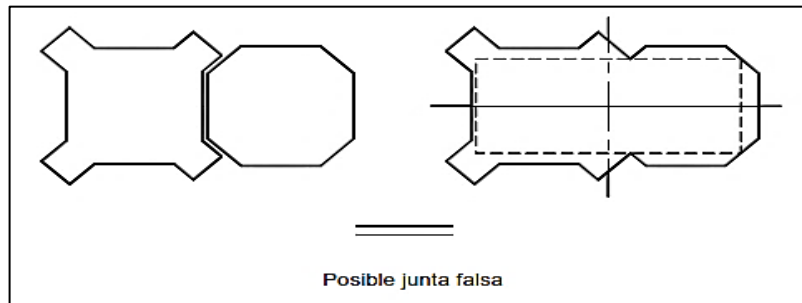
Fuente: NTC 2017.

Figura 37. Adoquín tipo 1 (Uni-Decor).



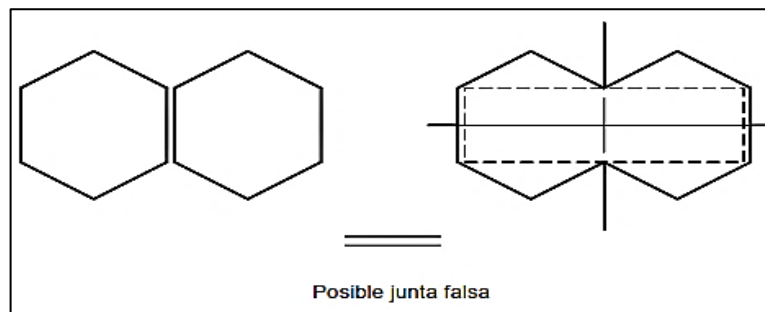
Fuente: NTC 2017.

Figura 38. Adoquín tipo 1 (Super-Decor).



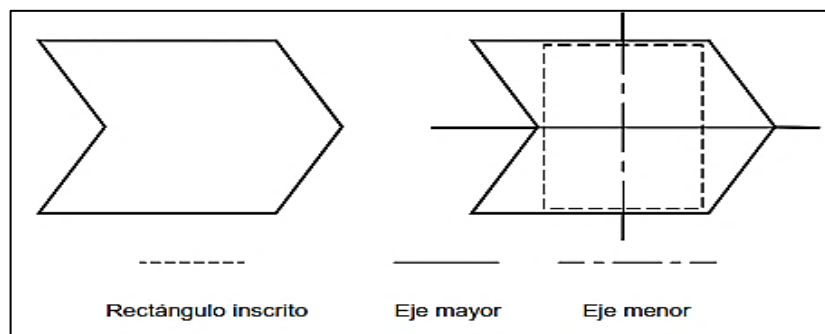
Fuente: NTC 2017.

Figura 39. Adoquín tipo 1 "Doble hexágono", "corbatín".



Fuente: NTC 2017.

Figura 40. Adoquín tipo 1 (V).



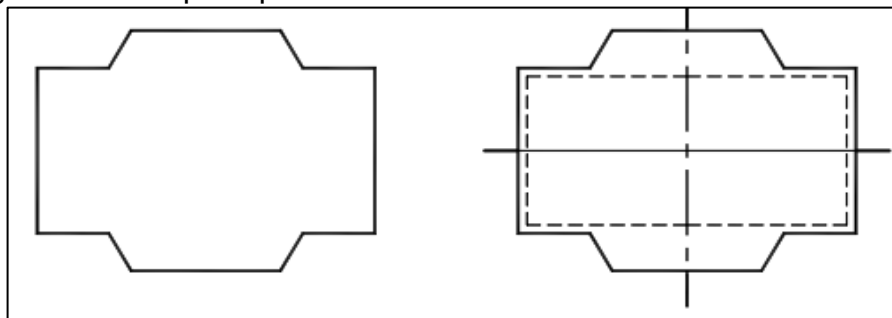
Fuente: NTC 2017.

- Adoquín rectangular recto. Es el adoquín tipo 1 con forma de rectángulo, en el cual cada lado de la cara de desgaste es una línea recta).
- Adoquín rectangular recto modulado, adoquín modulado. Es el adoquín rectangular recto que una vez colocado según uno o varios patrones de colocación se ajusta a una retícula definida por un módulo, siempre coincidente con el eje de las juntas. La longitud estándar y el ancho estándar de este tipo de adoquines deben ser iguales a un múltiplo del módulo, menos el ancho de una junta estándar.

NOTA 1: El adoquín rectangular recto modulado más corriente es el que se ajusta al módulo de 100 mm. Consecuentemente, para una junta estándar de 2 mm, tiene una longitud estándar (l_e) de 198 mm y un ancho estándar (a_e) de 98 mm.

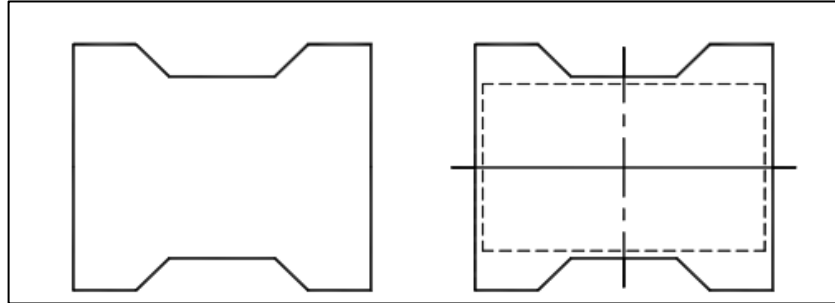
- Adoquín tipo 2, adoquín no rectangular. Es el adoquín con forma única, diferente a la rectangular, que sólo se puede colocar siguiendo un sólo patrón de colocación en hiladas. Algunas de las variantes de forma del adoquín tipo 2 son los adoquines con forma de: "I" (véase la Figura 41), "cruz" (véase la Figura 42), "S" (véase la Figura 43), y "trébol" (véase la Figura 44).

Figura 41. Adoquín tipo 2 "Cruz".



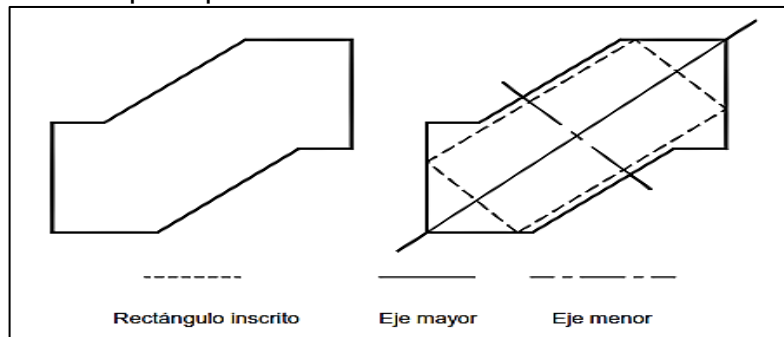
Fuente: NTC 2017.

Figura 42. Adoquín tipo 2 "Hueso de perro", "I".



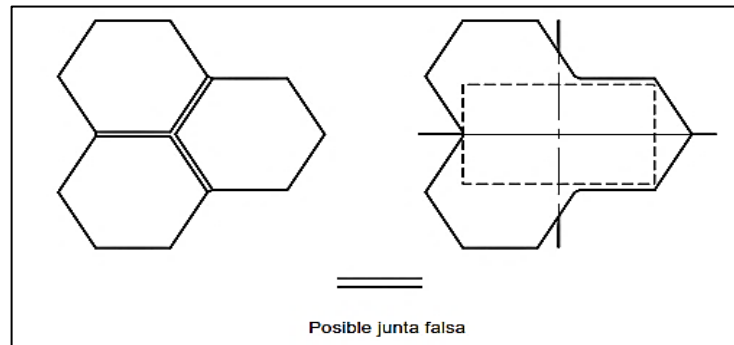
Fuente: NTC 2017.

Figura 43. Adoquín tipo 2 "Volverbund".



Fuente: NTC 2017.

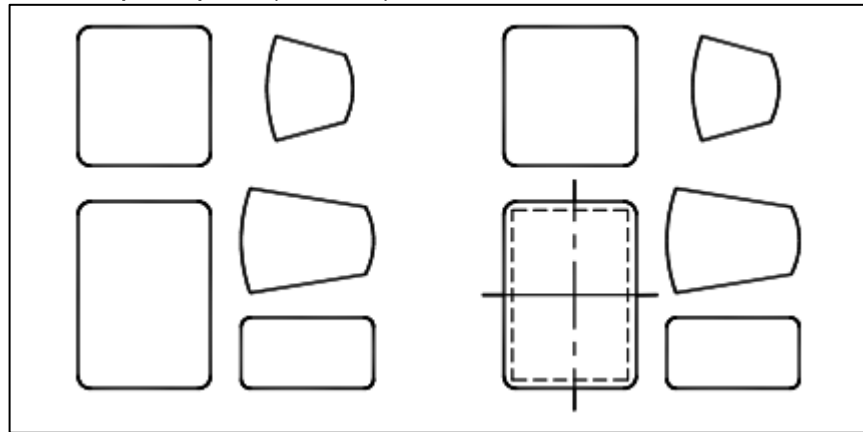
Figura 44. Adoquín tipo 2 "Trébol" (Eskoo-Six, Delta).



Fuente: NTC 2017.

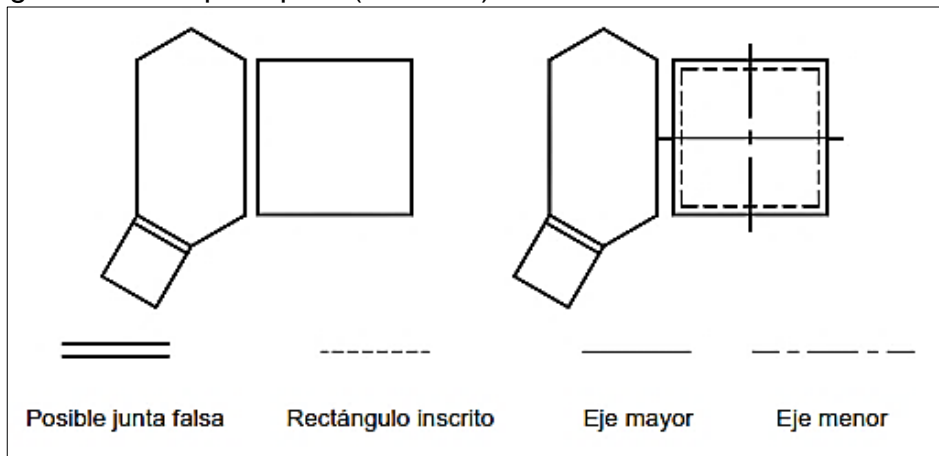
- Adoquín tipo 3, sistema de adoquines. Son los adoquines de dos o más formas que conforman una superficie completa siguiendo uno o varios patrones de colocación. Algunas de las variantes de forma del adoquín tipo 3 son los sistemas: “Clásico” (véase la Figura 45), “Simetría” (véase la Figura 46), “Figura” (véase la Figura 47).

Figura 45. Adoquín tipo 3 (Clásico).



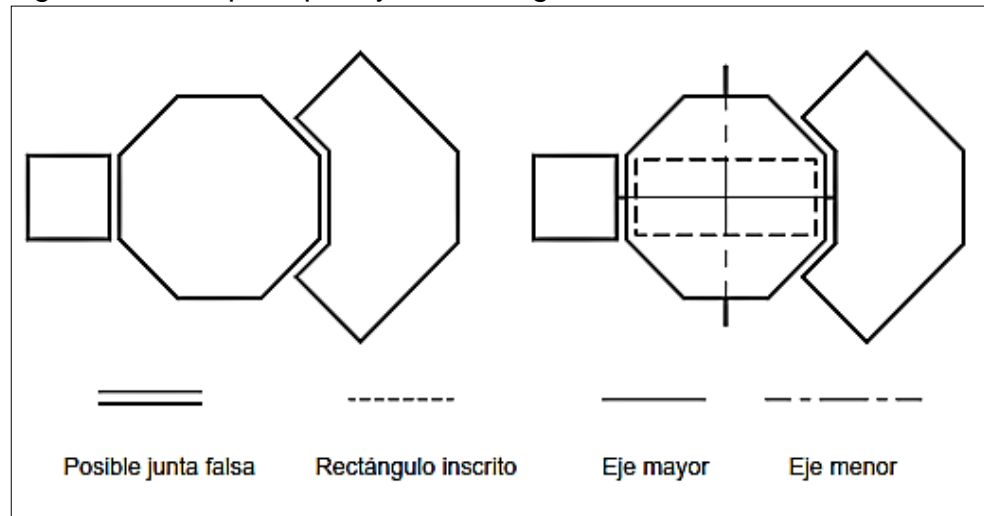
Fuente: NTC 2017.

Figura 46. Adoquín tipo 3 (Simetría).



Fuente: NTC 2017.

Figura 47. Adoquín tipo 3 y su rectángulo inscrito.



Fuente: NTC 2017.

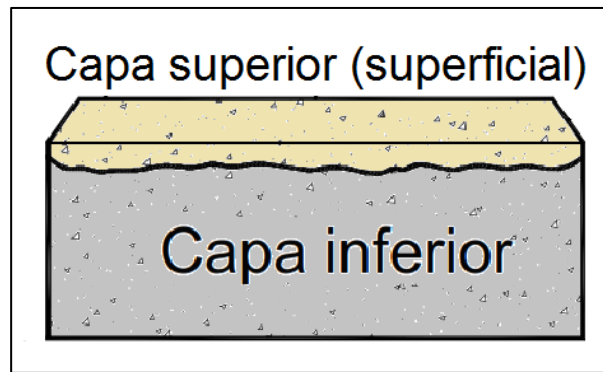
4.2.1.5. Según la masa de concreto

- Adoquín monocapa: Es el adoquín cuya masa está constituida por una sola capa de concreto de características uniformes.
- Adoquín monocapa gris. Es el adoquín monocapa cuya mezcla de concreto se elabora solamente con cemento gris.
- Adoquín monocapa coloreado. Es el adoquín monocapa a cuya mezcla de concreto se le adicionan pigmentos, o se elabora total o parcialmente con cemento blanco.
- Adoquín monocapa, coloreado y veteado. Es el adoquín monocapa coloreado, elaborado con uno o más pigmentos distribuidos irregularmente en su masa de concreto. Por lo general, se trabaja con una masa de

concreto gris o coloreada uniformemente y se le adicionan de uno a dos colores distribuidos irregularmente.

- Adoquín bicapa. Es el adoquín cuya masa está constituida por dos capas de concreto de características diferentes, la inferior contra la cara de apoyo y de concreto gris; y la superior contra la cara de desgaste y de un concreto de diferentes características que el anterior por su dosificación, textura, color, o por la incorporación de diversos tipos de agregados.

Figura 48. Adoquín bicapa.



Fuente: NTC 2017 modificado por los autores.

- Adoquín bicapa gris. Es el adoquín cuya capa superficial se elabora con cemento gris, pero con características diferentes a las de la capa inferior.
- Adoquín bicapa coloreado. Es el adoquín cuya capa superficial se elabora con una mezcla de concreto a la que se adicionan pigmentos o cemento blanco.
- Adoquín bicapa, coloreado y vetado. Es el adoquín bicapa coloreado, elaborado con uno o más pigmentos distribuidos irregularmente en la masa

de concreto de su capa superficial. Por lo general su capa superficial se trabaja con una masa de concreto coloreada uniformemente y se le adicionan uno o dos colores distribuidos irregularmente.

- Adoquín permeable. Es el adoquín elaborado con mezclas de concreto, por lo general con granulometrías discontinuas que hacen que el volumen del adoquín sea permeable, para efectos de drenaje.

4.3. REQUISITOS FÍSICOS.

4.3.1. Geométricos.

En esta sección se explican los requisitos físicos y dimensionales con los que deben cumplir los adoquines.

4.3.1.1. Dimensiones.

- Longitud. La longitud nominal (l_n) de los adoquines no debe ser menor de 50 mm ni mayor de 250 mm.

NOTA 2: La longitud nominal (l_n) de un adoquín es igual a su longitud estándar (l_e) más el ancho de una junta estándar. Aunque se especifica una longitud nominal mínima de 50 mm, ésta solo se da en unidades pequeñas pertenecientes a sistemas de adoquines como el clásico (véase la Figura 43). Por lo general, la longitud nominal de un adoquín está entre 100 mm y 200 mm.

- Ancho. El ancho nominal (a_n) de los adoquines no debe ser menor de 50 mm.

NOTA 3: El ancho nominal (a_n) de un adoquín es igual a su ancho estándar (a_e) más el ancho de una junta estándar. Aunque se especifica un ancho nominal mínimo de 50 mm, éste sólo se da en unidades pequeñas pertenecientes a sistemas de adoquines, como el clásico (véase la Figura 43). Por lo general el ancho nominal de un adoquín es del orden de 80 mm.

- Espesor. El espesor estándar (e_e) de los adoquines no debe ser menor de 60 mm, y se prefieren dimensiones que sean múltiplos de 20 mm así: 60 mm, 80 mm y, en algunos casos, 100 mm.

NOTA 4: El diseñador del pavimento define el espesor de los adoquines que se utiliza en un pavimento de adoquines de concreto. La práctica actual especifica adoquines de concreto de 60 mm de espesor para tráfico peatonal y tráfico vehicular de hasta un equivalente de 50 000 ejes estándar (ejes sencillos de 8,2 t y cuatro llantas), en el período de diseño del pavimento de adoquines; y adoquines de concreto de 80 mm de espesor para las demás aplicaciones.

- Junta estándar. El ancho de la junta estándar debe ser de 2 mm.
- Relación entre las dimensiones. La relación entre la longitud nominal (l_n) y el ancho nominal (a_n) de los adoquines no debe ser mayor de 4.
La relación entre la longitud nominal (l_n) y el espesor estándar (e_e) de los adoquines no debe ser mayor de 4. Este requisito no se aplica a las unidades complementarias o especiales.
- Tolerancias. Cada par de mediciones de la longitud real (l_r) y del ancho real (a_r) para cada espécimen de la muestra (tomadas sobre la cara de desgaste y sobre la cara de apoyo) no debe diferir entre sí en más de 1,5 mm.

Tanto la longitud real promedio (l_r) como el ancho real promedio (a_r) para cada espécimen de la muestra no deben diferir de la longitud estándar (l_e) y del ancho estándar (a_e), respectivamente, en más de 1,5 mm. Cuando los adoquines tienen acabado plano o con junta falsa, cada una de las cuatro mediciones del espesor real (e_r), tomadas para cada espécimen de la muestra no deben diferir del espesor estándar (e_e) en más de 2 mm.

La diferencia (rango) entre la mayor y la menor de las cuatro mediciones del espesor real (e_r), tomadas para cada espécimen de la muestra no debe ser mayor de 2 mm. En adoquines con acabado impreso o acabado arquitectónico (secundario), el productor debe indicar la variación adicional que se debe considerar para la tolerancia debida a dicho acabado tanto para la medición del espesor estándar (e_e) como para la diferencia máxima entre cualquier par de mediciones.

- **Aristas.** Para las aristas de la cara de desgaste de los adoquines no biselados, descritos para los adoquines no biselados, se deben aceptar desportilladuras con una dimensión tal que sus proyecciones sobre el plano horizontal (superficie de desgaste o de referencia) y sobre el plano vertical (paredes) no tengan más de 3 mm. Las desportilladuras mayores que las anteriores se deben considerar como defectos.
- **Bisel.** Los requisitos para el bisel sólo se deben aplicar para los adoquines biselados o parcialmente biselados, descritos respectivamente, en las secciones de adoquín biselado y adoquín parcialmente biselado.

El bisel debe tener igual forma o perfil en toda su longitud, tanto la proyección horizontal (phb) como la proyección vertical (pvb) del perfil del bisel deben tener mínimo 3 mm y máximo 7 mm (ver la Figura 23).

La diferencia (rango) entre la mayor y la menor de las cuatro mediciones de la proyección horizontal del bisel (phb) y de la proyección vertical del bisel (pvb), tomadas para cada espécimen de la muestra no debe ser mayor de 1,5 mm.

- Separadores. Los requisitos para separadores sólo se deben aplicar para los adoquines con separadores descritos en la sección de adoquín con separadores de esta norma. Los separadores para adoquines drenantes descritos en la sección de adoquín drenante de esta norma pueden tener dimensiones mayores y formas diferentes a las que se especifican a continuación. El productor debe definir las características de los separadores en su catálogo y éstas deben tener un ancho y un espesor uniformes en toda su longitud.

En cada pared del adoquín se debe tener un separador por cada adoquín que haga contacto con dicha pared (según los patrones de colocación que permita el adoquín o para los cuales se esté definiendo la posición de los separadores) o sea, uno por cada módulo interno del adoquín correspondiente a dicha pared; y al menos uno por cada pared (partiendo de la forma geométrica básica del adoquín como triángulo, cuadrilátero, hexágono, pentágono, octógono, etc.).

El separador correspondiente a cada módulo interno debe estar siempre en la misma posición relativa a cada módulo (lado derecho o lado izquierdo) y a una distancia del extremo del módulo no menor que 1/4 ni mayor que 1/3 de éste. El ancho de los separadores (as) no debe ser menor de 4 mm ni mayor de 15 mm.

- El espesor de los separadores (es) debe ser $2 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$. En los adoquines que se van a colocar manualmente o con máquina con sujeción por succión en la cara de desgaste, los separadores deben ir desde la cara de apoyo hasta la mitad de su espesor real, mínimo pudiendo llegar hasta el borde del bisel sobre la pared correspondiente. En los adoquines que se van a colocar con máquina con sujeción por empuje lateral sobre las paredes, los separadores deben ir hasta una distancia del borde inferior del bisel de no más de 5 mm.
- Capa superficial. Los requisitos para la capa superficial sólo se deben aplicar para los adoquines bicapa. El espesor de la capa superficial (ecs) debe ser de al menos 8 mm.
En ningún momento ni durante el uso de los adoquines ni durante su ensayo a flexotracción se debe presentar separación o desprendimiento, total o parcial, de las dos capas de los adoquines bicapa.

4.3.2. Absorción de agua.

En el momento de despacho al comprador, los adoquines de concreto deben tener una absorción de agua total ($Aa\%$) (para todo el volumen del espécimen) no superior al 7 % como valor promedio para los especímenes de la muestra.

4.3.3. Resistencia a la flexotracción (módulo de rotura (Mr)).

Los adoquines de concreto deben cumplir los requisitos de resistencia a la flexotracción o módulo de rotura (Mr) establecidos en la Tabla 19.

Tabla 19. Requisitos de flexotracción o módulo de rotura (Mr).

Módulo de rotura (Mr) a los 28 d A, Mínimo B, Mpa		Longitud de la huella (lh) Máximo, mm
Promedio de 5 especímenes	Individual	Promedio de 5 especímenes
5,0	4,2	-
4,2	3,8	23

A El módulo de rotura (Mr) se ha especificado a los 28 d. Sin embargo, los adoquines se pueden utilizar a edades más tempranas, cuando existe un historial sobre la evolución del módulo de rotura (Mr) de adoquines de iguales características, y éste indique que los primeros pueden alcanzar dicho módulo y que poseen la resistencia necesaria para ser colocados. Lo anterior, no exime de la verificación directa de la calidad de los adoquines mediante ensayos a los 28 d.

B Se pueden especificar módulos de rotura (Mr) mayores, o capas superficiales de características especiales, cuando lo requieran las condiciones de servicio como con cargas abrasivas, llantas y orugas metálicas, etc., en cuyo caso se debe consultar con los proveedores locales para averiguar por la disponibilidad de este tipo de adoquines.

Fuente: NTC 2017.

4.3.4. Resistencia a la abrasión.

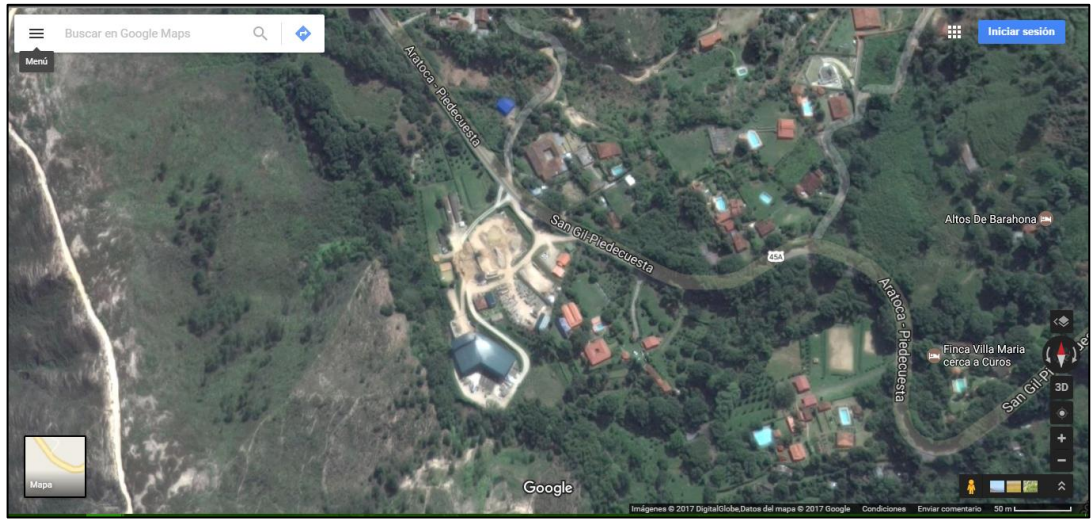
El valor promedio de la longitud de la huella de cinco especímenes sometidos al método de ensayo descrito en la NTC 5147, no podrá ser superior a 23 mm.

4.4. ADOQUINES EN UNA EMPRESA SANTANDEREANA.

Diferentes empresas han logrado obtener y optimizar sus procesos para la construcción de adoquines. Cada una de ellas deben ser conocedoras de las necesidades del mercado y en continua búsqueda por satisfacerlas, así como destacarse por la calidad e innovación a través de sus formatos, texturas y colores. Sus procesos son industrializados lo cual garantiza la calidad y homogeneidad de sus productos, además de la perfección en el acabado final.

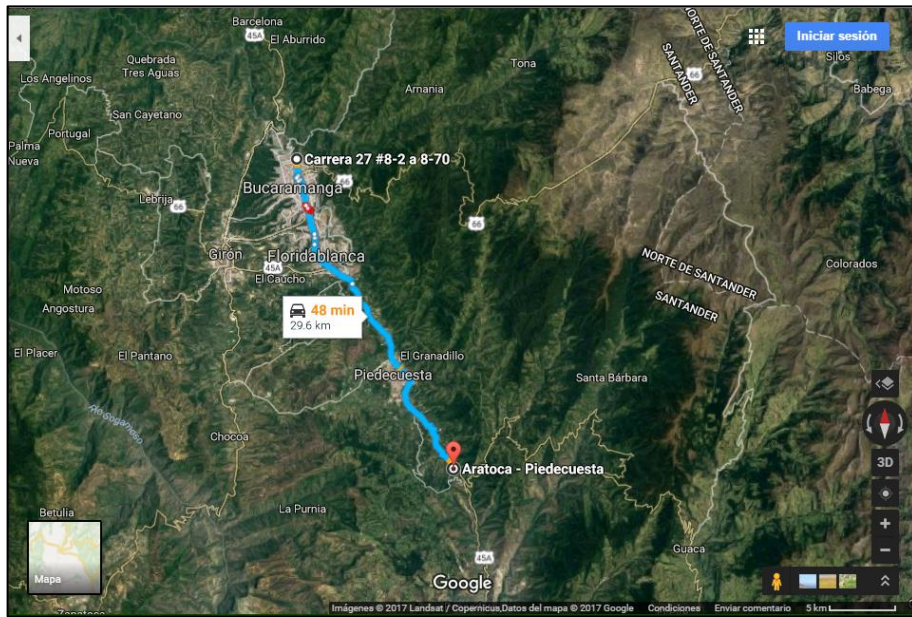
Durante el recorrido realizado por las instalaciones de la empresa, ubicada en el Km. 8 vía Piedecuesta – Curos, Finca Malibú, Santander – Colombia. (Ver Figuras 49 y 50). Fueron explicados los procesos que ésta utiliza para la construcción de adoquines, los cuales se realizan a través de una maquina especializada en dichos procesos por medio del principio de vibrocompactación. [11]

Figura 49. Ubicación Empresa constructora de Adoquines.



Fuente: Google Maps.

Figura 50. Distancia a la locación desde Bucaramanga.



Fuente: Google Maps.

Los principales materiales utilizados para la construcción del adoquín son cemento, agua y arena, donde el tamaño de la arena a utilizar depende de las

características requeridas para el adoquín y manejan dos tipos, una de tipo de grano fino (ver Figura 52) encargada de dar el acabado o apariencia al adoquín, y otra de grano grueso (ver Figura 53) encargada de dar la resistencia necesaria al adoquín.

Figura 51. Arena Utilizada en el proceso.



Figura 52. Arena de Grano Fino Utilizado.



Figura 53. Arena de Grano Grueso Utilizado.



Los bloques para piso construidos tienen tecnología bicapa que permite combinar una alta resistencia (usando la arena de tipo gruesa) con una excelente terminación de la cara a la vista (usando la arena de tipo fina) y muy resistentes al desgaste, sin perder sus propiedades físicas y mecánicas haciéndolos aptos para todo tipo de tráfico. Muchas veces si se desea mejorar la apariencia del mismo, se puede agregar pigmentos de diferentes colores.

Figura 54. Adoquín Bicapa.



5. ESTADO DEL ARTE DE LOS RIPIOS DE PERFORACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

La protección del medio ambiente es un tema de gran importancia hoy día, lo que ha llevado a tomar conciencia y practicar el reciclaje de los residuos provenientes de las diferentes industrias. Para el caso de la industria del petróleo y gas, se han desarrollado diferentes investigaciones respecto al tema del manejo de los residuos sólidos.

5.1.UTILIZACIÓN INNOVADORA DE RESIDUOS DE PERFORACIÓN COMO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.

En Taiwán realizaron una investigación del uso de los residuos de procesos de perforación para la construcción de ladrillos de construcción, bloque permeable y como un sustituto parcial de concreto [12].

5.1.1. Análisis de Toxicidad.

El material fue tomado de tres diferentes pozos perforados por CPC (Chinese Petroleum Corporation) en Taiwán, al cual se realizó un análisis TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) antes y después del tratamiento, obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 20, los resultados muestran que el componente principal era hierro y aluminio, acompañado de calcio, magnesio, potasio y manganeso en un contenido relativamente alto pero que no sobrepasan el “Standards for Defining Hazardous Waste” de la EPA (Environmental Protection Administration) de Taiwán.

Tabla 20. Resultados análisis TCLP.

Muestra		Pozo 1		Pozo 2		Pozo 3		Estándar*
Tratamiento		Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	(mg/L)
ANÁLISIS TCLP (mg/L)	Ag	ND	ND	ND	ND	ND	ND	5,0
	Al	0,1	ND	ND	ND	0,31	10,13	-
	B	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
	Ba	0,08	0,05	0,12	ND	0,42	0,73	-
	Ca	51,18	135,09	44,77	107	405	1200	-
	Cd	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1,0
	Cr	0,23	ND	0,21	0,34	0,01	0,17	5,0
	Cu	ND	ND	ND	ND	ND	ND	15,0
	Fe	4,48	ND	0,24	ND	2,32	10,87	-
	K	8,73	12,07	15,7	56,56	11,26	10,80	-
	Li	ND	ND	ND	ND	ND	0,07	-
	Mg	1,33	6,96	2,72	0,20	12,67	80,42	-
	Mn	4,00	3,23	0,95	ND	11,76	23,62	-
	Ni	ND	ND	ND	ND	0,77	0,26	-
	Pb	0,14	ND	ND	ND	ND	0,73	-
	Zn	0,06	ND	ND	ND	0,20	0,28	-
	As	0,04	ND	0,04	ND	ND	0,03	5,0
	Hg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,2
TPH		153,1	2,476	3,612	ND	ND	21,39	-
Benceno		0,085	ND	ND	ND	ND	ND	0,5
Tolueno		0,468	ND	ND	ND	ND	ND	-
Etil Benceno		0,11	ND	ND	ND	ND	ND	-
Xileno		2,39	ND	ND	ND	ND	ND	-

* Estándar: "Standards for Defining Hazardous Waste"

Fuente: SPE 106913

5.1.2. Análisis de humedad, cenizas y contenido orgánico.

El análisis de humedad, cenizas y contenido orgánico para cada muestra se da a conocer en la Tabla 21 en donde se visualiza que los mayores componentes en las muestras son el agua y componentes inertes.

Tabla 21. Propiedades de los ripios de perforación.

Muestra	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3
Contenido de Humedad (%)	78,83	81,54	27,74
Ceniza (%)	19,07	17,08	69,96
Contenido Orgánico (%)	2,10	1,38	2,30
Solidos Totales (%)	21,17	18,46	72,26
Material Volátil (%)	8,37	3,96	1,11
Contenido de solidos inertes (%)	91,63	96,04	98,89

Fuente: SPE 106913

5.1.3. Análisis de difracción de rayos X.

Se tomó una mezcla de las tres muestras y fue secada a 100°C para realizar un análisis de difracción de rayos X, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 22.

Tabla 22. Resultados prueba difracción de rayos X.

Muestras	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3
Mayores cantidades	Barita	Cuarzo	Cuarzo
	Cuarzo	Moscovita	
		Clorita	
Menores cantidades	Moscovita	Calcita	Plagioclasa
	Calcita	Caolinita	Clorita
	Caolinita	Mezcla Illita - Esméctica	Moscovita

Fuente: SPE 106913.

5.1.4. Pretratamiento de la muestra.

Las muestras fueron secadas a temperaturas que varían entre 100-105°C durante 24 horas. Posteriormente las muestras son molidas y almacenadas como materia prima. En la Figura 55 se puede ver un ejemplo de ripios secos y triturados.

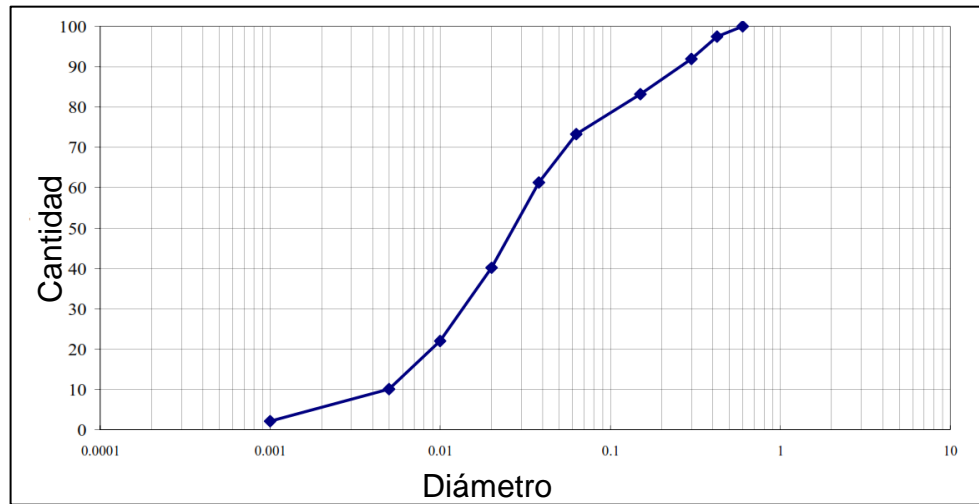
Figura 55. Muestra de ripios secos.



Fuente: Drilling Waste Management Information System.

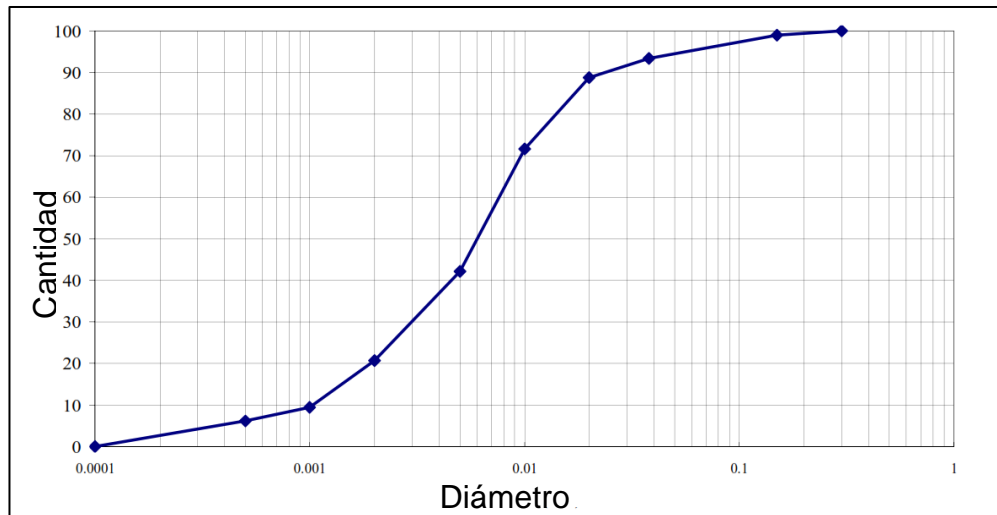
Luego se realizó un análisis del tamaño de partícula de los agregados, en donde el tamaño de partícula de la muestra del pozo 1 oscila entre 0,001 y 0,425 mm y 63% de su tamaño se encuentra situado en la región 0,005 a 0,038 mm (Ver Figura 56). El tamaño de partícula del agregado de muestra del pozo 2 osciló entre 0,001 y 0,425 mm, encontrándose el 79% entre 0,001 y 0,01 mm (Ver Figura 57). La muestra del pozo 3, que se tomó de una formación más superficial, su distribución fue similar a la muestra del pozo 1, que varió de 0,001 a 0,425 mm, el 76% distribuido entre 0,02 y 0,15 mm (Ver Figura 58).

Figura 56. Distribución del tamaño de partícula de ripios del pozo 1.



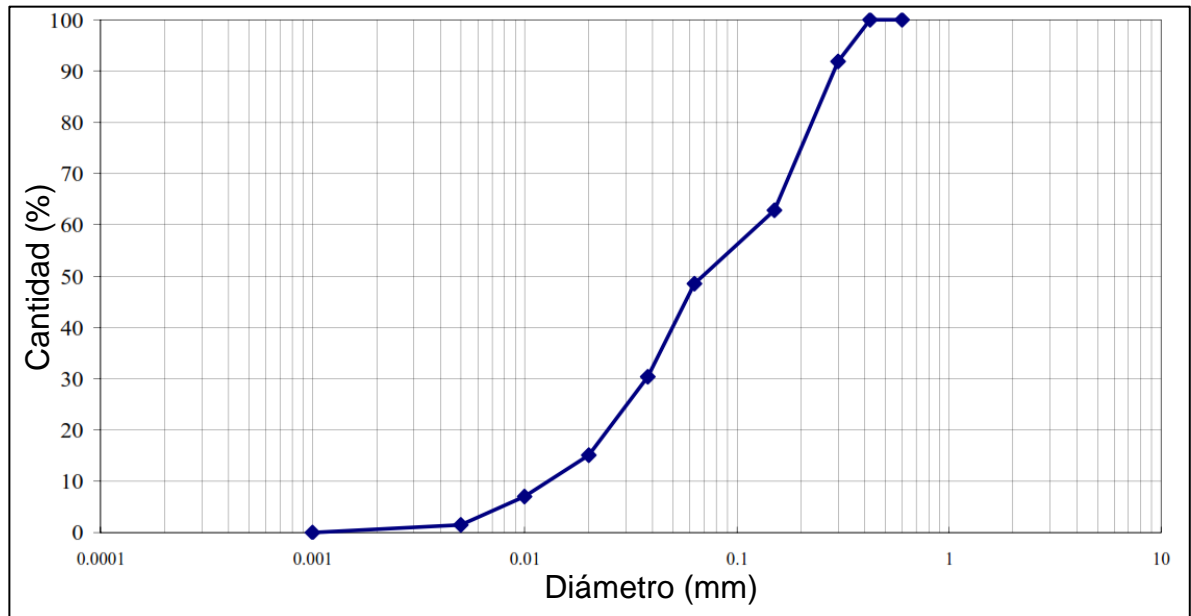
Fuente: SPE 106913, editada por los autores.

Figura 57. Distribución del tamaño de partícula de ripios del pozo 2.



Fuente: SPE 106913, editada por los autores.

Figura 58. Distribución del tamaño de partícula de ripios del pozo 3.



Fuente: SPE 106913, editada por los autores.

5.1.5. Manufactura del bloque permeable.

El procedimiento que se llevó a cabo para la elaboración del bloque permeable fue el siguiente:

- a) Tomar una cantidad adecuada de desechos de perforación secos, triturados, pretratados, añadir una cantidad adecuada de agua para producir material granular en bruto, luego sinterice a alta temperatura para formar el material granular bien hecho.
- b) Tomar el material granular bien hecho del procedimiento a), añada un poco de arcilla y 10-20% de agua, revuelva suficientemente como lechada.
- c) Verter la lechada en el molde.
- d) Formar la muestra con una presión de 8000-12000 lb_f (75-112 kg_f/cm^2), luego extraiga la muestra del molde.
- e) Calentar la muestra del bloque permeable en el horno de alta temperatura, luego sacar el producto final.

- f) Medir la resistencia a la compresión y el coeficiente de permeabilidad del producto de bloque permeable.

5.1.6. Análisis de resultados.

De los resultados obtenidos se encontró que el esfuerzo de compresión del bloque permeable a partir de residuos de perforación se encuentra entre 362 y 1079 kg_f/cm^2 , el coeficiente de permeabilidad está entre $3,90 \times 10^{-3}$ y $8,10 \times 10^{-3}$ cm/s , lo que demuestra que el bloque permeable tiene viabilidad técnica. El esfuerzo de compresión del bloque hecho a partir de ripios de perforación puede alcanzar el estándar de un bloque de clase B (esfuerzo de compresión no debe ser menor a 500 kg_f/cm^2) y algunos productos incluso alcanzan el estándar de bloque de clase A (esfuerzo de compresión no debe ser menor a 650 kg_f/cm^2) lo que muestra que es muy factible utilizar los ripios de perforación como materia prima del bloque para la construcción. La permeabilidad se encuentra por encima de 1×10^{-3} cm/seg , lo que significa que es una buena propiedad.

Finalmente, la reutilización de los residuos en los bloques permeables casi alcanza el 90%, y sus propiedades de ingeniería se ajustan a las exigencias del mercado, lo que demuestra la alta factibilidad del producto fabricado en la investigación y por lo tanto se sugiere preliminarmente que el bloque permeable puede ser un producto con alto potencial.

Tabla 23. Resultado de pruebas para Bloque permeable.

Origen	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3
Contenido de Ripios (%)	90	89	89
Esfuerzo de compresión, kg_f/cm^2	362	499	1079
Coeficiente de permeabilidad (@15°C), cm/seg.	$3,9 \times 10^{-3}$	$5,37 \times 10^{-3}$	$8,10 \times 10^{-3}$

Fuente: SPE 106913.

En la Figura 59, se muestra uno de los resultados obtenidos de su investigación, en la que se aprecia el bloque fabricado con características similares a las de un bloque convencional.

Figura 59. Bloques construidos a partir de ripios de perforación.



Fuente: SPE 106913.

5.2. UTILIZACIÓN DE RECORTES DE PERFORACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE LOCACIONES

En Argentina, se aplicó la utilización del material como sustrato en la construcción de nuevas locaciones de pozos, realizando una mezcla de los ripios con material calcáreo para mejorar las propiedades de plasticidad y una más alta densidad (ver Figura 60).

La densidad máxima de los recortes de perforación obtenida fue de 1.763 kg/m³, con una humedad del 14,5%. Teniendo en cuenta que el material calcáreo utilizado normalmente como subrasante en las locaciones tiene una densidad máxima de 1.967 kg/m³ a una humedad óptima de 9,3%, se estableció la conveniencia de utilizar los recortes de perforación como capa sub-base en los primeros 20 cm de la locación.

Finalmente, en los ensayos constructivos efectuados en las locaciones se demostró que el empleo de recortes de perforación no compromete la integridad de las mismas, alcanzándose los niveles de compactación e impermeabilidad necesarios. De manera adicional, los análisis físico-químicos y de toxicidad realizados, dictaminaron que no existe riesgo ambiental asociado a la utilización de los recortes como material de relleno [13].

Figura 60. Mezcla de ripios con material calcáreo.



Fuente: Utilización de recortes de perforación en la construcción de locaciones.

5.3. REUTILIZACIÓN DE LOS RIPIOS DE PERFORACIÓN EN BASE AGUA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

5.3.1. Propiedades mecánicas de ripios de perforación base agua, utilizados.

En Ecuador se realizó una investigación en la cual se utilizan los ripios de perforación en base agua como material de construcción [14], sus propiedades mecánicas se muestran en la Tabla 24.

Tabla 24. Propiedades mecánicas en ripios de perforación base agua.

Propiedades		Resultados de Análisis				
		2009	2010	2011	2012	Nuevo 2012
Humedad Natural (%)		7	6	8	6	4
Limites ATTERB ERG	Limite liquido (%)	53	51	44	47	42
	Limite Plástico (%)	37	34	31	35	31
	Índice de Plasticidad (%)	16	16	14	13	12
Análisis granulométrico	Grava (%)	0	0	1	0	0
	Arena (%)	9	7	10	10	11
	Finos (%)	93	93	89	89	89
	% Finos (menor a 0,005 mm)	37	33	33	29,5	24
	% Finos (menor a 0,002 mm)	24	22	18	16	12
Clasificación de suelos (SUCS)		MH (Limo inorgánico de alta Plasticidad)	MH (Limo inorgánico de alta Plasticidad)	ML (Limo inorgánico)	ML (Limo inorgánico)	ML (Limo inorgánico)

Fuente: Reutilización de los ripios de perforación en base agua como material de construcción.

5.3.2. Desarrollo de pruebas.

Se realizaron pruebas que consistieron en la elaboración de ladrillos a partir de cinco muestras representativas, cada una de un periodo de disposición final diferente (ver Tabla 25) con una variación de las humedades, entre 21,0% y 26,4%, con el fin de identificar como afecta el tiempo de disposición final de los rípios en las celdas de confinamiento frente a las propiedades de resistencia a la compresión inconfínada. En otra de las pruebas se mezcló y homogenizó manualmente las cinco muestras representativas con y sin agregados a una humedad óptima de 26,4%, con el fin de comprobar cómo afecta la adición de agregados a la resistencia a la compresión inconfínada (ver tabla 26).

Tabla 25. Celdas de muestreo de rípios de perforación.

Periodo Disposición Final	Zona de rípios de perforación	No. celdas cerradas	No. celdas muestreadas	No. muestras representativas
2009	Estación Shushufindi 40	23	8	1
2010	Estación Shushufindi 40	14	5	1
2011	Estación Shushufindi 40	34	8	1
2012	Estación Shushufindi 40	8	6	1
NUEVOS 2012	Estación Shushufindi 40	11	3	1
TOTAL		90	30	5

Fuente: Reutilización de los rípios de perforación en base agua como material de construcción.

Tabla 26. Composición ladrillos experimentados.

No. Experimento	Masa Total Mezcla (gr)	Muestra Representativa	Humedad (%)	Arena (%)	Tierra (%)	Especímenes Fabricados
1 ^{er} . Experimento	700	2009	21,00%	-	-	3
	700	2010	21,00%	-	-	3
	700	2011	21,00%	-	-	3
	700	2012	21,00%	-	-	3
	700	Nuevos 2012	21,10%	-	-	3
	700	2009	26,40%	-	-	3
	700	2010	26,40%	-	-	3
	700	2011	26,40%	-	-	3
	700	2012	26,40%	-	-	3
	700	Nuevos 2012	26,40%	-	-	3
2 ^{do} . Experimento	700	Compuesta	26,40%	-	-	3
	700	Compuesta	26,40%	-	5%	3
	700	Compuesta	26,40%	-	10%	3
	700	Compuesta	26,40%	-	15%	3
	700	Compuesta	26,40%	5%	-	3
	700	Compuesta	26,40%	10%	-	3
	700	Compuesta	26,40%	15%	-	3
No. Total de Especímenes Fabricados						51

Fuente: Reutilización de los ripios de perforación en base agua como material de construcción.

5.3.2.1. Resistencia a la Compresión inconfiada en ladrillos.

Los ladrillos fabricados fueron sometidos a pruebas para el análisis de la resistencia a la compresión inconfiada. En el primer experimento se puede observar como los ladrillos elaborados con la humedad optima presentan una tendencia en la resistencia mayor que la los del 21%, de igual manera los ladrillo que están elaborado con ripios de perforación más antiguos presentan mayor resistencia. En el segundo experimento se observa que no existe un cambio significativo en las resistencias cuando tienen agregados. En la Tabla 27 se muestran los resultados obtenidos y en la que se resaltan

las dos muestras que tienen la mayor resistencia para el 1^{er} experimento y para el 2^{do} experimento.

Tabla 27. Resistencia a la compresión inconfiada de ladrillos.

No. Experimento	Muestra Representativa	Ripio de Perforación	Humedad (%)	Media Resistencia a la compresión (Mpa)
1er. Experimento	2009	100%	21,00%	23,80
	2010	100%	21,00%	19,39
	2011	100%	21,00%	21,58
	2012	100%	21,00%	15,25
	Nuevos 2012	100%	21,10%	13,69
	2009	100%	26,40%	19,02
	2010	100%	26,40%	23,49
	2011	100%	26,40%	25,06
	2012	100%	26,40%	22,38
	Nuevos 2012	100%	26,40%	18,07
2do. Experimento	Compuesta	100%	26,40%	22,64
	Compuesta	95%	26,40%	18,78
	Compuesta	90%	26,40%	17,16
	Compuesta	85%	26,40%	16,38
	Compuesta	95%	26,40%	23,52
	Compuesta	90%	26,40%	22,91
	Compuesta	85%	26,40%	20,90

Fuente: Reutilización de los rípios de perforación en base agua como material de construcción. Editada por los autores.

5.3.2.2. Prueba de Lixiviación en ladrillos.

En la Tabla 28 se observan los resultados de lixiviación de los ladrillos, los cuales, según la legislación de Ecuador, no presentan toxicidad.

Tabla 28. Toxicidad de ladrillos con ripios de perforación.

% Agregados	Humedad	Metales Pesados (TCLP) e Hidrocarburos Totales de Petróleo				
		Bario, mg/L	Cromo, mg/L	Cadmio, mg/L	Níquel, mg/L	TPH, mg/L
0%	21,0%	0,13	0,0092	<0,0005	<0,005	<0,5
0%	26,4%	0,11	0,0085	<0,0005	<0,005	<0,5
5 % Tierra	26,4%	0,15	0,011	<0,0005	<0,005	<0,5
10% Tierra	26,4%	0,092	0,015	<0,0005	<0,005	<0,5
15 % Tierra	26,4%	0,14	0,012	<0,0005	<0,005	<0,5
5 % Arena	26,4%	0,14	0,012	<0,0005	<0,005	<0,5
10% Arena	26,4%	0,16	0,0095	<0,0005	<0,005	<0,5
15 % Arena	26,4%	0,048	0,053	<0,0005	<0,005	<0,5
Norma	NOM-052-SEMARN AT-1993	100	-	1	5	-
	RAOHE 1215. Tabla 7a	<5	<1	<0,05	-	-
	RAOHE 1215. Tabla 7b	<10	<10	<0,5	<1	<50

Fuente: Reutilización de los ripios de perforación en base agua como material de construcción. Editada por los autores.

5.3.3. Resultados.

Los ladrillos fabricados con la mezcla de las muestras representativas sin la adición de agregados y con el 26.4% de humedad, resultó ser la opción más adecuada para la puesta en práctica ya que el ripio mencionado es la materia prima, lo que hace al proyecto técnicamente aplicable, obteniendo resistencias promedio de 22,6 Mpa los cuales se clasifica como tipo B según la Norma NTE INEN 297 y tiene aplicación en la construcción de muros interiores y exteriores que no estén expuestos a condiciones extremas de lluvia.

5.4 ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

En el recorrido realizado por el estado del arte, se pueden apreciar características que son propias de acuerdo al lugar de obtención de los ripios de perforación, y así mismo las aplicaciones que a éstos se les dio de acuerdo a sus características finales. En la tabla 29, se resumen dichas características, en donde se puede apreciar que, la categoría común en cada uno de los casos es la de las arenas.

Tabla 29. Características principales de los ripios de perforación

CARACTERÍSTICA	CASO 1 (2007)	CASO 2 (2013)	CASO 3 (2014)
TAMAÑO DE PARTICULA	Arena y limo	Grava, arena y limo	Arena y limo
% HUMEDAD	81,54	14,5	8
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	105,8 MPa	31,97 MPa	22,6 MPa
UTILIDAD	Bloques Permeables Tipo A (CNS13295, A2255)	Sub-base Locación	Ladrillos Tipo B (Norma NTE INEN 297)

A manera de resumen se puede evidenciar que a nivel internacional se han realizado trabajos de investigación referente a la reutilización de los ripios como material para la construcción de adoquines, sin embargo, a nivel de Colombia el trabajo que se ha desarrollado frente a este tema ha sido nulo, y de acuerdo a lo anterior, se puede dar inicio a estas nuevas aplicaciones en áreas como la Cuenca de los Llanos Orientales en donde prevalece la litología requerida para esta funcionalidad, de areniscas masivas.

6. CONCLUSIONES

- La litología necesaria para la construcción de adoquines con materia prima proveniente de ripios de perforación, debe estar compuesta de solamente arenas, para asegurar el cumplimiento de los requisitos de resistencia de los adoquines, así como también de humedad de acuerdo a la normativa pertinente.
- Debido a que los ripios y su composición están dados de acuerdo al lugar en donde se realiza la perforación, así como también el lodo base agua utilizado, los equipos y tecnologías que se presentaron pueden proveer el tratamiento necesario para la disposición de ellos como material de construcción de adoquines.
- Los diferentes antecedentes presentados, demuestran la viabilidad técnica y ambiental de la utilización de los ripios obtenidos en procesos de perforación como material de construcción, para subrasantes, ladrillos y adoquines.
- En el marco ambiental, se evita la acumulación de recortes de perforación, y en consecuencia la afectación de áreas adicionales para la disposición de los mismos, eliminando el problema del espacio en locaciones que tienen limitación de espacio y en las demás locaciones en general y se brinda un uso que puede contribuir al bienestar de las comunidades del área de influencia donde se desarrollan los proyectos de perforación.

7. RECOMENDACIONES

- Realizar una caracterización litológica con ripios de perforación obtenidos de los campos colombianos, para determinar su posible utilidad para la construcción de adoquines.
- Realizar la construcción de los adoquines, utilizando los ripios de perforación como materia prima, y en diferentes proporciones, para la realización de pruebas de laboratorio que respalden el estudio teórico realizado.
- Proponer otros tipos de usos para los ripios de perforación en la industria de la construcción, como ladrillos, bloques de construcción y ornamentación, teniendo en cuenta los impactos que se mitigan debido a la disposición de éstos en otras áreas.
- Realizar un estudio de factibilidad económica, que permita identificar la rentabilidad del proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Baroid-Halliburton Company. Manual de Fluidos de Perforación. Houston, Texas, 2000.

- [2] Agencia Nacional de Hidrocarburos. Cuenca de los Llanos Orientales, Integración Geológica de la Digitalización y Análisis de Núcleos. Diciembre 2012.

- [3] MALAGON, Jonathan., RUIZ, Carlos., MONTOYA, Germán. La competitividad del sector de hidrocarburos en las diferentes regiones de Colombia. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD. Junio, 2016.

- [4] Agencia Nacional de Hidrocarburos. Cuenca del Valle Medio del Magdalena, Integración Geológica de la Digitalización y Análisis de Núcleos. Diciembre, 2012.

- [5] COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente de acuerdo al Decreto 2811 de 1974.

- [6] COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto número 4741 (30, diciembre, 2005). Por el cual se

reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.

[7] K. Torres, “Análisis de los impactos ambientales generados por el tratamiento y disposición final de los residuos aceitosos (borras) generados en los distritos de producción de Hidrocarburos”, Universidad Nacional de Colombia, cap. 3, p.23, 2014.

[8] Instituto Americano del Petróleo. Manual de Fluidos de Perforación Energy API. Manual MI. Dallas, Texas, USA, cap. 8, pp. 247-271.

[9] Sierra Baena, Miguel Ángel, “Lecturas sobre lodos de perforación / Medellín: Universidad Nacional de Colombia”, Sede Medellín, 2000.

[10] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Adoquines de concreto para pavimentos. NTC 2017. Segunda actualización. Bogotá D.C.: ICONTEC, 2004. 38 p.

[11]BAS S.A.S. BLOQUES Y ADOQUINES DE SANTANDER. Bucaramanga. 2017

[12]TA-LIN, Chen., SUNLONG, Ling., ZSAY-SHIN, Lin., 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.

[13]CHIAPPORI, Lucas., et al. Utilización de recortes de perforación en la construcción de locaciones. Petrobras Argentina S.A. Petrotecnia, octubre, 2013.

[14]ROJAS BLANCO, Sara. Reutilización de los ripios de perforación en base agua como material de construcción. Trabajo tesis de grado maestría de sistemas de gestión ambiental. Sangolquí: Universidad de las fuerzas armadas, ESPE. 2014.

BIBLIOGRAFÍA

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

BAROID-HALLIBURTON COMPANY. Manual de Fluidos de Perforación. Houston, Texas. 2000.

CASTELBLANCO CASALLAS, Iván; NIÑO AVENDAÑO, Jhon. Manejo y tratamiento actual de residuos aceitosos en la industria petrolera colombiana. Trabajo de grado Ingeniería de Petróleos. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad Ingeniería Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. 2011.

CELY SALAZAR, Juan; RIVERA PÉREZ, Jackson. Caracterización físico-química de lodos dispuestos en piscinas decampo colorado como primera fase de un proceso de remediación. Trabajo de grado Ingeniería de Petróleos. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad Ingeniería Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. 2013.

CHIAPPORI, Lucas., et al. Utilización de recortes de perforación en la construcción de locaciones. Petrobras Argentina S.A. Petrotecnia, octubre, 2013.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Decreto Ley 2811 de 1974. Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto número 4141 (30, diciembre, 2005). Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.

DI MARCO, Raúl. Diseño y Elaboración de un Sistema de Adoquines de Bajo Costo y Material Reciclado para Construcciones en Núcleos Rurales. Universidad Libre de Colombia, El Socorro, 2015.

INSTITUTO AMERICANO DEL PETRÓLEO. Manual de Fluidos de Perforación Energy API. Manual MI. Dallas, Texas, USA, 2001.

LIZARAZO SARMIENTO, Julián; LEAL BECERRA, Christian. Estudio para la implementación de reinyección de recortes durante la perforación de pozos. Trabajo de grado Ingeniería de Petróleos. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad Ingeniería Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. 2011.

ROJAS BLANCO, Sara. Reutilización de los ripios de perforación en base agua como material de construcción. Trabajo tesis de grado maestría de sistemas de gestión ambiental. Sangolquí: Universidad de las fuerzas armadas, ESPE. 2014.

SIERRA BAENA, Miguel Ángel. Lecturas sobre lodos de perforación / Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. 2000.

TA-LIN, Chen., SUNLONG, Ling., ZSAY-SHIN, Lin., 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.

TORRES, K. Análisis de los impactos ambientales generados por el tratamiento y disposición final de los residuos aceitosos (borras) generados en los distritos de producción de Hidrocarburos. Universidad Nacional de Colombia. 2014.

VEIL, John A, et al. Innovative Website for Drilling Waste Management. SPE 80603. San Antonio, Texas, U.S.A., 10-12 March, 2003.

ANEXOS

ANEXO A. Sistemas de fluidos de perforación base agua.

SISTEMA THERMA-DRIL

ADITIVO	FUNCIÓN	CONCENTRACIONES TÍPICAS lb/bbl
Carbonato de sodio	Removedor de dureza	0-0.2
AQUAGEL	Viscosificador	5-8
THERMA-THIN	Desfloculante	3-5
Soda Cáustica	Fuente de alcalinidad	Según se requiera
THERMA-CHEK	Agente de control de filtración	4-8
BAROID	Agente densificante	Según se requiera
BARASCAV	Secuestrante de oxígeno	0.25-1
*THERMA-VIS	Viscosificador	0-1.5
*BARACOR 95	Secuestrante de dióxido de carbono	0-0.8

Fuente: Manual de Fluidos de Perforación, Baroid.

SISTEMA POLYNOX

ADITIVO	FUNCIÓN	CONCENTRACIONES TÍPICAS lb/bbl
AQUAGEL	Viscosificador	10-25
LIGNOX	Desfloculante	4-8
Soda Cáustica	Fuente de alcalinidad	2-6
CAL	Fuente de calcio	4-12
CARBONOX	Desfloculante/ agente de control de pérdida de fluido	8-12
DEXTRID IMPERMEX	Agente de control de pérdida de fluido hasta 250°F	4-6
BAROID	Agente densificante	Según se requiera
*THERMA-CHEK	Agente de control de pérdida de fluido	1-2
*BARANEX	Agente de control de pérdida de fluido hasta 350°F	4-8
*THERMA-THIN	Desfloculante AT	1-4
BARAZAN PLUS/ D PLUS	Viscosificador	Según se requiera

Fuente: Manual de Fluidos de Perforación, Baroid.

SISTEMA PAC/DEXTRID

ADITIVO	FUNCIÓN	CONCENTRACIONES TÍPICAS lb/bbl
AQUAGEL	Viscosificador en formulación inicial	5-8
DEXTRID	Agente de control de filtración	4-6
PAC		1.5-4
Soda Cáustica	Fuente de alcalinidad	0.5-1
BAROID	Agente densificante	Según se requiera
*BARAZAN PLUS	Viscosificador en formulación inicial	0.25-1
*Carbonato de Sodio	Reductr de dureza del agua de relleno	Según se requiera
*KCl/NaCl	Inhibidor de lutitas reactivas	
*THERMA-THIN	Desfloculante	
*BARASCAV	Secuestrante de oxígeno	
*CAL	Secuestrante de dióxido de carbono	

Fuente: Manual de Fluidos de Perforación, Baroid.

SISTEMA ENVIRO-THIN

ADITIVO	FUNCIÓN	CONCENTRACIONES TÍPICAS lb/bbl
AQUAGEL	Viscosificador	15-25
ENVIRO-THIN	Desfloculante	2-8
Soda Cáustica	Fuente de alcalinidad	Según se requiera
CARBONOX	Agente de control de pérdida de fluido	2-10
PAC		0.5-2
BAROID	Agente densificante	Según se requiera
*EZ-MUD	Estabilizador de lutitas	0.25-0.5
*BARAZAN PLUS	Viscosificador	0.5
*BARO-TROL	Agente de control de pérdida de fluido	2-6
*BARASCAV	Secuestrante de oxígeno	0.1-0.2
*Bicarbonato de sodio	Agente de control de dureza	Según se requiera
*THERMA-THIN	Desfloculante	0.5-1

Fuente: Manual de Fluidos de Perforación, Baroid.

SISTEMA CAT-I

ADITIVO	FUNCIÓN	CONCENTRACIONES TÍPICAS lb/bbl
CAT-GEL	Base costra de filtro	8-12
BARACAT	Inhibición/ agente de control de filtración	3-6
CAT-HI	Viscosificador	0.25-0.5
CAT-LO	Viscosificador/ agente de control de filtración	0.75-3
BARA-DEFOAM1 BARABRINE DEFOAM	antiespumante	0.05
CAT-300	Agente de control de filtración	1.5-6
Soda Cáustica	Fuente de alcalinidad	0.25-1
BAROID	Agene densificante	Según se requiera
CAT-VIS	Viscosificador	0.25-0.75
ALDACIDE G	Microbicida	0.02-0.04 gal
*BARASCAV D	Secuestrante de oxígeno	0.1-0.5

Fuente: Manual de Fluidos de Perforación, Baroid.

SISTEMA CARB.AKTAFLO-S

ADITIVO	FUNCIÓN	CONCENTRACIONES TÍPICAS lb/bbl
AQUAGEL	Viscosificador/agente de control de filtración	8-20
CARBONOX	Adelgazante/agente de control de filtración	10-30
*Q-BROXIN	Adelgazante hasta 350°F	2-6
Soda Cáustica	Fuente de alcalinidad	
AKTAFLO-S	surfactante	4-8
BAROID	Agente densificante	Según se requiera
BARO-TROL	Agente de control de filtración	4-8
*PAC-L *PAC-R	Agente de control de filtración hasta 300°F	0.25-1.5
*Cal	Fuente de alcalinidad	0.25-1
*BARODENSE	Agente densificante	Según se requiera
*BARANEX	Agente de control de filtración hasta 350°F	4-6

Fuente: Manual de Fluidos de Perforación, Baroid.

ANEXO B. Decreto número 2811 de 1974

REPUBLICA DE COLOMBIA

“Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.”

EL PRESIDENTE DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA,

En ejercicio de las facultades extraordinarias conferidas por la ley 23 de 1973 y previa consulta con las comisiones designadas por las cámaras legislativas y el Consejo de Estado, respectivamente,

DECRETA:

El siguiente será el texto del Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente:

TITULO PRELIMINAR

CAPITULO UNICO

Artículo 1°. El ambiente es patrimonio común. El Estado y los particulares deben participar en su preservación y manejo, que son de utilidad pública e interés social. La preservación y manejo de los recursos naturales renovables también son de utilidad pública e interés social.

Artículo 2°. Fundado en el principio de que el ambiente es patrimonio común de la humanidad y necesario para la supervivencia y el desarrollo económico y social de los pueblos, este Código tiene por objeto:

- 1) Lograr la preservación y restauración del ambiente y la conservación, mejoramiento y utilización racional de los recursos naturales renovables, según criterios de equidad que aseguren el desarrollo armónico del hombre y de dichos recursos, la disponibilidad permanente de estos y la máxima

participación social, para beneficio de la salud y el bienestar de los presentes y futuros habitantes del territorio nacional.

- 2) Prevenir y controlar los efectos nocivos de la explotación de los recursos naturales no renovables sobre los demás recursos.
- 3) Regular la conducta humana, individual o colectiva y la actividad de la administración pública, respecto del ambiente y de los recursos naturales renovables y las relaciones que surgen del aprovechamiento y conservación de tales recursos y de ambiente.

Artículo 3°. De acuerdo con los objetivos enunciados, el presente Código regula:

- c) Los demás elementos y factores que conforman el ambiente o influyan en él, denominados en este Código elementos ambientales, como:
 - 1) Los residuos, basuras, desechos y desperdicios.
 - 2) El ruido.
 - 3) Las condiciones de vida resultantes de asentamiento humano urbano o rural.
 - 4) Los bienes producidos por el hombre, o cuya producción sea inducida o cultivada por él, en cuanto incidan o puedan incidir sensiblemente en el deterioro ambiental.

PARTE IV: DE LAS NORMAS DE PRESERVACIÓN AMBIENTAL RELATIVAS A ELEMENTOS AJENOS A LOS RECURSOS NATURALES

TITULO III: DE LOS RESIDUOS, BASURAS, DESECHOS Y DESPERDICIOS

Artículo 34°. En el manejo de residuos, basuras, desechos y desperdicios, se observarán las siguientes reglas:

- a) Se utilizarán los mejores métodos, de acuerdo con los avances de la ciencia y la tecnología, para la recolección, tratamiento, procesamiento o disposición

final de residuos, basuras, desperdicios y, en general, de desechos de cualquier clase.

- b) La investigación científica y técnica se fomentará para:
- 1) Desarrollar los métodos más adecuados para la defensa del ambiente, del hombre y de los demás seres vivientes.
 - 2) Reintegrar al proceso natural y económico los desperdicios sólidos, líquidos y gaseosos, provenientes de industrias, actividades domésticas o de núcleos humanos en general.
 - 3) Sustituir la producción o importación de productos de difícil eliminación o reincorporación al proceso productivo.
 - 4) Perfeccionar y desarrollar nuevos métodos para el tratamiento, recolección, depósito y disposición final de los residuos sólidos, líquidos o gaseosos no susceptibles de nueva utilización.
- c) Se señalarán medios adecuados para eliminar y controlar los focos productores del mal olor.

Artículo 35°. Se prohíbe descargar, sin autorización, los residuos, basuras y desperdicios y, en general, de desechos que deterioren los suelos o causen daño o molestia a individuos o núcleos humanos.

Artículo 38°. Por razón del volumen o de la calidad de los residuos, las basuras, desechos o desperdicios, se podrá imponer a quien los produce la obligación de recolectarlos, tratarlos o disponer de ellos, señalándole los medios para cada caso.

ANEXO C. Decreto 4741 del 2005

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL

“Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral”

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA

En ejercicio de las facultades conferidas en el numeral 11 del artículo 189 de la Constitución Política de Colombia y en desarrollo de lo previsto en los artículos 34 al 38 del Decreto-ley 2811 de 1974, el artículo 4° de la Ley 253 de 1996, y los artículos y al 9° de la Ley 430 de 1998,

DECRETA:

Capítulo I: Objeto y alcance

Artículo 1°. Objeto. En el marco de la gestión integral, el presente decreto tiene por objeto prevenir la generación de residuos o desechos peligrosos, así como regular el manejo de los residuos o desechos generados, con el fin de proteger la salud humana y el ambiente.

Artículo 2° Alcance. Las disposiciones del presente decreto se aplican en el territorio nacional a las personas que generen, gestionen o manejen residuos o desechos peligrosos.

Capítulo II: Clasificación, caracterización, identificación y presentación de los residuos o desechos peligrosos

Artículo 5°. Clasificación de los residuos o desechos peligrosos. Los residuos o desechos incluidos en el anexo I del presente decreto (Anexo B) se consideran peligrosos a menos que no presenten ninguna de las características de peligrosidad descritas en el anexo III del presente decreto.

El generador podrá demostrar ante la autoridad ambiental que sus residuos no presentan ninguna característica de peligrosidad, para lo cual deberá efectuar la caracterización físico-química de sus residuos o desechos. Para tal efecto, el generador podrá proponer a la autoridad ambiental los análisis de caracterización de peligrosidad a realizar, sobre la base del conocimiento de sus residuos y de los procesos que los generan, sin perjuicio de lo cual, la autoridad ambiental podrá exigir análisis adicionales o diferentes a los propuestos por el generador.

La mezcla de un residuo o desecho con uno que no lo es, le confiere a estas últimas características de peligrosidad y debe ser manejado como residuo o desecho peligroso.

Artículo 6°. Características que confieren a un residuo o desecho la calidad de peligroso. La calidad de peligroso es conferida a un residuo o desecho que exhiba características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas y radiactivas.

Artículo 7°. Procedimiento mediante el cual se puede identificar si un residuo desecho es peligroso. Para identificar si un residuo o desecho es peligroso se puede utilizar el siguiente procedimiento:

- a) Con base en el conocimiento técnico sobre las características de los insumos y procesos asociados con el residuo generado, se puede identificar si el residuo posee una o varias de las características que le otorgarían la calidad de peligroso.
- b) A través de las listas de residuos o desechos peligrosos contenidas en el anexo B.
- c) A través de la caracterización físico-química de los residuos o desechos generados.

Artículo 8°. Referencia para procedimiento de muestreo y análisis de laboratorio para determinar la peligrosidad de un residuo o desecho peligroso. A partir de la entrada en vigencia del presente decreto, el IDEAM definirá los protocolos de muestreo y análisis de laboratorio para la caracterización físico-química de los residuos o desechos peligrosos en el país. En tanto se expidan estos protocolos, se podrá tomar como referencia básica para métodos de muestreo y análisis de residuos o desechos peligrosos, los documentos SW- 846 (Test Methods for Evaluating Solid waste, Physical/Chemical Methods) de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América, ASTM (American Society for Testing and Materials) u otras normas internacionalmente reconocidas.

Parágrafo 1°. De los laboratorios para la caracterización de residuos o desechos peligrosos. La caracterización físico-química de residuos o desechos peligrosos debe efectuarse en laboratorios acreditados. En tanto se implementan los servicios de laboratorios acreditados para tal fin, los análisis se podrán realizar en laboratorios aceptados por las autoridades ambientales regionales o locales. Las

autoridades ambientales definirán los criterios de aceptación de dichos laboratorios y harán pública la lista de los laboratorios aceptados.

Parágrafo 2°. Se dará un período de transición de dos (2) años, a partir de la definición de los protocolos de muestreo y análisis por parte del IDEAM, para que los laboratorios implementen los métodos de ensayo y obtengan la respectiva acreditación. A partir de ese momento, no se aceptarán resultados de laboratorios que no cuenten con la debida acreditación.

Capítulo III: De las obligaciones y responsabilidades.

Artículo 10°. Obligaciones del Generador. De conformidad con lo establecido en la Ley, en el marco de la gestión integral de los residuos o desechos peligrosos, el generador debe:

- a) Garantizar la gestión y manejo integral de los residuos o desechos peligrosos que genera.
- b) Identificar las características de peligrosidad de cada uno de los residuos o desechos peligrosos que genere, para lo cual podrá tomar como referencia el procedimiento establecido en el artículo 7 del presente decreto, sin perjuicio de lo cual la autoridad ambiental podrá exigir en determinados casos la caracterización físico-química de los residuos o desechos si así lo estima conveniente o necesario.
- c) Conservar las certificaciones de almacenamiento, aprovechamiento, tratamiento o disposición final que emitan los respectivos receptores, hasta por un tiempo de cinco (5) años.
- d) Tomar todas las medidas de carácter preventivo o de control previas al cese, cierre, clausura o desmantelamiento de su actividad con el fin de evitar cualquier episodio de contaminación que pueda representar un riesgo a la salud y al ambiente, relacionado con sus residuos o desechos peligrosos.

Artículo 11°. Responsabilidad del generador. El generador es responsable de los residuos o desechos peligrosos que él genere. La responsabilidad se extiende a sus afluentes, emisiones, productos y subproductos, por todos los efectos ocasionados a la salud y al ambiente.

Artículo 12°. Subsistencia de la responsabilidad. La responsabilidad integral del generador subsiste hasta que el residuo o desecho peligroso sea aprovechado como insumo o dispuesto con carácter definitivo.

Artículo 19°. De la responsabilidad acerca de la contaminación y remediación de sitios. Aquellas personas que resulten responsables de la contaminación de un sitio por efecto de un manejo o una gestión inadecuada de residuos o desechos peligrosos, estarán obligadas entre otros, a diagnosticar, remediar y reparar el daño causado a la salud y el ambiente, conforme a las disposiciones legales vigentes.

Artículo 26°. Del instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales- IDEAM. De conformidad con sus funciones, el IDEAM acopiará, almacenará, procesará, analizará y difundirá datos e información estadística sobre la generación y manejo de los residuos o desechos peligrosos a nivel nacional, a través del Sistema de Información Ambiental, que servirá para facilitar la toma de decisiones en materia de política ambiental, entre otros.

Capítulo VIII: Prohibiciones.

Artículo 32°. Prohibiciones. Se prohíbe.

- a) El abandono de residuos o desechos peligrosos en vías, suelos, humedales, parques, cuerpos de agua o en cualquier otro sitio.

Capítulo IX: Disposiciones finales.

Artículo 36°. Cualquier normativa que expidan las autoridades ambientales o las entidades territoriales en materia de residuos o desechos peligrosos, deberá ser motivada y estar sujeta a los principios de armonía regional, gradación normativa y rigor subsidiario, de acuerdo con lo establecido en el artículo 63 de la Ley 99 de 1993.

Artículo 37°. Régimen Sancionatorio. En caso de violación a las disposiciones ambientales contempladas en el presente decreto, las autoridades ambientales competentes impondrán las medidas preventivas y sancionatorias a que haya lugar, de conformidad con lo consagrado en el artículo 85 de la Ley 99 de 1993, o las que las modifiquen o sustituyan, sin perjuicio de las demás acciones a que haya lugar.

Artículo 38°. Vigilancia y control. Las autoridades ambientales competentes controlarán y vigilarán el cumplimiento de las medidas establecidas en el presente decreto en el ámbito de su competencia. Lo anterior, independientemente de las funciones de prevención, inspección, control y vigilancia que compete a las autoridades sanitarias, policivas, de comercio exterior, de aduanas y transporte, entre otras, según sea el caso.

ANEXO D. Lista de residuos o desechos peligrosos por procesos o actividades

- Y1 Desechos clínicos resultantes de la atención médica prestada en hospitales, centros médicos y clínicas.
- Y2 Desechos resultantes de la producción y preparación de productos farmacéuticos.
- Y3 Desechos de medicamentos y productos farmacéuticos.
- Y4 Desechos resultantes de la producción, la preparación y la utilización de biocidas y productos fitofarmacéuticos.
- Y5 Desechos resultantes de la fabricación, preparación y utilización de productos químicos para la preservación de la madera.
- Y6 Desechos resultantes de la producción, la preparación y la utilización de disolventes orgánicos.

- Y7 Desechos, que contengan cianuros, resultantes del tratamiento térmico y las operaciones de temple.
- Y8 Desechos de aceites minerales no aptos para el uso a que estaban destinados.
- Y9 Mezclas y emulsiones de desechos de aceite y agua o de hidrocarburos y agua.
- Y10 Sustancias y artículos de desecho que contengan, o estén contaminados por, bifenilos policlorados (PCB), terfenilos policlorados (PCT) o bifenilos polibromados (PBB).
- Y11 Residuos alquitranados resultantes de la refinación, destilación o cualquier otro tratamiento pirolítico.
- Y12 Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de tintas, colorantes, pigmentos, pinturas, lacas o barnices.
- Y13 Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de resinas, látex, plastificantes o colas y adhesivos.
- Y14 Sustancias químicas de desecho, no identificadas o nuevas, resultantes de la investigación y el desarrollo o de las actividades de enseñanza y cuyos efectos en el ser humano o el medio ambiente no se conozcan.
- Y15 Desechos de carácter explosivo que no estén sometidos a una legislación diferente.
- Y16 Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de productos químicos y materiales para fines fotográficos.
- Y17 Desechos resultantes del tratamiento de superficie de metales y plásticos.
- Y18 Residuos resultantes de las operaciones de eliminación de desechos industriales.

Desechos que tengan como constituyentes:

- Y19 Metales carbonilos.
- Y20 Berilio, compuestos de berilio.
- Y21 Compuestos de cromo hexavalente.
- Y22 Compuestos de cobre.
- Y23 Compuestos de zinc.
- Y24 Arsénico, compuestos de arsénico.
- Y25 Selenio, compuestos de selenio.
- Y26 Cadmio, compuestos de cadmio.
- Y27 Antimonio, compuestos de antimonio.
- Y28 Telurio, compuestos de telurio.
- Y29 Mercurio, compuestos de mercurio.
- Y30 Talio, compuestos de talio.
- Y31 Plomo, compuestos de plomo.
- Y32 Compuestos inorgánicos de flúor, con exclusión del fluoruro cálcico.
- Y33 Cianuros inorgánicos.
- Y34 Soluciones ácidas o ácidos en forma sólida.
- Y35 Soluciones básicas o bases en forma sólida.

- Y36 Asbesto (polvo y fibras).
- Y37 Compuestos orgánicos de fósforo.
- Y38 Cianuros orgánicos.
- Y39 Fenoles, compuestos fenólicos, con inclusión de clorofenoles.
- Y40 Éteres.
- Y41 Solventes orgánicos halogenados.
- Y42 Disolventes orgánicos, con exclusión de disolventes halogenados
- Y43 Cualquier sustancia del grupo de los dibenzofuranos policlorados.
- Y44 Cualquier sustancia del grupo de las dibenzoparadioxinas policloradas.
- Y45 Compuestos organohalogenados, que no sean las sustancias mencionadas en el presente anexo (por ejemplo, Y39, Y41, Y42, Y43, Y44).