



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**MAESTRÍA EN SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL
VIII PROMOCIÓN**

TESIS DE GRADO MAESTRÍA DE SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL

**TEMA: “Reutilización de los Ripios de los
Perforación en Base Agua Como Material De Construcción”**

AUTOR: ING. SARA LILIANA ROJAS BLANCO

DIRECTORA: MAG. OLIVA LUCIA ATIAGA FRANCO

SANGOLQUÍ, JUNIO DEL 2014

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR

En mi condición de Directora, certifico que he revisado el desarrollo de la tesis de Grado titulada: REUTILIZACIÓN DE LOS RIPIOS DE PERFORACIÓN EN BASE AGUA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN, elaborado por la Ing. Sara Liliana Rojas Blanco, siendo la misma un requisito para la obtención del Título de Máster en SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL.

Sangolquí, 10 de Junio del 2014

Ing. Oliva Atiaga

Directora

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

YO SARA LILIANA ROJAS BLANCO

DECLARO QUE:

La tesis de grado titulada REUTILIZACIÓN DE LOS RIPIOS DE PERFORACIÓN EN BASE AGUA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN, ha sido desarrollada con base a una investigación científica, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico de esta tesis de grado.

Sangolquí, 10 de Junio del 2014

Sara Liliana Rojas Blanco

C. I. 1718220088

AUTORIZACIÓN

Yo, SARA LILIANA ROJAS BLANCO.

Autorizó a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, la publicación en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “REUTILIZACIÓN DE LOS RIPIOS DE PERFORACIÓN EN BASE AGUA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 10 de Junio del 2014

Sara Liliana Rojas Blanco

C. I. 1718220088

DEDICATORIA

El presente trabajo significa la consecución de un sueño y el punto de partida a una nueva etapa profesional.

Este logro se lo dedico a la memoria de mi padre José María Rojas Calderón, quien de forma espiritual me ha acompañado en este gran recorrido, a mi Madre Josefina Blanco Ramírez quien me ha enseñado que con trabajo y dedicación materializamos nuestros ideales y a mis queridos hermanos (Eduardo, Andrés y Paola Rojas Blanco), sobrinos (Majo, Aleja y José I), cuñados (Ángela Esteban, Pablo Osorio), mi hermosa abuelita Josefa Calderón de Rojas y amigos quienes han sido el pilar para la realización de este sueño.

AGRADECIMIENTO

La presente investigación, manifiesta una iniciativa de solución al problema de la disposición final de los ripsos de perforación en base agua, generados en las actividades de perforación de la Gerencia de Exploración y Producción de la Empresa Pública EP PETROECUADOR, en su Área Operativa Shushufindi, la misma que ha sido realizada bajo la dirección de las Ingenieras Oliva Atiaga Directora de la presente Tesis de Grado de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y Vanessa García Supervisora del Departamento de Gestión Ambiental de EP PETROECUADOR, a quienes expreso mi más sincero agradecimiento.

Asimismo transmito mi agradecimiento al Instituto de Estudios del Petróleo de EP PETROECUADOR por la adjudicación de una Beca y a la ESPE por la enseñanza académica y auspicio económico, los permitieron la elaboración de la presente investigación.

Agradezco al laboratorio de Materiales de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador y de la ESPE, en especial al Ingeniero Hugo Bonifas, Juan Haro, Luis Pazmiño y Andrés Agilar por el soporte y amistad brindada, de igual forma un agradecimiento al laboratorio ambiental GRUENTEC CÍA LTDA.

Gracias a los ingenieros/(as) Orlando Mina, Jenny Guzmán, Juan Carlos Gudiño, Fernando Ramón, Mauro Sarango, Miguel Orozco y Diego Molina por compartir sus conocimientos, amistad y apoyo logístico brindado en el Área Operativa Shushufindi, igualmente gracias a la cuadrilla de Gestión Ambiental por la mano de obra en las actividades de nuestro y al personal de SIHAMA por su amabilidad durante mi estadía en el campamento de Shushufindi.

Quiero dar gracias a los ingenieros José Trujillo y Andrés Suasti de la Consultora Ambiental Cardno Entrix quienes a través del proyecto de Monitoreo Ambiental del Consorcio Shushufindi, fueron un soporte técnico en el muestreo de campo.

Gracias a mis Profesores y compañeros de Maestría (Fausto Viteri, Raquel Romero, Diego Guachamin, Tania Horna y Santiago Ruiz) por todos los buenos momentos compartidos.

Al departamento de SSA del Bloque 31, en especial a Jorge Torres por sus enseñanzas, revisión ortográfica de este documento y el lazo de amistad que une al equipo SSA, conformado por Camilo González, Christian Coloma, Pablo Calderón, Fernando Laica, Cristian Maridueña, Víctor Aguirre, Jorge Ojeda, Sergio Ordoñez, Leonardo Ashanga, Víctor Valverde y ayudantes de cuadrilla, con quienes he compartido conocimientos profesionales y grandes experiencias de vida. Gracias por sus consejos, sus buenos chistes, su alegría y su forma de ver la vida ante los problemas.

Al igual que a mis amigos Belén Montenegro, Jairo Flores y Ricardo de la Torre, por su gran amistad desde mi llegada a Quito Ecuador.

Agradezco a Ramón Esteban por su gran ayuda, a Juanita Sánchez por sus oraciones y a Dios por mi hermosa familia, mis padres José María Rojas Calderón y Josefina Blanco Ramírez, mis hermanos Eduardo, Andrés y Paola Rojas Blanco, mi abuelita Josefa Calderón, mis Cuñados Ángela Esteban y Pablo Osorio y a mis sobrinos María José, María Alejandra y José Ignacio, los cuales son el vínculo más fuerte de amor y amistad que me motiva a seguir adelante y mi compañía en todo proceso de mi vida.

A todos quienes aportaron de una u otra manera en la ejecución de la presente investigación muchas gracias.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR.....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
1 CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes	2
1.2 Planteamiento del Problema	2
1.3 Justificación e Importancia	3
1.4 Área de Estudio.....	4
2 CAPÍTULO II. OBJETIVOS	5
2.1 Objetivo General	5
2.2 Objetivos Específicos.....	5
2.3 Formulación de la Hipótesis	5
3 CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO	6
3.1 Descripción General del Proceso de Perforación.....	6
3.2 Fluidos de Perforación más Comunes	8
3.3 Química del Lodo de Perforación en Base Agua	9
3.4 Características Físicas y Químicas en Desechos.	16
3.5 Características Mecánicas de Materiales de Construcción.....	18
3.6 Aplicación de los Ripios de Perforación en la Construcción	22
4 CAPITULO IV. MARCO LEGAL	25
5 CAPITULO V. PRUEBA EXPERIMENTAL.....	28
5.1 Metodología	28
5.1.1 Obtención de Muestras Representativas	28
5.1.2 Caracterización de los Ripios de Perforación en Base Agua	29
5.1.2.1 Propiedades Físicas y Químicas.....	29

5.1.2.2 Propiedades Físicas y Mecánicas.....	30
5.1.3 Aplicación de los Ripios de Perforación en Base Agua como Material de Construcción.....	31
5.1.3.1 Experimento 1. Estabilización del Ripio de Perforación con Cemento para Base en Vías.....	31
5.1.3.1.1 Equipos y Materiales.....	31
5.1.3.1.2 Diseño de Especímenes Cilíndricos.....	32
5.1.3.1.3 Métodos de Ensayos en Especímenes Cilíndricos	33
5.1.3.2 Experimento 2. Fabricación de Ladrillos	35
5.1.3.2.1 Materiales y Equipos.....	35
5.1.3.2.2 Diseño de Ladrillos y Métodos de Ensayo	35
5.2 Resultados Experimentales y Discusión	37
5.2.1 Caracterización de los Ripios de Perforación en Base Agua	37
5.2.1.1 Propiedades Físicas y Químicas.....	37
5.2.1.2 Propiedades Mecánicas	39
5.2.2 Relación Humedad densidad	39
5.2.3 Resistencia a la Compresión Inconfinada en Especímenes Cilíndricos	45
5.2.4 Prueba de Lixiviación en Especímenes Cilíndricos.....	47
5.2.5 Resistencia a la Compresión Inconfinada en Ladrillos.....	49
5.2.6 Prueba de Lixiviación en Ladrillos.....	51
5.3 Ladrillos Artesanales con Ripios de Perforación en Base Agua.....	52
6 CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
6.1 Conclusiones	54
6.2 Recomendaciones	56
7 CAPÍTULO VII. GLOSARIO	57
8 CAPÍTULO VIII. BIBLIOGRAFÍA	61
9 CAPÍTULO IX. ANEXOS	66
9.1 Anexo 1. Programa de Muestreo	66
9.1.1 Anexo 1.1. Registro Fotográfico.....	66
9.1.2 Anexo 1.2. Plano de Ubicación Celdas de Confinamiento Final ...	66

9.1.3 Anexo 1.3. Historial de Monitoreo	66
9.1.4 Anexo 1.4. Inventario de Celdas de Confinamiento Final	66
9.1.5 Anexo 1.5. Plano de Ubicación de Puntos de Muestreo	66
9.2 Anexo 2. Caracterización Ripios de Perforación en Base Agua.....	66
9.2.1 Anexo 2.1. Reportes de Análisis Físicos y Químicos	66
9.2.2 Anexo 2.2. Reportes de Análisis Físicos y Mecánicos	66
9.3 Anexo 3. Resultados Ensayos de Materiales	66
9.3.1 Anexo 3.1. Resultados Ensayo Relación Humedad Densidad.....	66
9.3.2 Anexo 3.2. Ensayos de Materiales en Especímenes Cilíndricos...	66
9.3.3 Anexo 3.3. Ensayos de Materiales en Ladrillos de Laboratorio	66
9.4 Anexo 4. Resultados Pruebas Lixiviación en Especímenes.....	66
9.4.1 Anexo 4.1. Pruebas Lixiviación en Especímenes Cilíndricos	66
9.4.2 Anexo 4.2. Pruebas Lixiviación en Ladrillos de Laboratorio	66
9.5 Anexo 5. Registro Fotográfico Diseño Experimental.....	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1.	Ubicación geográfica área de estudio	4
Tabla N° 2.	Composición típica de los lodos en base agua	9
Tabla N° 3.	Densificantes	10
Tabla N° 4.	Viscosificantes	10
Tabla N° 5.	Dispersantes / Desfloculantes.....	11
Tabla N° 6.	Sustancias de control de filtrado	11
Tabla N° 7.	Estabilizadores de lutitas	12
Tabla N° 8.	Lubricantes, Emulsificantes y Agentes Tensoactivos	12
Tabla N° 9.	Inhibidores de corrosión.....	13
Tabla N° 10.	Sustancias para pérdidas de circulación.....	13
Tabla N° 11.	Sustancias de rehabilitación y completación.....	14
Tabla N° 12.	Sustancias químicas adicionales	15
Tabla N° 13.	Características de los Desechos Peligrosos	17
Tabla N° 14.	Clasificación de los sólidos de acuerdo al tamaño, Instituto Americano del Petróleo, 1962. Drilling Fluids.....	19
Tabla N° 15.	Celdas de Muestreo de Ripios de Perforación.....	29
Tabla N° 16.	Propiedades Físicas y Químicas de Ripios de Perforación en base Agua	30
Tabla N° 17.	Propiedades Físicas y Mecánicas de Estudio.....	30
Tabla N° 18.	Diseño Mezclas para Especímenes Cilíndricos	33
Tabla N° 19.	Rango Histórico Ripios Perforación Base Agua EP PETROECUADOR	34
Tabla N° 20.	Composición Ladrillos Experimentados	36
Tabla N° 21.	Propiedades Físicas y Químicas Ripios de Perforación..	38
Tabla N° 22.	Propiedades Mecánicas en Ripios de Perforación Base Agua	39
Tabla N° 23.	Resultados Relación Humedad Óptima- Densidad.....	44
Tabla N° 24.	Resistencia a la Compresión Inconfinada Cilindros	46
Tabla N° 25.	Comparación de Resistencias a la Compresión Inconfinada.....	47

Tabla N° 26.	Toxicidad Ripios de Perforación Estabilizados con Cemento.....	48
Tabla N° 27.	Comparación Antes y Después de la Estabilización/Cemento	48
Tabla N° 28.	Resistencia a la Compresión Inconfinada Ladrillos.....	49
Tabla N° 29.	Toxicidad Ladrillos con Ripios de Perforación	51
Tabla N° 30.	Comparación Antes y Después de la Estabilización/Ladrillos	52
Tabla N° 31.	Contenido de Humedad Ladrillos Artesanales	52
Tabla N° 32.	Resistencia Mínima a la Compresión.....	53
Tabla N° 33.	Absorción de Humedad.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1.	Proceso de generación de rípios de perforación Sólidos y Lodo Nacionales.....	7
Figura N°2.	Clasificación de los tamaños de partículas Instituto Americano del Petróleo, 1962. Drilling Fluids.....	18

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N°1.	Ripio de Perforación sin Adición de Cemento.....	40
Gráfico N°2.	Ripio de Perforación con 2% Cemento.....	40
Gráfico N°3.	Ripio de Perforación con 5% Cemento.....	40
Gráfico N°4.	Ripio de Perforación con 10% Cemento.....	41
Gráfico N°5.	Ripio de Perforación con 15% Cemento.....	41
Gráfico N°6.	Ripio de Perforación con 20% Cemento.....	41
Gráfico N°7.	Ripio de Perforación con 25% Cemento.....	42
Gráfico N°8.	Ripio de Perforación con 30% Cemento.....	42
Gráfico N°9.	Ripio de Perforación con 35% Cemento.....	42
Gráfico N°10.	Ripio de Perforación con 40% Cemento.....	43
Gráfico N°11.	Ripio de Perforación con 45% Cemento.....	43
Gráfico N°12.	Ripio de Perforación con 50% Cemento.....	43
Gráfico N°13.	Humedad Optima Vs % de Cemento.....	44
Gráfico N°14.	Densidad Máxima Vs %Cemento.....	45
Gráfico N°15.	Resistencia a la Compresión Inconfinada a los 28 días Vs % Cemento.....	46
Gráfico N°16.	Resistencia Compresión Inconfinada Vs Año de Disposición Final.....	50
Gráfico N°17.	Resistencia a la Compresión Inconfinada Vs %Agregados.....	50

RESUMEN

La creciente actividad hidrocarburífera en Ecuador, ha intensificado la extracción de crudo, generando volúmenes considerables de ripios de perforación, los cuales por sus características físico-químicas no son reincorporados en el proceso, convirtiéndolos en desecho. Ante esto, el objetivo fue determinar el potencial de reutilización de ripios de perforación en base agua como material de construcción. La investigación consistió en obtener muestras representativas de los ripios que fueron dispuestos en celdas de confinamiento durante enero del 2009 a agosto del 2012 por la Empresa Pública PETROECUADOR en el Área Operativa Shushufindi. Los resultados físicos, químicos y mecánicos analizados en laboratorio, determinaron como alternativas, la estabilización con cemento para base en vías y la fabricación de ladrillos. En ambos casos se realizaron pruebas de resistencia a la compresión inconfiada y lixiviación, concluyendo que para base en vías necesita adicionar 10% de cemento colocando una barrera económica, mientras que los ladrillos no requieren otras materias primas y dan resistencias de 22,6MPa. Las pruebas de lixiviación mostraron reducción en la concentración del TPH, Bario, Cromo, Cadmio y Níquel, permitiendo en la práctica fabricar ladrillos artesanales con resistencia de 19MPa y 22% de absorción de humedad, útiles para construir muros sin exposición a humedad extrema.

PALABRAS CLAVES: CARACTERIZACIÓN, RIPIOS DE PERFORACIÓN, ESTABILIZACIÓN, SOLIDIFICACIÓN Y REUTILIZACIÓN.

ABSTRACT

The growing petroleum activity in Ecuador has intensified the extraction of crude oil, generating substantial volumes of drill cuttings which, by their physicochemical characteristics, are not reincorporated in the process turning them into scrap. Given this, the objective was to determine the potential for reuse of water-based drill cuttings as a building material. This investigation obtained representative samples of cuttings that were disposed of in hazardous waste pits from January 2009 to August 2012 by the Public Company Petroecuador, operating in Shushufindi. The mechanical, physical, and chemical properties were analyzed in the laboratory for determining the material as a soil-cement alternative or for use in fabricating bricks. In both cases unconfined compressive strength and leaching was carried out and concluded that, for use as a soil-cement alternative there should be the addition of 10% cement with economic considerations. Brick design required no other raw materials and gave an average compressive strength of 22.6MPa. Leaching tests showed reduction in the concentration of TPH, barium, chromium, cadmium and nickel, allowing for practical manufacturing of bricks in small production with an average compressive strength of 19MPa and 22% moisture absorption. These bricks would be useful for walls with low exposure to humidity.

KEYWORDS: CHARACTERIZATION, DRILL CUTTINGS, STABILIZATION, SOLIDIFICATION AND REUSE.

1 CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El siguiente documento, representa un trabajo investigativo y experimental sobre la reutilización de los ripios de perforación en base agua como material de construcción. Esta idea surge de la necesidad de dar una disposición final segura a la gran cantidad de lodos y ripios que se generan en la perforación de pozos de crudo y que son considerados como un desecho especial por ser pequeños fragmentos de las rocas perforadas en el subsuelo y que se encuentran impregnadas con productos químicos.

En la actualidad, la legislación ambiental vigente permite que los ripios de perforación que no son reincorporados en el proceso, sean enterrados en celdas de confinamiento, sin embargo la construcción de la mismas demandan áreas amplias con niveles freáticos profundos que no se encuentran con mayor facilidad en el Área Operativa Shushufindi, adicionalmente la preparación del área requiere el desbroce de la cobertura vegetal.

En otro contexto, la explotación de canteras para la obtención de materias primas conlleva a un deterioro ambiental, de ahí la importancia de incorporar técnicas de reciclaje y reutilización de los desechos en actividades productivas que permitan reducir el agotamiento de los recursos naturales.

En este sentido la presente investigación se enmarco en la caracterización física, química, mecánica y peligrosidad de los ripios de perforación en base agua, donde los resultados obtenidos permitieron definir su utilidad en el campo de la construcción, llevando a la fase experimental la estabilización con cemento para base en vías y la fabricación de ladrillos, por ultimo ambos experimentos fueron sometidos a pruebas de toxicidad.

1.1 Antecedentes

Desde tiempos inmemoriales, los chinos abrieron pozos en busca de sal y agua, pero el hallazgo de estratos petrolíferos someros perturbaba sus intenciones, (Barberii, 2001). Los chinos estaban relativamente avanzados en este arte y se les atribuye haber sido los pioneros en el uso intencional de fluidos en el proceso de perforación. En este caso el fluido era agua, que suavizaba la roca y, por lo tanto facilitaba la penetración y ayudaba a eliminar los fragmentos de roca pulverizada (Schlumberger Excellence in Education Development, Inc., 2013).

Los lodos utilizados en la perforación son base aceite y/o agua, según (Bravo, 2007), los lodos solubles en agua tiene como componente principal la barita y el carbonato de calcio, a los que se añade compuestos inorgánicos como la bentonita y otras arcillas que aumentan la viscosidad. Estos lodos incluyen varios metales pesados tóxicos, sales inorgánicas, detergentes, polímeros orgánicos, inhibidores de la corrosión y biácidas. A pesar de su nombre, estos lodos contienen cantidades significativas de hidrocarburos (100-7000 mg/kg), los mismos que son usados para reducir la fricción y como lubricantes.

Durante la perforación, los fragmentos de roca se impregnan con estos lodos convirtiéndolos así en un desecho, cuyo manejo representa una obligación ineludible por las compañías en base a la legislación ambiental vigente para su disposición en superficie.

1.2 Planteamiento del Problema

En las actividades de perforación de los pozos petroleros, se generan fluidos y ripios de perforación. Los cuales al ser vertidos al suelo producen cambios en sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas, de tal manera

que solventar adecuadamente el impacto ambiental, se encuentra dentro de las prioridades fundamentales de la industria petrolera, tanto en el ámbito nacional como internacional (Rivero & Sánchez, 2011).

Desde una perspectiva global la afectación del suelo trae consigo alteraciones en la calidad del agua por procesos de escorrentía, afectación a la fauna, a la flora, a cultivos y por ende al hombre ya que el ecosistema funciona con la interacción de estos factores.

Por lo expuesto y considerando que la generación promedio de ripio por cada pozo perforado es de 2.549m³ (Empresa Pública de Hidrocarburos del Ecuador, 2010), se propone como una alternativa de solución la reutilización como material de construcción.

1.3 Justificación e Importancia

La creciente demanda de producción hidrocarburífera en el país, ha intensificado la perforación para explotación de pozos de crudo, generado así volúmenes considerables de ripios de perforación, los cuales por su características físicas y químicas no son incorporados nuevamente en el proceso, convirtiéndolos en un desecho y cuyo manejo es motivo de interés del estado, por las posibles afectaciones que pudieran presentarse al ambiente.

En consecuencia, la mayoría de las empresas Hidrocarburíferas del Ecuador, depositan estos ripios en celdas de confinamiento como cumplimiento con la normativa ambiental vigente (Anexo 2, Tabla 7 del RAOHE 1215), lo cual demanda la necesidad de buscar áreas amplias que permitan técnicamente su disposición sin causar daños al entorno socio ambiental.

La preocupación ante esta situación, ha llevado a pensar en la reutilización de los ripios de perforación en base agua como material de construcción, ya

que son fragmentos de materiales pétreos, que podrían ser incorporados en elementos constructivos y cuyo tratamiento se sustenta en el principio de estabilización y solidificación de contaminantes, impidiendo así su migración al ambiente.

En una visión global, la reutilización de este material contribuiría en cierta forma la preservación de los recursos naturales ya que no es de nuestro desconocimiento que la industria de la construcción demanda la extracción de altos volúmenes de recursos naturales que conllevan a la sobreexplotación de canteras y su consecuente deterioro ambiental.

1.4 Área de Estudio

Esta investigación se realizó en el Área Operativa Shushufindi de la Empresa Pública de Hidrocarburos EP PETROECUADOR, la misma que comprende los campos Aguarico, Shushufindi, Condorazo y Cobra.

Políticamente, se ubica en la provincia de Sucumbíos, en las parroquias Limo cocha, Shushufindi y 7 de Julio del cantón Shushufindi y Dureno del cantón Lago Agrio. Geográficamente se localiza en las coordenadas descritas en la Tabla N°1 (CINGE CIA. LTDA, 2012):

Tabla N° 1. Ubicación geográfica área de estudio

VÉRTICES	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		COORDENADAS UTM (PSAD 56)		COORDENADAS UTM (WGS 84)	
	W	S	E	N	E	N
1	76° 39' 57.62"	0° 0' 4.98"	314813	10000214	314589	9999847
2	76° 38' 34.35"	0° 1' 2.41"	317388	9998450	317164	9998083
3	76° 34' 33.93"	0° 9' 48.71"	324823	9982285	324599	9981918
4	76° 37' 34.28"	0° 18' 38.08"	319248	9966025	319024	9965658
5	76° 42' 7.22"	0° 17' 49.92"	310808	9967503	310584	9967136
6	76° 44' 58.36"	0° 15' 45.69"	305515	9971328	305291	9970961
7	76° 45' 39.99"	0° 13' 52.36"	304227	9974799	304003	9974432
8	76° 44' 13.60"	0° 8' 49.67"	306898	9984097	306674	9983730
9	76° 42' 30.29"	0° 1' 11.72"	310092	9998164	309868	9997797

2 CAPÍTULO II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Determinar las alternativas de reutilización de los rипios de perforación en base agua como material de construcción de tal forma que permitan su aprovechamiento y minimización en conformidad con la legislación ambiental vigente.

2.2 Objetivos Específicos

- Identificar el proceso de perforación en el Área Operativa Shushufindi
- Identificar preliminarmente las características físicas y químicas de los rипios de perforación mediante los resultados de monitoreo históricos.
- Obtener muestras representativas de los rипios de perforación en base agua que se encuentran dispuestos en las zonas de disposición final de rипios de perforación del Área Operativa Shushufindi.
- Determinar las características físicas, químicas, mecánicas y de peligrosidad de las muestras representativas en un laboratorio.
- Determinar las alternativas de reutilización de los rипios de perforación en base agua como material de construcción, en base a los resultados de la caracterización física, química, mecánica y de peligrosidad.
- Comprobar las alternativas de reutilización identificadas, mediante pruebas experimentales y ensayos de laboratorio.
- Determinar las propiedades de toxicidad de los rипios de perforación reutilizado como material de construcción.

2.3 Formulación de la Hipótesis

Basándose en el planteamiento del problema se hace la siguiente hipótesis:
Los rипios de perforación en base agua sirven como material de construcción.

3 CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO

3.1 Descripción General del Proceso de Perforación

La perforación de un pozo de crudo, inicia una vez que los resultados de los estudios geológicos y sísmicos determinan las zonas de interés en las cuales las formaciones sedimentarias contienen el mayor potencial de hidrocarburos.

La función principal de la perforación es la de construir un hoyo mediante la acción rotatoria de un taladro que fragmenta las rocas de las formaciones geológicas del subsuelo, adicional se toman registros eléctricos que ayudan a conocer el tipo de formación y las características físicas de las rocas, tales como densidad, porosidad y contenidos de agua, petróleo y gas natural.

Durante la acción mecánica del taladro, actúa el sistema de circulación del fluido ó lodo de perforación, “el cual se bombea, inyecta y se hace circular permanentemente en el pozo, para cumplir varias funciones como lubricar y mantener fría la broca, sostener las paredes del pozo, suspender las partículas cuando se detiene la circulación, controlar por medio del peso del fluido la presión de las formaciones que corta la broca y sacar a la superficie el material rocoso que se va perforando” (Barberii, 2001).

El lodo que sale a la superficie, es conducido por una línea de flujo hacia las zarandas o tamices vibratorios de distinta malla, las cuales separan los sólidos de mayor tamaño y son almacenados temporalmente en un tanque.

Por otro lado el lodo de perforación con los sólidos más finos (arenas, arcillas y limos, entre otros) cae en el tanque de la zaranda para ser bombeado al desartillado, el cual cumple la función de separar las partículas ya sea por fuerza centrífuga o por una zaranda vibratoria con mallas muy finas, de igual

manera estos sólidos son almacenados temporalmente en un tanque de recolección.

El lodo libre de sólidos mencionados, cae al tanque del desartillado y de ahí se bombea al tanque de succión para retornarlo a circuito, mientras que el lodo con partículas sólidas que fue contenido en los tanques de almacenamiento temporal, pasa a la unidad de Dewatering para ser mezclado y homogenizado con polímeros no iónicos y enviado a las centrifugas, las cuales separan la fase líquida (agua) de la sólida (ripios o cortes de perforación).

El ripo es homogenizado y estabilizado en un tanque con silicatos y ácido fosfórico y el agua es retornada al sistema activo o es enviada al sistema de tratamiento, como se ilustra en la Figura N°1.

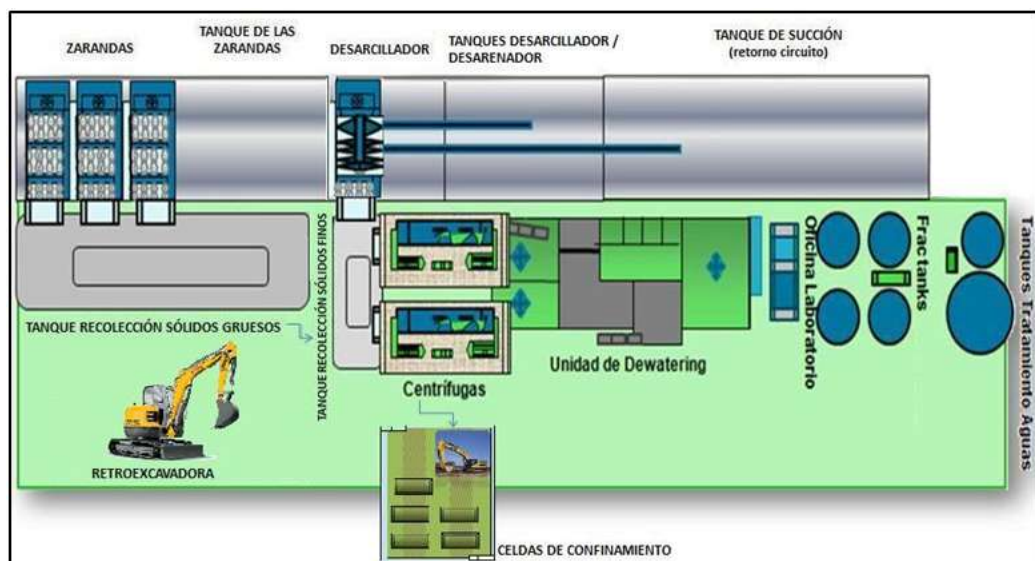


Figura N°1. Proceso de generación de rípios de perforación Sólidos y Lodo Nacionales

Tanto el ripo de perforación como el agua, son controlados en función de los parámetros y límites permisibles establecidos en el RAOHE 1215 para su disposición final.

En la perforación, el pozo queda literalmente entubado (revestido) desde la superficie hasta el fondo, lo que garantiza su consistencia y posterior extracción del crudo

3.2 Fluidos de Perforación más Comunes

(Barberii, 2001), indica que básicamente los fluidos de perforación se preparan a base de agua, de aceite (derivados del petróleo) o emulsiones. En su composición interactúan tres partes principales: la parte líquida; la parte sólida, compuesta por material soluble que le imprime las características tixotrópicas y por material insoluble de alta densidad que le imparte peso; y materias químicas adicionales, que se añaden directamente o en soluciones, para controlar las características deseadas.

- **Fluido de perforación a base de agua**

El fluido de perforación más común está compuesto de agua y una sustancia coloidal preparada con bentonita comercial compuesta de sílice y alúmina pulverizada. El fluido bentonítico resultante es muy favorable para la formación del revoque sobre la pared del hoyo, a la cual se le añade un material pesado, como la baritina (preparada del sulfato de bario), para que la presión que ejerza contra los estratos domine las presiones subterráneas que se estiman encontrar durante la perforación. Para mantener las deseadas características de este tipo de fluido como son: viscosidad, gelatinización inicial y final, pérdida por filtración, pH y contenido de sólidos, se recurre a la utilización de sustancias químicas.

- **Fluido de perforación a base de petróleo**

Para ciertos casos de perforación, se emplean fluidos a base de petróleo o de derivados del petróleo, en ocasiones se ha usado crudo liviano, pero la gran

mayoría de las veces se emplea diesel. Generalmente, este tipo de fluido contiene un pequeño porcentaje de agua que forma parte de la emulsión, que se mantiene con la adición de soda cáustica, cal cáustica u otro ácido orgánico.

- **Otros tipos de fluidos de perforación**

Para la base acuosa del fluido, además de agua fresca, puede usarse agua salobre o agua salada (salmuera) o un tratamiento de sulfato de calcio.

Por otro lado (Al-Ansary & Al-Tabbaa, 2004), indica que la elección del lodo va a depender de la formación litológica y la presión, el diseño del pozo, la fuerza y la temperatura, la logística, el equipo de perforación y las consideraciones ambientales y de salud.

3.3 Química del Lodo de Perforación en Base Agua

Según (Roddie, Skadsheim, Runciman, & Kjeilen, 1999), un ejemplo de la composición "típica" del lodo a base de agua (WBM), es la descrita en la Tabla N°2.

Tabla N° 2. Composición típica de los lodos en base agua

COMPUESTO	WBM (% en peso)
Barita	57,6
Bentonita	4,1
Sosa cáustica	1,2
Celulosa polianiónica (PAC)	1,2
Sal	33,0
Carbonato de Sodio	1,0
Almidón	1,2
Xantana	0,5
Otros	0,2
Total	100%

Adicionalmente, el procedimiento para las pruebas de fluidos de perforación del Instituto Americano del Petróleo (Instituto Americano del Petróleo, 2001), el

manual de ingeniería de fluidos de Baker Hughes INTEQ (Baker Hughes Incorporated, 1998) y el manual de fluidos de perforación Baroid (Baroid, 1999), mencionan otras sustancias químicas que se emplean para mantener las características deseadas en los lodos en base agua, las mismas que se resumieron en las Tablas N°3 a la N°12 .

Tabla N° 3. Densificantes

SUSTANCIA QUÍMICA	FORMULA QUÍMICA	NOMBRE COMÚN	FUNCIÓN
Sulfato de bario	BaSO ₄	Barita	Aumentar la densidad.
Oxido de hierro	Fe ₂ O ₃	Hematita	Aumentar la densidad.
Carbonato de Calcio	CaCO ₃	Caliza, mármol, calcita	Aumentar la densidad.
Carbonato de calcio y magnesio	[CaMg(CO ₃) ₂]	Dolomita	Aumentar la densidad.
Sulfuro de plomo	PbS	Galena	Aumentar la densidad.

Tabla N° 4. Viscosificantes

SUSTANCIA QUÍMICA	FUNCIÓN
Arcilla Atapulguita	Viscosidad en lodos a base de agua salada.
Arcilla Bentonita	Viscosidad y control de filtrado.
Atapulguita	Viscosidad en lodos a base de agua salada.
Sepiolita	Viscosidad para lodos geotérmicos a base de agua dulce, agua salada y de alta temperatura.
Mezcla de poliacrilato / poliacrilamida	Para extender el rendimiento de la bentonita en lodos de bajo contenido de sólidos y como floculante selectivo.
Goma xantana	Producida por bacterias para viscosidad y suspensión en todos los lodos base agua / fluido de rehabilitación y completación.
Goma xantica a base de polímeros	Viscosificante de alto peso molecular.
Biopolímero de goma welan	Producido por bacterias para viscosidad y suspensión en lodos base agua de alto contenido de calcio o baja salinidad.
Goma guar	Viscosidad y control de filtrado en lodos de bajo contenido de sólidos.
Hidroxietilcelulosa	Viscosidad de lodos base agua de rehabilitación y completación.

Tabla N° 5. Dispersantes / Desfloculantes

SUSTANCIA QUÍMICA	FUNCIÓN
Lignito	Diluyente emulsificante y control de filtrado fabricado a base de Leonardina, compuestos de carbono y ácido húmico.
Lignito de potasio caustizado	Diluyente, emulsificante y control de filtrado.
Cromolignito	Diluyente a temperaturas elevadas, emulsificante y control de filtrado.
Lignosulfonato de cromo	Diluyente, inhibidor, control de filtrado y estabilizador térmico.
Lignosulfonato sin cromo	Diluyente aceptable para el medio ambiente, inhibidor y control de filtrado.
Mezcla de extractos blignina/lignito	Diluyente y control de filtrado para sistemas de bajo contenido de sólidos y pH alto, y lodos a base de cal.
Tanino de cromo modificado	Diluyente y coloide protectorio.
Tanino modificado sin cromo	Diluyente sin cromo y coloide protectorio.

Tabla N° 6. Sustancias de control de filtrado

SUSTANCIA QUÍMICA	FUNCIÓN
Mezcla de resina líquida	Estabilizar las propiedades de flujo de WBM, reducir el filtrado en sistemas de alta temperatura.
Lignito resinado	Control de filtrado a temperaturas elevadas y estabilizador de reología para todos los lodos base agua.
Almidón de maíz pregelatinizado	Polímero natural para el control de filtrado y estabilizador de reología para los lodos saturados de agua salada, cal y agua dulce.
Polisacárido preservado	Polímero natural a base de almidón no fermentante para control de filtrado, viscosidad y estabilización de lutitas.
Polisacárido modificado	Control de filtrado con aumento mínimo de la viscosidad.
Polímeros modificados de Celulosa	Polímeros derivados de la celulosa (polímero natural), tales como la carboximetilcelulosa de sodio y la celulosa polianiónica (PAC), utilizados para el control de filtrado y viscosificador.
Polímeros modificados de Almidón	Derivado de almidón (polímero natural), para el control de filtrado y viscosificador, entre ellos se encuentran: Almidón carboximetílico (CMS), almidón Hidroxipropílico (HP).
Poliacrilato de sodio	Polímero sintético sintetizados químicamente, generalmente a partir de productos derivados del petróleo utilizados para el control de filtrado y desfloculante.
Copolímero de poliacrilato de sodio	Copolímero sintético utilizado para el filtrado a temperaturas elevadas y estabilizador de reología para lodos de bajo contenido de calcio, bajo contenido de sólidos o no dispersos.

Tabla N° 7. Estabilizadores de lutitas

SUSTANCIA QUÍMICA	FUNCIÓN
Poliacrilamida (PHPA) de alto peso molecular	Polímero sintético para estabilizar lutitas y aumentar la viscosidad de filtrado.
Suplemento de potasio	Fuente de potasio (sin cloruros) para lodos a base de potasio.
Gilsonita con acoplador	Estabilizador de lutitas y agente de taponamiento.
Asfalto sulfonado	Estabilizador de lutitas, control de filtrado y lubricante.
Sistema base agua de poliglicol	Estabilizador de lutitas, control de filtrado y lubricante.
Hidróxido de Metales Mezclados (MMH)	MMH estabilizador de lutitas.

Tabla N° 8. Lubricantes, Emulsificantes y Agentes Tensoactivos

SUSTANCIA QUÍMICA	FUNCIÓN
Lubricantes de derivado grasos	Lubricante para presiones extremas para reducir el torque y arrastre.
Lubricantes de mezclas de Glicol y aceites vegetales	Lubricante de baja toxicidad para lodos base agua.
Agente tensoactivo no iónico	Aditivo para prevenir el embolamiento de la broca y del BHA.
Fluidos a base de glicoles, esterres, aceites vegetales y minerales y alcoholes	Fluido de Inhibición de tubería pegada de bajo toxicidad.
Fluido a base de glicoles, esterres, aceites vegetales y minerales y alcoholes	Fluido de Inhibición de tubería pegada densificable.
Mezcla de glicol/asfalto	Lubricante/agente de prevención de pegadura por presión diferencial.
Antiespumante a base de hidrocarburos, Jabón disperso en ácidos grasos y alcohol	Antiespumante de uso general para lodo base agua.
Antiespumante a base de alcohol de cadena corta	Antiespumante de uso general para lodo base agua.

Tabla N° 9. Inhibidores de corrosión

SUSTANCIA QUÍMICA	FUNCIÓN
Inhibidor a base de Aminas	Inhibidor de corrosión para lodos a base de agua dulce.
Inhibidor a base de Aminas mezclada soluble en salmuera	Inhibidor de corrosión para sistemas de salmuera y lodos base agua de rehabilitación o completación.
Inhibidores orgánicos	Producto de baja toxicidad para por oxígeno en lodos base agua y aireados.
Inhibidor de incrustaciones a base de polímeros	Inhibidor de incrustaciones de materiales tubulares en los fluidos de perforación y completación.
Secuestrante de sulfuro a base de compuestos de zinc (ZnO)	Secuestrante de H ₂ S a base de óxido de zinc.
Biocida	Bactericidas que pueden estar fabricados a base de aldehídos o carbonatos.
Amina resínica	Inhibidor de corrosión.
Secuestrante de oxígeno a base de bisulfito de amonio	Elimina el oxígeno de los lodos base agua.

Tabla N° 10. Sustancias para pérdidas de circulación

SUSTANCIA QUÍMICA	FUNCIÓN
Fibra de celulosa	Puenteo y sellado de las formaciones permeables.
Cáscaras de nueces	Material Granular de Pérdida de Circulación (LCM).
Grafito de granulometría determinada	Pérdida de circulación e infiltración.
Mica	LCM en escamas para pérdidas por infiltración y prevención.
Escamas de celofán	Agente formador de entramado de LCM en escamas.
LCM mezclado	Mezcla de LCM fibrosos, en escamas y granulares.
Cáscaras de semillas de algodón	Para todos los tipos de pérdida de circulación.
LCM mezclado de alto filtrado	Mezcla de tierra diatomácea para la preparación de tapones blandos para la pérdida de circulación grave.
LCM sólido inerte de baja densidad	Sólidos inertes para la inyección de tapones blandos de alto filtrado.
Fragmentos granulares de plástico	LCM con fragmentos granulares de plástico fenólico.

Tabla Nº 11. Sustancias de rehabilitación y completación

SUSTANCIA QUÍMICA	FUNCIÓN
Derivados de Almidón	Control de filtrado y viscosificador para sistemas de fluido de perforación de yacimiento.
Sal de Granulometría	Agente densificante y puenteante para salmueras saturadas.
Celulosa Polianiónica	Control de filtrado y viscosificador.
Mezcla Solvente / Agente Tensoactivo	Preventor de emulsión.
Mármol Molido	Agente puenteante y densificante.
Inhibidor de Corrosión a base de Tiocianato Inorgánico	Diseñado para ser usado a temperaturas de hasta 450°F, controla la corrosión de la tubería de producción y de la tubería de revestimiento en las salmueras claras.
Agente Antiespumante de Alcohol	Reduce la formación de espuma e impide el atrapamiento del aire.
Mezcla Tensoactivo /Solvente Floculante	Flocula y suspende los sólidos de hierro insolubles.
Secuestrante de oxígeno orgánico	Secuestrante para Salmueras a Base de Calcio
Inhibidor a Base de Fosfonato Concentrado	Inhibidor de incrustaciones causadas por el carbonato de calcio y el sulfato de calcio y bario.
Solvente Decapante de Grasa para Tuberías	Ablanda, disuelve y suspende la grasa para tuberías, la cera de parafina, los asfaltenos y los depósitos de crudo pesado en las superficies de los materiales tubulares y del pozo.
Materiales tubulares y del pozo Tensoactivo No Iónico	Limpia y desplaza los sólidos
Mezcla de hidrocarburos sintéticos Hidroxietilcelulosa	Viscosificador de HEC líquido para salmueras para salmueras de una sal.
Carbonato de Calcio Granulometría Determinada	Rehabilitación y completación.
Cloruro de Amonio (seco)	Estabilizador de arcillas y lutitas, y aumenta la densidad.

Tabla Nº 12. Sustancias químicas adicionales

SUSTANCIA QUÍMICA	FORMULA QUÍMICA	NOMBRE COMÚN	FUNCIÓN
Hidróxido de sodio	NaOH	Soda Cáustica	Control de pH.
Bicarbonato de sodio	NaHCO ₃	Bicarbonato de soda	Precipitante de calcio y reductor de pH en lodos contaminados con cemento.
Carbonato de sodio	Na ₂ CO ₃	Carbonato de sodio	Precipitante de calcio en lodos de pH más bajo.
Carbonato de cobre	CuCO ₃	Carbonato de cobre	Control de pH.
Cloruro de sodio	NaCl	Sal	Inhibidor de lutitas y aumento de la densidad.
Hidróxido de calcio	(Ca(OH) ₂)	Cal	Fuente de calcio y aumento del pH.
Óxido de calcio	CaO	Cal viva	Fuente de calcio y aumento del pH.
Sulfato de calcio hidratado	CaSO ₄ •2H ₂ O	Yeso	Fuente de calcio a un pH neutro.
Óxido de magnesio	MgO	Óxido de magnesio	Fuente de magnesio y aumento del pH.
Carbonato de potasio	K ₂ CO ₃	Carbonato de potasio	Fuente de potasio en lodos inhibidos de potasio.
Cloruro de potasio	KCl	Muriato de potasa	Fuente de potasio, aumento del pH en lodos de potasio, inhibidor de lutitas y aumento de densidad.
Hidróxido de potasio	KOH	Potasa cáustica	Fuente de potasio y aumento del pH en lodos de potasio.
Tetrafosfato de sodio	Na ₆ P ₄ O ₁₃	Tetrafosfato de Sodio	Diluyente en lodos de pH bajo y agente secuestrante de calcio.
Pirofosfato ácido de sodio	Na ₂ H ₂ P ₂ O	SAPP	Diluyente en lodos de pH bajo y de sodio, agente secuestrante de calcio.
Nitrato de potasio	KNO ₃	Nitrato de potasio	Trazador.
Nitrato de Calcio	CaNO ₃	Nitrato de Calcio (Sal neutra)	Inhibir arcillas.
Nitrato de Plata	NaNO ³		Indicador de cloruros.
Bromuro de calcio	CaBr ₂	Bromuro de calcio	Impide la hidratación y migración de las arcillas hinchables y aumenta la densidad.
Bromuro de zinc	ZnBr ₂	Bromuro de zinc	Impide la hidratación y migración de arcillas hinchables y puede usarse como fluido de empaque.
Bromuro de calcio	CaBr ₂	Bromuro de calcio	
Formiato de Potasio	KCHO ₂	Formiato de Potasio	Reduce los daños a la formación cuando el agua de la formación contiene altas concentraciones de iones bicarbonato y sulfato.
Formiato de Sodio	NaCHO ₂	Formiato de Sodio	
Bromuro de Sodio	NaBr	Bromuro de Sodio	
Cuarzo	SiO ₂	Sílice	Compuesto de los aditivos de los lodos de perforación.

Según (Stantec Limited, 2009) algunos lodos de perforación incluyen bario, cromo, plomo y zinc. La mayor parte del cromo está asociado con lignosulfonatos ferrocromo, utilizados en el pasado como un defloculante de arcilla en lodos base agua (WBMS) y los otros metales están asociados con cortes dispersos y aditivos sólidos (barita y arcillas).

3.4 Características Físicas y Químicas en Desechos.

La caracterización de las propiedades físicas y químicas, permite determinar la peligrosidad en función de un marco legal que establezca los criterios y métodos de ensayo para categorizar a un desecho como peligroso.

En este sentido la Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-1993, considera que *“los residuos peligrosos en cualquier estado físico por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, venenosas, biológico infecciosas representan un peligro para el equilibrio ecológico, por lo que es necesario definir cuáles son esos residuos identificándolos y ordenándolos por giro industrial y por proceso, los generados por fuente no específica, así como los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente”*.

Los criterios establecidos por la norma en mención para categorizar a un desecho como peligroso, son los descritos en la Tabla N°13.

Tabla N° 13. Características de los Desechos Peligrosos

CRETIB	PARÁMETRO	PROPIEDADES
Corrosividad (C)	pH	En estado líquido o en solución acuosa presenta un pH sobre la escala menor o igual a 2.0, o mayor o igual a 12.5. En estado líquido o en solución acuosa y a una temperatura de 55 °C es capaz de corroer el acero al carbón (SAE 1020), a una velocidad de 6.35 milímetros o más por año.
	Velocidad de Corrosión	Es un líquido no acuoso capaz de corroer el acero al carbón, tipo SAE 1020, a una velocidad de 6,35 milímetros o más por año a una temperatura de 328 K (55°C).
Reactividad (R)	Polimerización Violenta	Bajo condiciones normales (25 °C y 1 atmósfera), se combina o polimeriza violentamente sin detonación.
	Reacción con Agua	En condiciones normales (25 °C y 1 atmósfera) cuando se pone en contacto con agua en relación (residuo-agua) de 5:1, 5:3, 5:5 reacciona violentamente formando gases, vapores o humos.
	Reacción con Acido	Bajo condiciones normales cuando se ponen en contacto con soluciones de pH; ácido (HCl 1.0 N) y básico (NaOH 1.0 N), en relación (residuo-solución) de 5:1, 5:3, 5:5 reacciona violentamente formando gases, vapores o humos.
	Reacción con Alkali	Bajo condiciones normales cuando se ponen en contacto con soluciones de pH; ácido (HCl 1.0 N) y básico (NaOH 1.0 N), en relación (residuo-solución) de 5:1, 5:3, 5:5 reacciona violentamente formando gases, vapores o humos.
	Generación de HCN (cianuro reactivo)	Posee en su constitución cianuros o sulfuros que cuando se exponen a condiciones de pH entre 2.0 y 12.5 pueden generar gases, vapores o humos tóxicos en cantidades a 250 mg de HCN/kg de residuo o 500 mg de H ₂ S/kg de residuo.
	Generación de H ₂ S (Sulfuro reactivo)	Posee en su constitución cianuros o sulfuros que cuando se exponen a condiciones de pH entre 2.0 y 12.5 pueden generar gases, vapores o humos tóxicos en cantidades a 250 mg de HCN/kg de residuo o 500 mg de H ₂ S/kg de residuo.
	Generación de Radicales Libres	Es capaz de producir radicales libres.
Explosividad (E)	Constante de Explosividad	Tiene una constante de explosividad igual o mayor a la del dinitrobenceno.
	Reacción o Descomposición Detonante o Explosiva	Es capaz de producir una reacción o descomposición detonante o explosiva a 25°C y a 1.03 kg/cm ² de presión.
Toxicidad (T)	Metales Pesados (As Total, Ba, Cd, Hg, Ni, Ag, Pb, Se, Cr ⁺⁶)	Se considera desecho tóxico ambiental, cuando se somete a la prueba de extracción para toxicidad y el lixiviado de la muestra contiene cualquiera de los constituyentes tóxicos listados en las tablas 5, 6 y 7 de la norma oficial mexicana NOM-052-SEMARNAT-1993, en concentraciones mayores a los límites señalados en dichas tablas.
	Compuestos Orgánicos Volátiles	
	Compuestos Orgánicos Semivolátiles	
	Plaguicidas	
Inflamabilidad (I)	Contenido de Alcohol si es acuoso	En solución acuosa contiene más de 24% de alcohol en volumen.
	Punto inflamación si es líquido	Es líquido y tiene un punto de inflamación inferior a 60.5°C.
	Capaz de provocar fuego si no es líquido	No es líquido pero es capaz de provocar fuego por fricción, absorción de humedad o cambios químicos espontáneos (a 25°C y a 1.03 kg/cm ²).
	Es gas comprimido inflamable u oxidante	Se trata de gases comprimidos inflamables o agentes que estimulan la combustión.
Biológicos (B)	Coliformes fecales	Contiene bacterias, virus u otros microorganismos con capacidad de infección. Contiene toxinas producidas por microorganismos que causen efectos nocivos a seres vivos.
	Huevos de Helmitos**	
	Salmonella**	

(*) Si cumple con los límites permisibles de coliformes fecales no es necesario realizar este parámetros.

Adicional a nivel nacional, el RAOHE 1215 establece en el Anexo 2. Tabla N°7, los parámetros y límites permisibles para la disposición de los ripios de perforación en celdas de confinamiento.

Por otro lado en términos constructivo, es importante determinar la concentración de cloruros y sulfatos, ya que estos pueden provocar *“reacciones expansivas que pueden comprometer la estabilidad volumétrica del material estabilizado o bien pérdidas de resistencia del mismo”* (Atienza, y otros, 2008).

3.5 Características Mecánicas de Materiales de Construcción

El Instituto Americano del Petróleo, describe que las partículas sólidas del fluido de perforación están clasificadas de acuerdo a su tamaño, conforme a lo detallado en la figura N°2 y en la Tabla N°14.

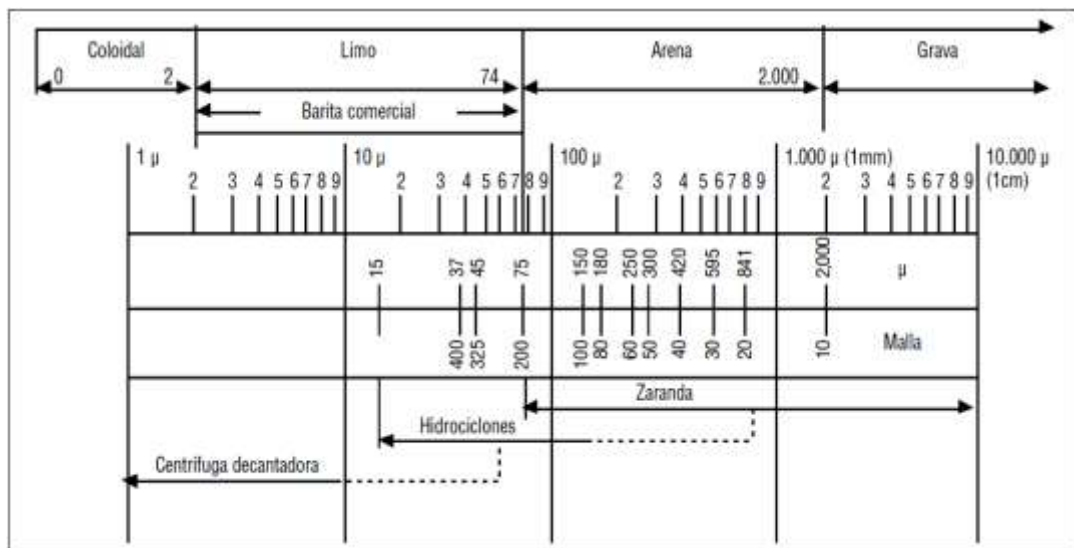


Figura N°2. Clasificación de los tamaños de partículas Instituto Americano del Petróleo, 1962. Drilling Fluids

Tabla N° 14. Clasificación de los sólidos de acuerdo al tamaño, Instituto Americano del Petróleo, 1962. Drilling Fluids

Categoría	Tamaño	Ejemplo
Coloidal	2 μ o menos	Bentonita, arcillas y sólidos perforados 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

Igualmente indica que la agrupación de los sólidos en base al tamaño no toma en cuenta la composición física del material que se está midiendo, aunque se usen los términos “limo” y “arena”. Por ejemplo, las partículas de tamaño de limo pueden incluir partículas de lutita, arena fina, carbonatos finos y barita; las partículas de tamaño de arena pueden incluir partículas de arena, lutita, carbonatos, recortes y materiales de pérdida de circulación, agentes puenteantes y barita gruesa; y los sólidos coloidales incluyen la bentonita y otras arcillas, sólidos perforados muy finos (lutita, arena y carbonatos) y barita fina. En general, el término “arcilla” se usa para describir los minerales arcillosos molidos (Instituto Americano del Petróleo, 2001).

Según (Bañón Blázquez & Beviá García, 2000), las propiedades de los suelos se determinan estableciendo “una serie de procedimientos científicos que permitan caracterizarlos en función de diferentes propiedades físicas, químicas o mecánicas”.

En Ecuador los procedimientos de ensayo para materiales de construcción están estandarizados bajo las normas nacionales INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización), las mismas que acogen las normas internacionales ASTM, ACI y AASHTO. Considerando que no existen normativas para materiales reciclados, se identificaron los siguientes ensayos que permiten definir las propiedades principales de los ripios de perforación como material de construcción:

ASTM D 2487.- Esta norma describe el procedimiento del sistema de clasificación de suelos minerales y orgánicos minerales con fines de ingeniería basados en la determinación en laboratorio de las características del tamaño de partícula, límite líquido e índice de plasticidad y es utilizado cuando se requiere una precisa clasificación. La norma **ASTM D653** las características mencionadas como:

- **Tamaño de la partícula:** Análisis para determinar la distribución del tamaño del grano. Las partículas más grande que 75 micras (retenido en el tamiz N°200) se determina por tamizado.
- **Límite líquido:** Es el contenido de agua correspondiente al límite arbitrario entre los estados líquido y plástico de la consistencia de un suelo.
- **Límite plástico:** El contenido de agua correspondiente a un límite arbitrario entre el plástico y los estados semisólidos de la consistencia de un suelo.
- **Índice de plasticidad:** Es la diferencia del numérica entre el límite líquido y límite plástico.

ASTM D 422.- Este método de ensayo cubre la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partícula más pequeño que 75 micras, la cual se determina por un proceso de sedimentación, usando un hidrómetro.

ASTM D 558.- Este norma describe el procedimiento para determinar el contenido de agua óptimo y la densidad máxima utilizada en el moldeo de especímenes suelo cemento.

El (American Concrete Institute, 2009) define al suelo cemento como *“una mezcla densamente compactada de cemento portland, suelo/agregado, posiblemente otros materiales de cemento y agua, utilizados principalmente*

como material de bases para pavimentos, de igual manera se ha utilizado para la protección de taludes, revestimientos de baja permeabilidad, estabilización de cimientos y otras aplicaciones”.

ASTM D 1632.- Establece el procedimiento para la elaboración y curado de compresión y flexión probetas de suelo-cemento en el laboratorio bajo un control preciso de las cantidades de materiales y condiciones de ensayo.

ASTM D 1633.- Esta norma establece el procedimiento para determinar la resistencia a la compresión de suelo-cemento utilizando cilindros moldeados como especímenes de prueba.

ASTM D 854-02.- Este método de ensayo describe el procedimiento para determinar la gravedad específica de las partículas sólidas de un material que pasa por el tamiz de 4.75mm (Nº4), por medio de un picnómetro. La gravedad específica se utiliza en el cálculo de las relaciones de fase de los suelos, tales como la relación de vacíos y el grado de saturación.

INEN 294.- Establece el procedimiento para determinar la resistencia máxima admisible a una muestra de ladrillo mediante la aplicación de una carga progresiva de compresión. La Norma Técnica INEN 293:1977, define al ladrillo como *“una pieza de arcilla moldeada y cocida en forma de paralelepípedo o prisma regular que se emplea en albañearía”.*

INEN 296.- Establece el procedimiento para determinar las masas de una muestra de ladrillo antes y después de ser sumergida en agua, estableciéndose la diferencia entre las dos masas como base para reconocer el valor de absorción de humedad.

3.6 Aplicación de los Ripios de Perforación en la Construcción

La protección del ambiente, en el marco del manejo de los desechos ha conllevado a la práctica del reciclaje, donde se han desarrollado investigaciones orientadas a la reutilización de los ripios de perforación como material de construcción mediante la aplicación de técnicas de estabilización y solidificación.

En este sentido (Al-Ansary & Al-Tabbaa, 2007), investigaron la aplicación de la estabilización / solidificación en el tratamiento de cortes sintéticos de perforación con bajo y alto contenido de aceite, utilizando únicamente cemento portland o mezclado con escoria de alto horno, cemento de óxido de magnesio, ceniza de combustible pulverizada, microsílíce y cal hidratada. Con los ensayos de la resistencia a la compresión inconfiada determinaron que valores bajos podrían encontrar aplicaciones en áreas donde los materiales de mala calidad son aceptables o podrían ser empleados para mejora de terrenos, mientras que para la fabricación de bloques y ladrillos se requieren valores de resistencia mucho más altos de 580kPa, 2,8 y 7 MPa.

(Ogechi Opete, Mangibo, & Iyagba, 2010), aplicaron el tratamiento de estabilización / solidificación para cortes de perforación sintéticos en Nigeria utilizando diferentes dosificaciones de cemento Portland como aglomerante, determinando que los valores obtenidos de lixiviación se encontraban de acuerdo con los límites establecidos por las directrices ambientales de Departamento de Recursos Petroleros (DPR) y que la técnica de S/S de cortes de perforación con cemento en forma de bloques de construcción ha sido identificado como una opción atractiva de eliminación de los cortes de perforación.

(Leonard & Stegemann, 2010), analizaron la tratabilidad de los cortes de perforación con la técnica de estabilización/solidificación (s/s) con cemento

Portland y la adición de cenizas volantes de una planta de carbono de alta potencia, como absorbente novedoso para los contaminantes orgánicos. Los resultados obtenidos indicaron que podrían tener aplicación como alternativas para rellenos, rellenos estructurales, cama de pavimento (bases, sub-bases y sub-gradados) y en control de la erosión.

(Tucan, Tucan, & Koyuncu, 2000), estudiaron el uso de la estabilización / solidificación en el tratamiento de cortes de perforación en base aceite y señalaron que el 85-95% en peso de aglomerantes, se utilizaron para convertir los cortes de perforación como sub base en la construcción de carreteras, sin embargo tales cantidades de aglomerantes colocan una barrera económica para la aplicación práctica del proceso.

(Boutemeur, Haddi, & Bali, 2003), analizaron el uso de la estabilización / solidificación en el tratamiento de cortes de perforación en base aceite y señalaron que la utilización de 35% de aglomerante convencionales, como cemento portland, ceniza de combustible pulverizado y cal, resulto en el éxito del tratamiento para su reutilización como material de sub-base en la construcción de carreteras.

(Liendo, 2010), indica que la encapsulación y reúso de los ripios en base aceite mineral permite transformar estos materiales en agregados para obras de tierra, utilizables en construcción de sub-base y relleno de locaciones petroleras, así como llenante de mezclas asfálticas y añaden que el material encapsulado fue reutilizado como material de sub-base en una locación petrolera, la cual luego de colocar la capa de rodadura se sometió a tránsito pesado durante la mudanza de un taladro, sin sufrir ningún comportamiento anómalo (hundimiento, fracturas).

(Bañón Blázquez & Beviá García, 2000), clasifica los suelos limosos y arcillosos como un material de aceptable a mala calidad para la construcción de carreteras.

A manera de resumen los estudios evidencian que a nivel internacional el tratamiento de estabilización / solidificación ha sido aplicado como solución para la disposición final de los ripios de perforación, encontrando un valor agregado en el campo de la construcción, sin embargo a nivel de Ecuador existe un limitado trabajo sobre este tema, identificando la falta de investigaciones publicadas.

4 CAPITULO IV. MARCO LEGAL

El Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, define en el LIBRO VI, TITULO V. Capítulo I. Sección I. Glosario de Términos, a los desechos peligrosos como aquellos desechos sólidos, pastosos, líquidos o gaseosos resultantes de un proceso de producción, transformación, reciclaje, utilización o consumo y que contengan algún compuesto que tenga características reactivas, inflamables, corrosivas, infecciosas, o tóxicas, que represente un riesgo para la salud humana, los recursos naturales y el ambiente.

En este sentido, el Acuerdo Ministerial N°142 de Ecuador, establece los listados nacionales de sustancias químicas peligrosas, desechos peligrosos y especiales. Los mismos que categorizan a lodos, rípios y desechos de perforación en superficie que contienen, hidrocarburos, HAP's, Cadmio, Cromo (VI), Vanadio, Bario, Mercurio, Níquel como tóxicos.

Por tal razón, es obligación de las operadoras caracterizar los rípios de perforación para su disposición final en superficie, acorde a lo establecido en el Art. 52, numeral D.2, ítem 2.3 del Reglamento Ambiental de Operaciones Hidrocarburíferas del Ecuador Decreto 1215 (RAOHE), el cual indica que *“Durante y después de la perforación, los desechos sólidos, tanto lodos de decantación así como rípios de perforación tratados, podrán disponerse una vez que cumplan los parámetros y límites establecidos en la Tabla No. 7 del Anexo 2”*,

Adicional el Art. 73 del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, establece que “Los procedimientos de control de calidad analítica y métodos de análisis empleados en la caracterización de las emisiones, descargas y vertidos, control de los procesos de tratamiento, monitoreo y vigilancia de la calidad del recurso, serán los indicados en las respectivas

normas técnicas ecuatorianas o en su defecto estándares aceptados en el ámbito internacional. Los análisis se realizarán en laboratorios acreditados. Las entidades de control utilizarán, de tenerlos, sus laboratorios”.

Acorde a las normas mencionadas, se tiene que el RAHOE fija los parámetros y límites permisibles para disponer los ripios de perforación en superficie, pero no contempla los parámetros y métodos de ensayo para determinar las características de peligrosidad de un desecho.

Con este antecedente, se identificó que la ordenanza 213 del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, establece en su norma técnica las propiedades para categorizar a un desecho como peligroso, sin embargo en su Art.- 2 menciona que esta norma técnica municipal será utilizada para la aplicación del **CAPÍTULO V DEL SISTEMA DE AUDITORIAS AMBIENTALES Y GUÍAS DE PRÁCTICAS AMBIENTALES** de la misma ordenanza.

Sin embargo a nivel internacional, se identificó en la Norma Mexicana NOM-052-SEMARNAT-1993, los procedimientos para identificar la peligrosidad de un desecho.

Por otro lado, en el ámbito del tratamiento y métodos de disposición final de desechos contaminados, el TULAS e INEN establecen lo siguiente:

Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria. Libro VI. De la Calidad Ambiental. Título II. Políticas Nacionales de Residuos Sólidos. Art. 35. Literales a) y d), en los cuales mencionan que dentro de las políticas nacionales de residuos sólidos están la “Garantía de la aplicación de los principios de minimización, reúso, clasificación, transformación y reciclaje de los residuos sólidos” y el “Fomento a la investigación y uso de tecnologías en el sector, que minimicen los impactos al ambiente y la salud, mediante el principio precautorio”.

Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria. Título V. Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación por Desechos Peligrosos. Capítulo III. Sección V. De la Disposición Final. Art.182.- El cual establece como métodos de disposición final permitidos el relleno de seguridad o confinamiento controlado, inyección controlada en pozos profundos e incineración de acuerdo al tipo de desecho peligroso, sin embargo el Ministerio de Ambiente podrá autorizar otros métodos de acuerdo a lo que considere pertinente.

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2266:2000 transporte, almacenamiento y manejo de productos químicos peligrosos. Requisitos. Literal 6.11.1.4.- Establece como tratamiento y disposición la solidificación / estabilización, aplicadas a los residuos tóxicos y peligrosos, así como a suelos, sedimentos y materiales contaminados, se basan en la obtención mediante la mezcla de los residuos a tratar con aglomerantes más aditivos adecuados, dé un producto final, que tras un tiempo de fraguado y curado, se convierte en un residuo inerte de fácil deposición en vertederos controlados. Dependen de las características de los residuos, agentes aglomerantes inorgánicos (cemento, cal, puzolanas, yeso, silicatos, etc.), orgánicos (poliésteres, resinas epoxi, polietileno, asfalto, etc.), o combinaciones de los dos y aditivos que se utilicen; la mayoría son procesos patentados, existiendo algunos de tipo genérico como:

- a) *Solidificación.* Proceso de transformación del residuo peligroso en un sólido de alta integridad estructural que puede o no involucrar una reacción química con un aditivo.
- b) *Encapsulación.* Proceso mediante el cual se atrapa una partícula tóxica o un residuo en una sustancia, aislándola completamente. La micro encapsulación maneja las partículas individualmente mientras que la macro encapsulación es la encapsulación de una aglomeración de residuos o materiales micro encapsulados.

5 CAPITULO V. PRUEBA EXPERIMENTAL

5.1 Metodología

5.1.1 Obtención de Muestras Representativas

La obtención de las muestras representativas, se realizó mediante un programa de muestreo (Ver Anexo N°1), a partir del cual se identificaron las celdas disposición final de los rípios de perforación que fueron cerradas en el periodo enero del 2009 a agosto del 2012 por EP PETROECUADOR. Para este periodo se cerraron en total 90 celdas, de las cuales 79 se localizan en la zona de la Estación Shushufindi 40 y el resto en la zona de la Plataforma del Drago 13 del Área Operativa Shushufindi.

El número de celdas muestreadas, se determinó a partir de la recopilación y sistematización de los reportes de monitoreo que fueron realizados a los 7, 90 y 180 días de la disposición final, conforme a lo establecido en la Tabla N°7 Anexo 2 del Reglamento Ambiental de Operaciones Hidrocarburíferas del Ecuador.

El procesamiento de esta información, proporcionó un rango de valores con el cual se determinó la concentración media de los parámetros establecidos en el reglamento en mención, seleccionando así aquellas celdas de confinamiento que presentaban los promedios más altos de la concentración, las mismas que se muestrearon mediante el método aleatorio simple en función del área y profundidad.

Las muestras simples obtenidas fueron mezcladas y homogenizadas, y por cuarteo se obtuvo una muestra compuesta representativa, este proceso se realizó para cada uno de los años del periodo mencionado anteriormente, no obstante para el año 2012, se tomó una muestra adicional correspondiente a

los rипios nuevos, es decir los que tenían un tiempo de disposición final menor a los 15 días, como se muestra en la Tabla N°15.

Tabla N° 15. Celdas de Muestreo de Rипios de Perforación

Periodo Disposición Final	Zona de Rипios de Perforación	N° Celdas Cerradas	N° Celdas Muestreadas	N° 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	Plataforma Drago 13	11	3	1
TOTAL		90	30	5

5.1.2 Caracterización de los Rипios de Perforación en Base Agua

5.1.2.1 Propiedades Físicas y Químicas

Las propiedades físicas y químicas de las muestras representativas, se determinaron con el fin de descartar peligrosidad de los rипios de perforación en base agua. La caracterización, se realizó en base a los criterios establecidos en la Norma 052 de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales de México (NOM-052-SEMARNAT/93), donde los parámetros seleccionados para el análisis fueron identificados de acuerdo al tipo de actividad generadora y el estado natural de desecho que corresponde a un sólido.

Adicional se incorporaron los parámetros que no están contemplados en la norma en mención pero que a nivel nacional deben ser analizados para la disposición final en celdas de confinamiento, conforme a lo establecido en el RAOHE 1215, igualmente se determinó la concentración de cloruros y sulfatos, ya que estos pueden provocar *“reacciones expansivas que pueden comprometer la estabilidad volumétrica del material estabilizado o bien pérdidas de resistencia del mismo”* (Atienza et al., 2008).

Los parámetros analizados de la normativa mencionada, se describen en la Tabla N°16 y cuyas concentraciones fueron analizadas por un laboratorio acreditado en el Ecuador.

Tabla N° 16. Propiedades Físicas y Químicas de Rapios de Perforación en base Agua

NORMA	PARÁMETROS	MÉTODO DE ENSAYO
NOM-052-SEMARNAT-1993	Polimerización violenta	NOM-052-SEMARNAT/93
	Reacción con agua	NOM-052-SEMARNAT/93
	Reacción con ácido	NOM-052-SEMARNAT/93
	Reacción con álcali	NOM-052-SEMARNAT/93
	Generación de HCN (cianuro reactivo)	EPA 9010B
	Generación de H ₂ S (Sulfuro reactivo)	SW-846
	Metales Pesados (As Total, Ba, Cd, Hg, Ni, Ag, Pb, Se, Cr ⁺⁶)	EPA 6020 ^a
	Capaz de provocar fuego si no es líquido	NOM-052-SEMARNAT/93
RAOHE DECRETO 1215. ANEXO 2. TABLA 7	Potencial de hidrógeno (pH)	EPA 9045 D
	Conductividad eléctrica	EPA 9050 A
	Hidrocarburos totales de petróleo (TPH)	EPA 8015D (CG-FID)
	Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)	EPA 8270 D
	Metales Pesados (Cromo total y Vanadio)	EPA 6020 A
	Contenido de Cloruros y Sulfatos	EPA 300.1

5.1.2.2 Propiedades Físicas y Mecánicas

Las propiedades físicas y mecánicas de los rapios de perforación se analizaron en un laboratorio de materiales, las propiedades analizadas se describen en la Tabla N° 17.

Tabla N° 17. Propiedades Físicas y Mecánicas de Estudio

ENSAYO	CARACTERÍSTICAS DE ANÁLISIS	
ASTM D 2487	Humedad Natural (%)	
	Límites de ATTERBERG	Límite líquido (%)
		Límite plástico (%)
		Índice de plasticidad (%)
	Análisis granulométrico	Grava (%)
		Arena (%)
		Finos (%)
		% Finos (menor a 0,005mm)
		% Finos (menor a 0,002mm)
	ASTM D 422	Clasificación de suelos (SUCS)
Granulometría por Hidrómetro.		

5.1.3 Aplicación de los Rípios de Perforación en Base Agua como Material de Construcción.

Las muestras representativas obtenidas en campo para cada año de análisis, fueron secadas al ambiente sobre una superficie impermeabilizada y techada durante dos meses, con las cuales se fabricaron los especímenes y se efectuaron los métodos estandarizados de ensayos de materiales.

En este sentido, se fabricó en un primer experimento especímenes de rípios de perforación estabilizados con cemento para su aplicación como base en vías y en un segundo experimento se fabricaron ladrillos con y sin la adición de agregados (arena y tierra) al rípio de perforación.

5.1.3.1 Experimento 1. Estabilización del Rípio de Perforación con Cemento para Base en Vías

5.1.3.1.1 Equipos y Materiales

- **Suelo:** Corresponde a los rípios de perforación de las celdas de disposición final que fueron cerradas en el periodo enero del 2009 a agosto del 2012.
- **Cemento:** Se utilizó cemento Portland Tipo I, según él (Centro Técnico del Hormigón HOLCIM Ecuador, 2007) *“en la mayor parte de las aplicaciones se usa normalmente cemento Portland Tipo I y Tipo II, que cumpla con la NTE-INEN 152 (ASTM C 150)”*.
- **Agua:** El agua es indispensable para la hidratación del cemento Portland así como para conseguir la máxima compactación de la mezcla suelo cemento, para lo cual se utilizó agua potable.

- **Proctor estándar:** Equipo de laboratorio usado para determinar la relación humedad - densidad de una masa de suelo a ser compactada.
- **Mezcladora eléctrica:** Equipo a corriente continua con potencia de 1/6 HP diseñado para mezclar.
- **Moldes cilíndricos:** Son hormas desmontables fabricadas con cobre amarillo provistas de tres unidades cilíndricas y un pistón que permite para ejercer manualmente una fuerza de compactación.
- **Tanque de curado rápido:** Equipo utilizado para fraguar con vapor de agua probetas de hormigón tanto cúbicas como cilíndricas.
- **Maquina de Compresión:** Equipo utilizado para medir resistencia a la compresión inconfiada y que registra la carga aplicada en una pantalla digital, el mismo que debe estar calibrado.

5.1.3.1.2 Diseño de Especímenes Cilíndricos

Las muestras representativas fueron mezcladas y homogenizadas manualmente con cemento y agua.

La dosificación de la mezcla se realizó estableciendo una masa total de los ripios de perforación, la cual variaba al incrementar el porcentaje de cemento, los valores considerados fueron del 2% y del 5% aumentándolo hasta el 50% donde la cantidad de agua requerida en la mezcla fue determinada con el ensayo ASTM D558 que corresponde al procedimiento para determinar la relación humedad - densidad, finalmente el diseño de mezclas obtenido fue el descrito en la Tabla N°18.

Tabla N° 18. Diseño Mezclas para Especímenes Cilíndricos

Masa Mezcla (gr)	% Suelo	% Cemento	Masa Suelo (gr)	Masa Cemento (gr)	Humedad óptima (%)	Masa Agua (gr)
2000	100	0	2000	0	26,4	528
2000	98	2	1960	40	23,6	472
2000	95	5	1900	100	28,0	560
2000	90	10	1800	200	26,6	532
2000	85	15	1700	300	23,9	478
2000	80	20	1600	400	24,0	480
2000	75	25	1500	500	23,2	464
2000	70	30	1400	600	22,4	448
2000	65	35	1300	700	23,5	470
2000	60	40	1200	800	22,3	446
2000	55	45	1100	900	21,8	436
2000	50	50	1000	1000	19,7	394

Cada uno de los constituyentes fueron homogenizados mecánicamente por medio de una mezcladora eléctrica, una vez preparada la mezcla, esta fue trasvasada en moldes cilíndricos (50mm x 100mm) hasta su llenado y finalmente se aplicó una fuerza de compactación manual por medio de un pistón.

Los cilindros fueron desmoldados al siguiente día y fueron fraguados durante los primeros quince días en un tanque de curado rápido a una temperatura de $26\pm 2^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa de $91\%\pm 2\%$. Para cada porcentaje de cemento se fabricaron diez especímenes, nueve para ser utilizados en cada uno de los ensayos de resistencia a la compresión inconfiada a los 7,14 y 28 días y los otros para los ensayos de toxicidad (TCLP).

5.1.3.1.3 Métodos de Ensayos en Especímenes Cilíndricos

a) Ensayo resistencia a la compresión inconfiada

La resistencia a la compresión inconfiada, se determinó con el ensayo estándar ASTM D1633, el cual mediante una maquina de compresión se ejerce

una carga continua y sin golpes al espécimen de ensayo, con una velocidad de deformación constante dentro de los límites de 140 ± 70 KPa/s hasta la rotura, durante la deformación del espécimen se va registrando la carga y finalmente se calcula la resistencia dividiendo la carga máxima para el área de sección transversal del espécimen.

b) Ensayo de lixiviación TCLP

Los valores históricos de los monitoreos realizados a los 7, 90 y 180 días después de la disposición final en las celdas de confinamiento cerradas en el periodo enero del 2009 a agosto del 2012, muestra que el bario, cromo total, cadmio y TPH, tuvieron mayor concentración que el resto de los parámetros establecidos en el RAOHE 1215, como muestra la Tabla N°19.

**Tabla N° 19. Rango Histórico Ripios Perforación Base Agua EP
PETROECUADOR**

PARÁMETROS	RANGO HISTÓRICO DE MONITOREOS PERIODO ENERO 2009 – AGOSTO 2012			
	Mín.	Máx.	RAOHE 1215. Tabla	
			7 a)	7 b)
Bario mg/L	0,06	13,0	<5	<10
Cadmio mg/L	<0,01	<0,02	<0.05	<0.5
Cromo Total mg/L	<0,02	0,33	<1	<10
Vanadio mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<2
TPH mg/L	0,18	2,80	<1	<50

De igual manera, los resultados de la caracterización físico-química de las muestras representativas que fueron analizadas en esta investigación, indican que el bario, TPH y níquel presentan mayor concentración que el resto de los parámetros analizados, sin exceder los límites permisibles establecidos en las normativas mencionadas anteriormente, como se muestra en la Tabla N°21.

En tal sentido, se realizó el ensayo TCLP con el método de referencia EPA 6020 A para determinar metales pesados (bario, cadmio, cromo total y níquel) y

el método EPA 8015 D para determinar TPH mediante cromatografía de gases FID, procedimientos que fueron realizados por un laboratorio acreditado.

5.1.3.2 Experimento 2. Fabricación de Ladrillos

5.1.3.2.1 Materiales y Equipos

Al igual que en el Experimento N°1, se utilizó el suelo (ripios de perforación), agua, mezcladora eléctrica, proctor estándar y maquina de compresión. Adicionalmente, se usaron los siguientes materiales y equipos:

- **Arena:** Agregado obtenido de Río Aguarico, cuya arena comercialmente se distribuye en Shushufindi, lugar donde se llevó a cabo la investigación.
- **Tierra Negra:** Agregado obtenido en una cantera de Puengasí Quito, el cual se utilizó para fines investigativos ya que este tipo de suelo no se encuentra comúnmente en el área de estudio.
- **Prensa Mecánica:** Equipo utilizado para prensar la mezcla de arcilla/agua para la fabricación de ladrillos sólidos.
- **Horno de Alta Temperatura:** Sistema cerrado que retiene el calor que se genera en su interior, el cual alcanza temperaturas mayores a los 1100°C.

5.1.3.2.2 Diseño de Ladrillos y Métodos de Ensayo

a) Diseño de ladrillos

En la elaboración de ladrillos se realizaron dos pruebas, la primera consistió en fabricar ladrillos a partir de cada una de las cinco muestras representativas con humedades del 21 y 26.4%, este se realizó con el fin de identificar si el

tiempo de disposición final de los ripios de perforación en las celdas de confinamiento influye en las propiedades de resistencia a la compresión inconfiada.

Mientras que la segunda prueba consistió en mezclar y homogenizar manualmente las cinco muestras representativas y fabricar ladrillos en laboratorio con y sin la adición de agregados a una humedad óptima del 26.4% determinada con el proctor estándar (Ver Ítem 5.2.2).

Esta prueba se realizó con el fin de comprobar si la adición de agregados influye en la resistencia a la compresión inconfiada, estos fueron tierra negra y arena al 5%, 10% y 15% individualmente.

En función de lo mencionado, los ladrillos experimentales fueron fabricados, con la composición descrita en la tabla N°20.

Tabla N° 20. Composición Ladrillos Experimentados

Nº Experimento	Masa Total Mezcla (gr)	Muestra Representativa	Humedad (%)	Arena (%)	Tierra (%)	Especímenes Fabricados
1er. Experimento	700	2009	21.0%	-	-	3
	700	2010	21.0%	-	-	3
	700	2011	21.0%	-	-	3
	700	2012	21.0%	-	-	3
	700	Nuevos 2012	21.1%	-	-	3
	700	2009	26.4%	-	-	3
	700	2010	26.4%	-	-	3
	700	2011	26.4%	-	-	3
	700	2012	26.4%	-	-	3
	700	Nuevos 2012	26.4%	-	-	3
2do. Experimento	700	Compuesta	26.4%	-	-	3
	700	Compuesta	26.4%	-	5%	3
	700	Compuesta	26.4%	-	10%	3
	700	Compuesta	26.4%	-	15%	3
	700	Compuesta	26.4%	5%	-	3
	700	Compuesta	26.4%	10%	-	3
	700	Compuesta	26.4%	15%	-	3
Nº Total de Especímenes Fabricados						51

Para cada prueba, los constituyentes de la mezcla fueron homogenizados a fondo por medio de una mezcladora eléctrica y una vez preparada la mezcla, ésta se colocó en moldes cúbicos de (5cm x 5cm x 5cm) hasta llenar su capacidad, finalmente se ejerció una fuerza manual de compactación mediante un pistón, se desmoldaron los ladrillos y se dejaron secar por un mes al ambiente para su posterior cocción a 800°C.

b) Resistencia a la Compresión Inconfinada

Al igual que en el experimento N°1, la resistencia se determinó con el método de ensayo ASTM D1633.

c) Prueba de Lixiviación en los Ladrillos

Esta prueba se realizó, considerando los mismos criterios de análisis del Experimento N°1, descritos en el Ítem 4.1.3.1.3 literal b.

5.2 Resultados Experimentales y Discusión

5.2.1 Caracterización de los Ripios de Perforación en Base Agua

5.2.1.1 Propiedades Físicas y Químicas

Las propiedades químicas y físicas del ripio de perforación en base agua analizadas en laboratorio, se describen en la Tabla N°21.

Tabla Nº 21. Propiedades Físicas y Químicas Ripios de Perforación

NORMA	Parámetros		RESULTADOS DE ANÁLISIS					Límites Permisibles	
			2009	2010	2011	2012	NUEVOS 2012		
NOM-052-SEMARNAT-1993	REACTIVIDAD	Polimerización Violenta	No polimeriza	No polimeriza	No polimeriza	No polimeriza	No polimeriza	No polimeriza	No polimeriza
		Reacción con agua	Relación 5:1	No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción visible
			Relación 5:3	No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción visible
	Relación 5:5		No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción visible	
	Reacción con ácido	Relación 5:1	Desprendimiento de burbujas	Desprendimiento de burbujas	Desprendimiento de burbujas	Desprendimiento de burbujas	Desprendimiento de burbujas	No hay reacción visible	
		Relación 5:3	Desprendimiento de burbujas	Desprendimiento de burbujas y gas. Fuerte olor a gas sulfhídrico	Desprendimiento de burbujas	Desprendimiento de burbujas	Desprendimiento de burbujas	No hay reacción visible	
		Relación 5:5	Desprendimiento de burbujas	Desprendimiento de burbujas y gas. Fuerte olor a gas sulfhídrico	Desprendimiento de burbujas y gas. Fuerte olor a gas sulfhídrico	Desprendimiento de burbujas y gas. Fuerte olor a gas sulfhídrico	Desprendimiento de burbujas y gas. Fuerte olor a gas sulfhídrico	No hay reacción visible	
	Reacción con alcali	Relación 5:1	No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción visible	
		Relación 5:3	No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción visible	
		Relación 5:5	Desprendimiento leve de burbujas	Desprendimiento leve de burbujas	Desprendimiento leve de burbujas	No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción visible	
	TOXICIDAD	(Generación de HCN) Cianuro reactivo mg/kg		<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	250 mg de HCN/kg
		(Generación de H ₂ S) Sulfuro reactivo mg/kg		<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	500 mg de H ₂ S/kg
		Arsenico mg/L		<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	5
Bario mg/L		2,3	1,8	2,2	2,8	2,3	100		
Cadmio mg/L		<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	1		
Cromo Hexavalente mg/L		<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<5	5		
Mercurio mg/L		<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,2		
Niquel mg/L		0,006	0,009	0,019	0,024	<0,002	5		
Plata mg/L		<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	5		
Plomo mg/L		<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	5		
Selenio mg/L		<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	1		
INE(*)	Capacidad de provocar fuego si no es líquido		Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	No es capaz	
RAHOE 1215.	pH		7,8	8,5	8,4	8,5	8,1	6<pH<9 ^(**) 4<pH<12	
	Conductividad eléctrica (µs/cm)		596	722	1025	738	900	4000 ^(**) 8000	
	Cromo Total (mg/L)		<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<1,0 ^(**) <10,0	
	Vanadio (mg/L)		<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02 ^(**) <2,0	
	Hidrocarburos totales (mg/L)		<0,5	<0,5	<0,5	1,5	1,1	<1,0 ^(**) <50	
	Hidrocarburos aromáticos policíclicos (mg/L)		<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,003 ^(**) <0,005	
Contenido de Cloruros (mg/kg)		23	64	64	53	73	-----		
Contenido de sulfatos (mg/kg)		94	55	328	98	87	-----		
(*) Característica de Inflamabilidad									
(**) Límites Permisibles Tabla 7a. Anexo 2. Reglamento Ambiental de Operaciones Hidrocarburíferas del Ecuador Decreto 1215									

Los resultados de las muestras representativas analizadas, indican que los ripios de perforación en base agua son de carácter básico, que reaccionan de forma no violenta con ácidos y bases fuertes como el ácido clorhídrico e hidróxido de sodio respectivamente y no presentan características tóxicas, ni inflamables, evidenciándose por el cumplimiento de los límites permisibles de la legislación analizada.

5.2.1.2 Propiedades Mecánicas

Los resultados de las propiedades mecánicas, se detallan en la Tabla N°22.

Tabla N° 22. Propiedades Mecánicas en Ripios de Perforación Base Agua

PROPIEDADES		RESULTADOS DE ANÁLISIS				
		2009	2010	2011	2012	NUEVOS 2012
Humedad Natural (%)		7	6	8	6	4
Límites ATTERBERG	Límite líquido (%)	53	51	44	47	42
	Límite 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 0,005mm)	37	33	33	29,5	24
	% Finos (menor a 0,002mm)	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)

5.2.2 Relación Humedad densidad

La relación entre la densidad seca y el contenido de humedad, se determinó en el laboratorio con el ensayo de compactación proctor estándar (ASTM D558 Método A). Los valores obtenidos fueron interpolados en una gráfica siendo el eje de las ordenadas la densidad seca y las abscisas el contenido de humedad, donde el pico más alto de la curva generada corresponde a la humedad óptima, utilizada para el diseño de especímenes.

Los reportes del ensayo se adjuntan en el ANEXO N°3, mientras que en los gráficos del N°1 al 12, se observa el comportamiento del ripio de perforación con diferentes porcentajes de cemento y contenidos de agua (humedad).

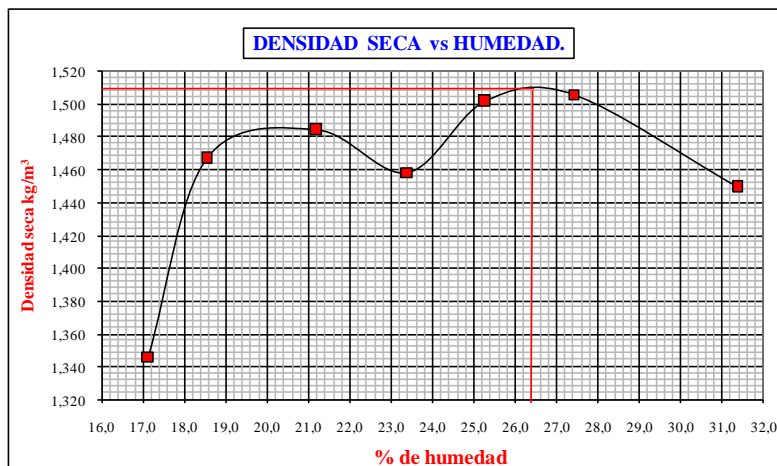


Gráfico N°1. Ripio de Perforación sin Adición de Cemento

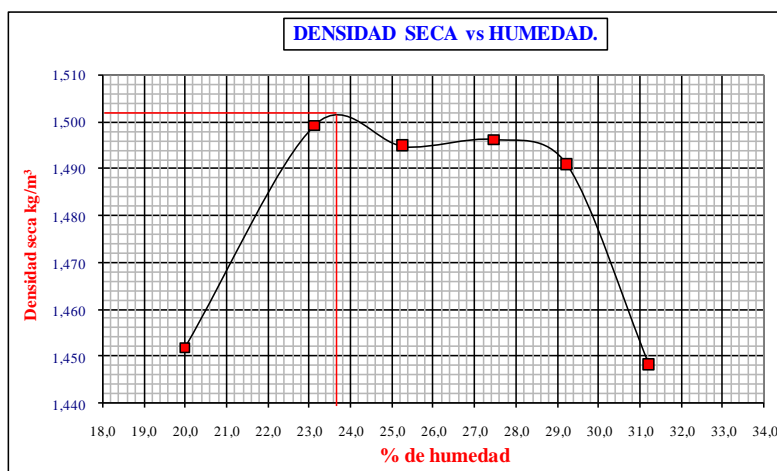


Gráfico N°2. Ripio de Perforación con 2% Cemento

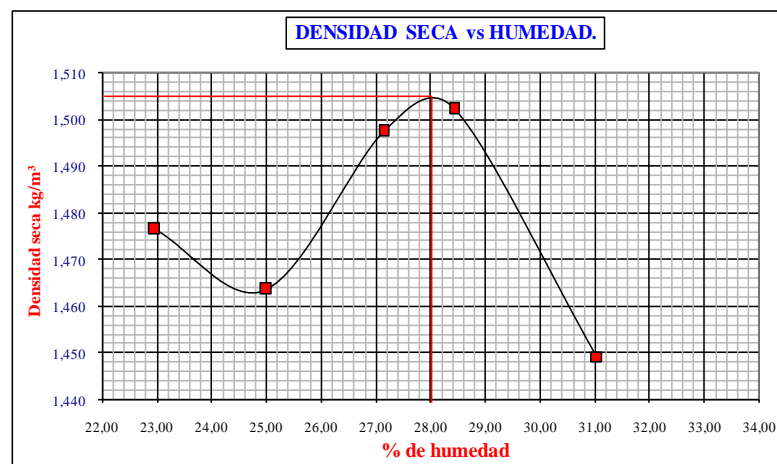


Gráfico N°3. Ripio de Perforación con 5% Cemento

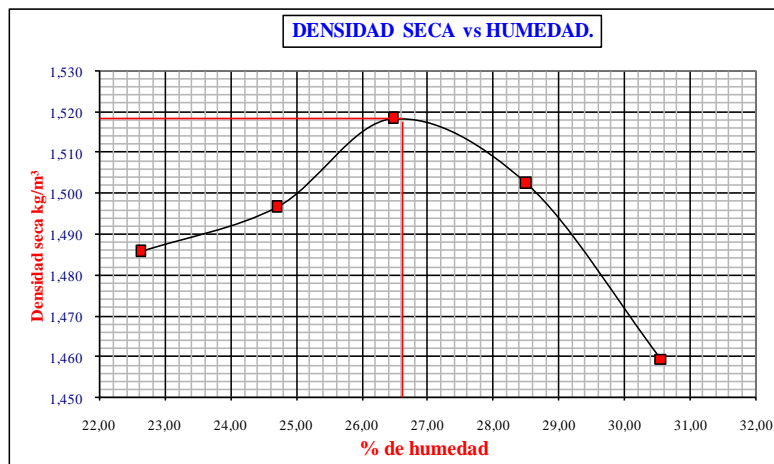


Gráfico N°4. Ripio de Perforación con 10% Cemento

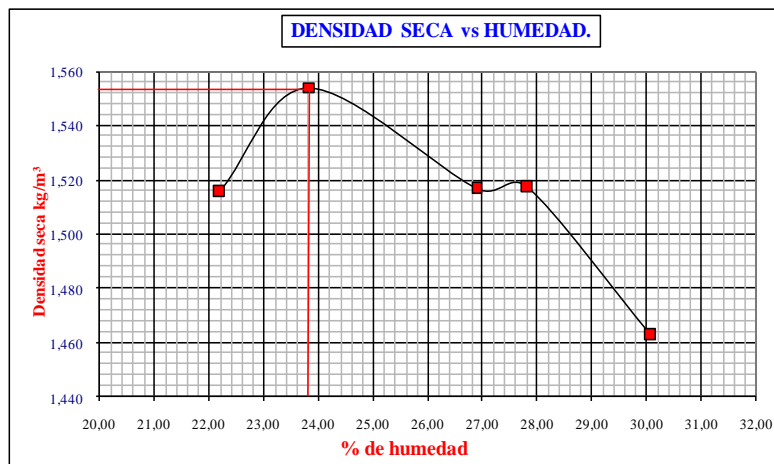


Gráfico N°5. Ripio de Perforación con 15% Cemento

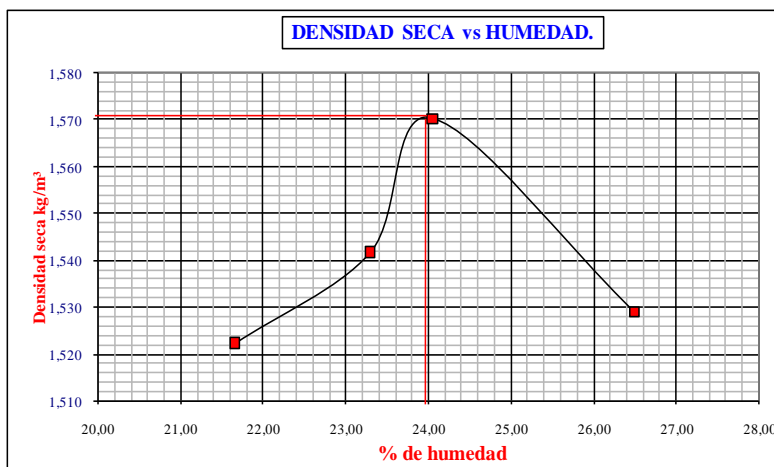


Gráfico N°6. Ripio de Perforación con 20% Cemento

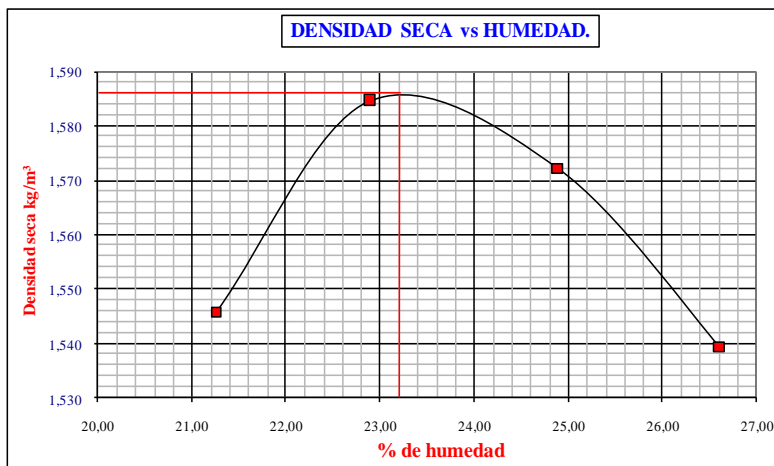


Gráfico N°7. Rípo de Perforación con 25% Cemento

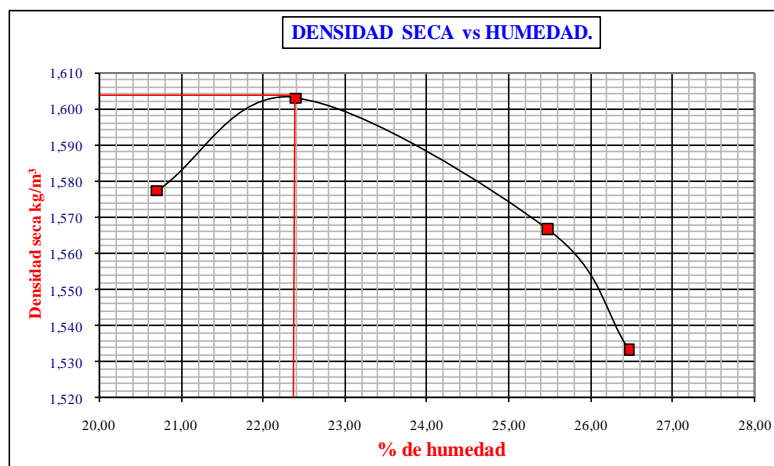


Gráfico N°8. Rípo de Perforación con 30% Cemento

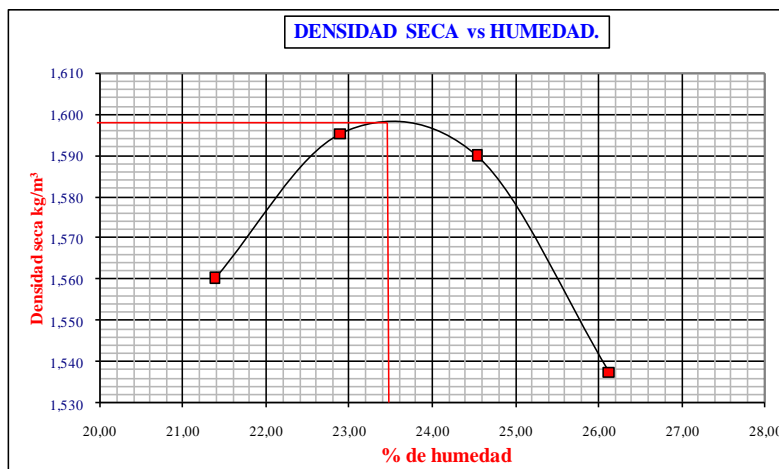


Gráfico N°9. Rípo de Perforación con 35% Cemento

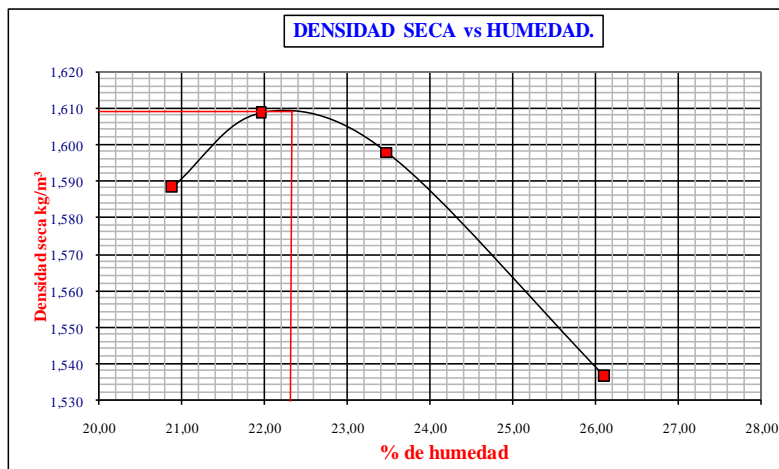


Gráfico N°10. Ripio de Perforación con 40% Cemento

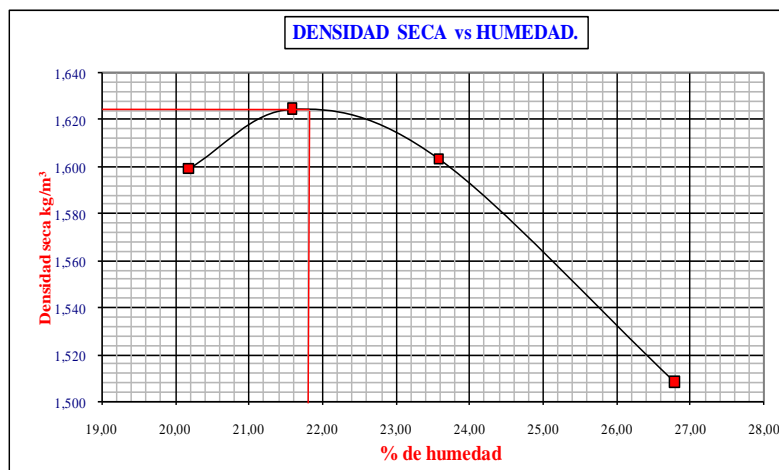


Gráfico N°11. Ripio de Perforación con 45% Cemento

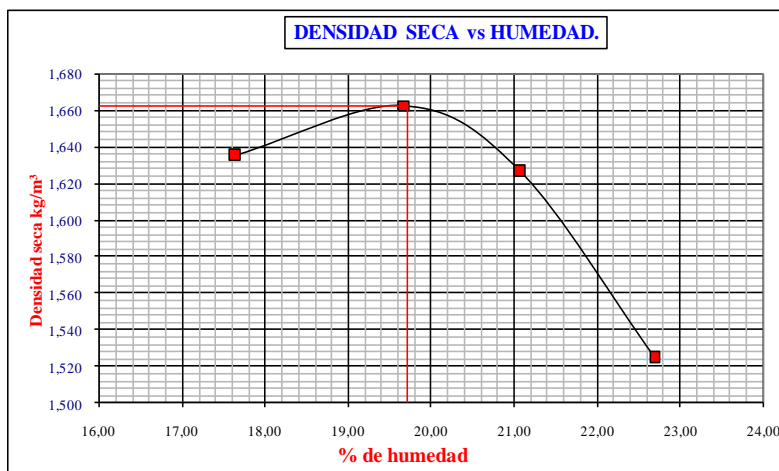


Gráfico N°12. Ripio de Perforación con 50% Cemento

La representación gráfica muestra que los ripios de perforación sin cemento presentan una curva de doble pico, típica de suelos con materiales arcillosos, la misma que al adicionar cemento va tomando el comportamiento de un suelo granular, es decir una curva de un solo pico.

Los valores de humedad y densidad obtenidos se muestran en la Tabla N°23 y en los Gráficos N°13 y 14.

Tabla N° 23. Resultados Relación Humedad Óptima- Densidad

Masa Suelo + Cemento (gr)	Cemento	Humedad óptima (%)	Densidad máxima (kg/m ³)
2000	0%	26,4	1,512
2000	2%	23,6	1,502
2000	5%	28,0	1,505
2000	10%	26,6	1,518
2000	15%	23,9	1,554
2000	20%	24,0	1,570
2000	25%	23,2	1,586
2000	30%	22,4	1,603
2000	35%	23,5	1,598
2000	40%	22,3	1,609
2000	45%	21,8	1,624
2000	50%	19,7	1,663

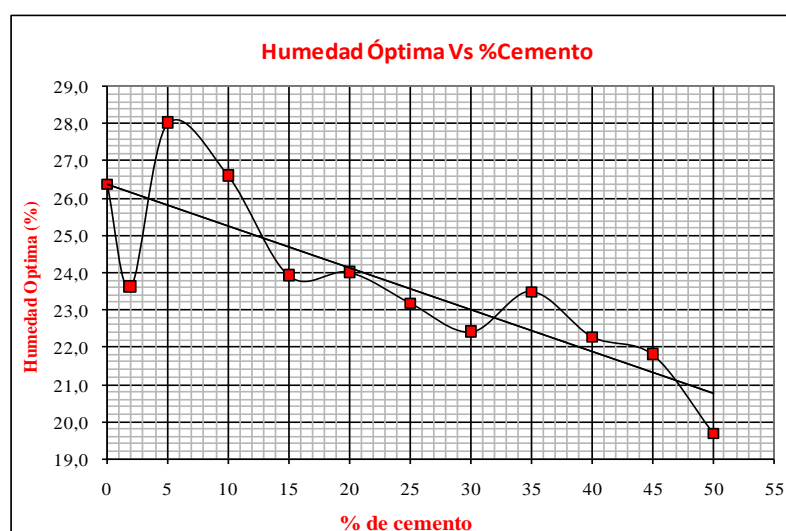


Gráfico N°13. Humedad Óptima Vs % de Cemento

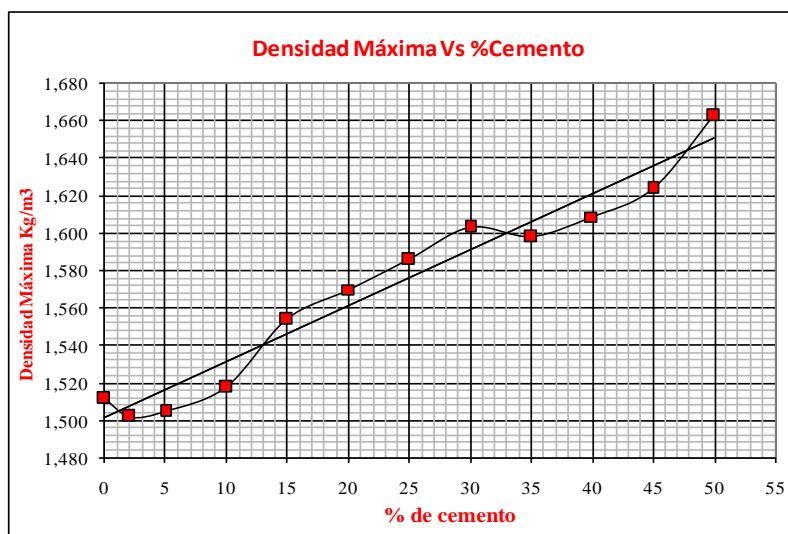


Gráfico N°14. Densidad Máxima Vs %Cemento

Los gráficos N°13 y 14, muestran que el porcentaje de cemento guarda una relación inversamente proporcional con la humedad óptima y directamente proporcional con la densidad máxima, es decir a mayor cantidad de cemento menor requerimiento de agua y mayor resistencia a la compresión.

5.2.3 Resistencia a la Compresión Inconfinada en Especímenes Cilíndricos

Las muestras cilíndricas fueron sometidas a ensayos de resistencia a la compresión inconfinada, donde se seleccionaron únicamente los resultados que mostraban una tendencia promedio, descartando así los valores máximos y mínimos de las resistencias que fueron obtenidas para cada porcentaje de cemento.

Los resultados los informes de ensayo se adjunta en el Anexo N°3 y los resultados obtenidos se registran en la Tabla N°24.

Tabla N° 24. Resistencia a la Compresión Inconfinada Cilindros

% CEMENTO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN INCONFINADA (kg/cm ²)		
	7 Días	14 Días	28 Días
0%	9,69	21,12	34,66
2%	3,07	7,28	6,37
5%	12,07	18,20	19,85
10%	20,27	41,12	36,19
15%	22,71	25,10	39,81
20%	49,15	52,20	57,43
25%	56,98	66,64	90,65
30%	55,21	76,03	84,35
35%	59,31	73,10	91,92
40%	73,71	90,74	87,21
45%	91,05	107,97	111,33
50%	96,41	149,97	175,78

Los resultados indican que existe una relación directamente proporcional entre la cantidad de cemento y la resistencia a los 7, 14 y 28 días, cabe mencionar que los especímenes de 0% cemento no fueron curados ya que al entrar en contacto con humedad estos se disgregaban. En el gráfico N°15, se observa el comportamiento de la resistencia a la compresión inconfinada a los 28 días, edad teórica a la cual el cemento alcanza su máxima resistencia.

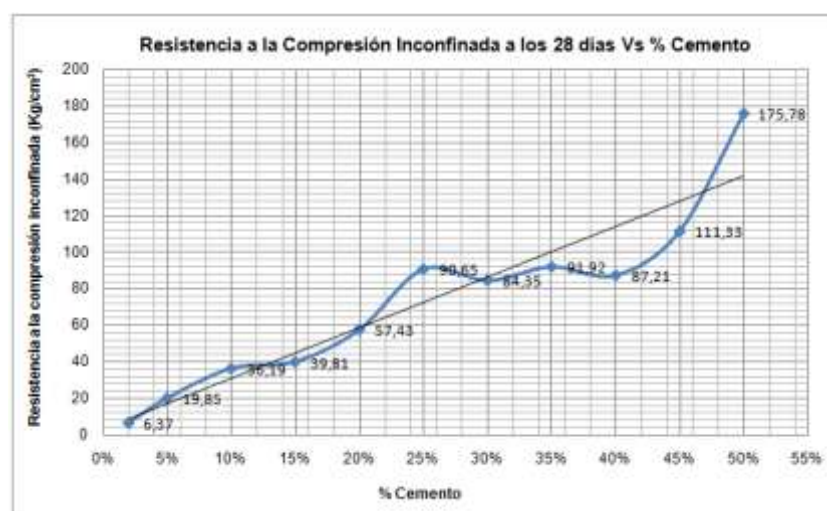


Gráfico N°15. Resistencia a la Compresión Inconfinada a los 28 días Vs %Cemento

En la Tabla N°25, se realizó una comparación de los valores a los 7 y 28 días de edad en los especímenes curados con los rangos de resistencia a la compresión inconfiada para suelos MH establecido por el (Centro Técnico del Hormigón HOLCIM Ecuador, 2007).

Tabla N° 25. Comparación de Resistencias a la Compresión Inconfiada

Contenido de Cemento	Resistencia a la Compresión Inconfiada (kg/cm ²)	
	Valores Obtenidos	
	7 días	28 días
0%	9,69	34,66
2%	3,07	6,37
5%	12,07	19,85
10%	20,27	36,19
15%	22,71	39,81
20%	49,15	57,43
25%	56,98	90,65
30%	55,21	84,35
35%	59,31	91,92
40%	73,71	87,21
45%	91,05	111,33
50%	96,41	175,78
Rangos HOLCIM Ecuador	14 - 28	18 -42

Este análisis comparativo, muestra que los ripios de perforación en base agua pueden ser utilizados como base en vías siempre y cuando sean estabilizados con un 10% de cemento, lo cual pone una barrera económica para su aplicación práctica.

5.2.4 Prueba de Lixiviación en Especímenes Cilíndricos

Los resultados de la prueba de lixiviación y determinación del TPH obtenidos del laboratorio ambiental acreditado, se describen en la Tabla N°26.

Tabla N° 26. Toxicidad Ripios de Perforación Estabilizados con Cemento

ESPECÍMENES	METALES PESADOS (TCLP) E HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO					
	Bario (mg/L)	Cromo (mg/L)	Cadmio (mg/L)	Níquel (mg/L)	TPH (mg/L)	
5% Cemento	0,58	0,0012	<0,0005	0,013	<0.5	
10% Cemento	0,67	0,0093	<0,0005	0,015	<0.5	
15% Cemento	0,60	0,013	0,0007	0,028	<0.5	
20% Cemento	0,58	0,0089	0,0006	0,021	<0.5	
25% Cemento	0,45	0,066	<0,0005	0,021	<0.5	
30% Cemento	0,39	0,05	<0,0005	0,009	<0.5	
35% Cemento	0,57	0,026	0,0009	0,029	<0.5	
40% Cemento	0,56	0,026	0,0009	0,017	<0.5	
45% Cemento	0,38	0,073	<0,0005	<0,0005	<0.5	
50% Cemento	0,43	0,058	<0,0005	0,006	<0.5	
NORMA	NOM-052-SEMARNAT-1993	100	-----	1	5	-----
	RAOHE 1215. Tabla 7a	<5	<1	<0.05	-----	-----
	RAOHE 1215. Tabla 7b	<10	<10	<0.5	<1	<50

La interpretación de resultados, permiten evidenciar el cumplimiento de los límites permisibles establecidos de las normas identificadas para el análisis y cuyos datos permitieron realizar una comparación entre los valores máximos y mínimos de los reportes históricos de monitoreo con los resultados de la caracterización física y química realizadas a las muestras representativas, como se describe en la Tabla N°27.

Tabla N° 27. Comparación Antes y Después de la Estabilización/Cemento

Parámetros	Datos Históricos		Muestras Representativas		Especímenes Estabilizado con Cemento		Límites permisibles		
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	SEMARNAT	RAOHE 1215. Tabla	
								7 a)	7 b)
Bario mg/L	0,06	13,0	1,8	2,8	0,38	0,67	100	<5	<10
Cromo mg/L	<0,02	0,33	<0,02	<0,02	0,0012	0,073	-----	<1	<10
Cadmio mg/L	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,0005	0,0009	1	<0.05	<0.5
Níquel mg/L	-----	-----	0,006	0,024	<0,0005	0,029	5	-----	-----
TPH mg/L	0,18	2,80	<0,5	1,5	<0,5	<0,5	-----	<1	<50

Esta comparación permitió evidenciar una significativa reducción de la concentración en los parámetros analizados. Los reportes de resultados del laboratorio se adjuntan Anexo N°4.

5.2.5 Resistencia a la Compresión Inconfinada en Ladrillos

Los ladrillos fabricados en el laboratorio fueron sometidos al ensayo de resistencia a la compresión inconfinada, se ensayaron tres especímenes y se promediaron los resultados. En el Anexo N°3, se adjuntan los reportes del laboratorio y en la Tabla N°28, se describen los resultados obtenidos.

Tabla N° 28. Resistencia a la Compresión Inconfinada Ladrillos

N°	Diseño				MUESTRA	RESISTENCIA COMPRESIÓN (MPa)		MEDIA (MPa)
	Ripio Perforación	Arena	Tierra	Humedad		M1	M2	
1er. Experimento	100%	0%	0%	21.0%	2009	21,65	25,95	23,80
	100%	0%	0%	21.0%	2010	18,14	20,65	19,39
	100%	0%	0%	21.0%	2011	19,72	23,44	21,58
	100%	0%	0%	21.0%	2012	14,99	15,51	15,25
	100%	0%	0%	21.0%	NUEVOS 2012	13,93	13,44	13,69
	100%	0%	0%	26.4%	2009	19,94	18,10	19,02
	100%	0%	0%	26.4%	2010	26,21	20,76	23,49
	100%	0%	0%	26.4%	2011	26,78	23,34	25,06
	100%	0%	0%	26.4%	2012	21,84	22,92	22,38
	100%	0%	0%	26.4%	NUEVOS 2012	17,19	18,95	18,07
2do. Experimento	100%	0%	0%	26.4%	Compuesta	24,52	20,76	22,64
	95%	0%	5%	26.4%	Compuesta	17,40	20,16	18,78
	90%	0%	10%	26.4%	Compuesta	16,05	18,26	17,16
	85%	0%	15%	26.4%	Compuesta	15,55	17,21	16,38
	95%	5%	0%	26.4%	Compuesta	23,78	23,26	23,52
	90%	10%	0%	26.4%	Compuesta	22,05	23,77	22,91
	85%	15%	0%	26.4%	Compuesta	21,63	20,16	20,90

Los resultados del primer experimento, muestran que los ladrillos diseñados con la humedad óptima (26.4%) presentan una tendencia en la resistencia mayor que los del 21%, de igual manera los ladrillos diseñados con los ripios de perforación más antiguos presentan mayor resistencia que los diseñados con ripios jóvenes, como se ilustra en los gráficos N°16 y 17 respectivamente.

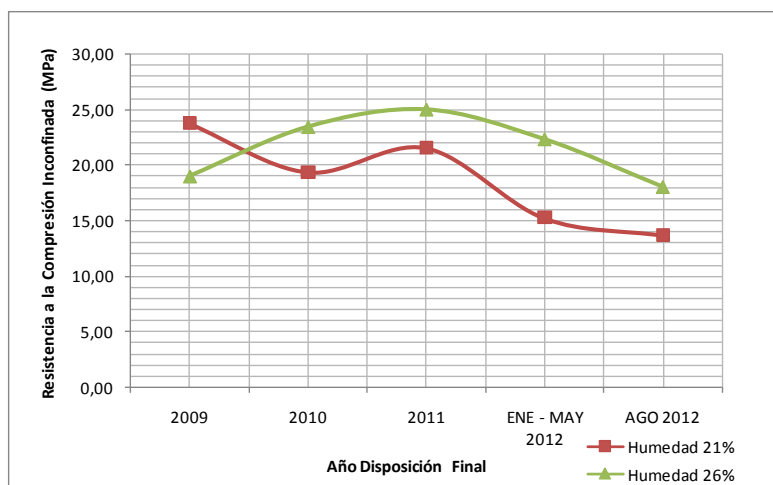


Gráfico N°16. Resistencia Compresión Inconfinada Vs Año de Disposición Final

Por otro lado el segundo experimento, muestra que con el 15% de tierra negra, el ladrillo pierde resistencia a un promedio de 16,38MPa, mientras que con el 5% de arena tiene un leve incremento, la cual decrece al adicionar mas arena, ver gráfico N°17.

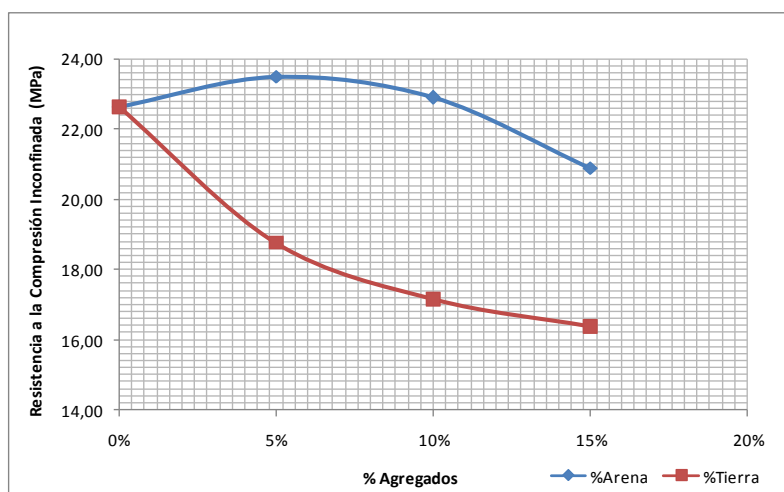


Gráfico N°17. Resistencia a la Compresión Inconfinada Vs %Agregados

Finalmente, comparando las resistencias obtenidas con los agregados, se puede observar que no existe un cambio sustancial con los ladrillos que fueron diseñados únicamente con ripios de perforación, los mismos que presentaron una resistencia promedio de 22.64Mpa, clasificándose como un ladrillo tipo B en base a la norma NTE INEN 297 y que según el Código de Práctica Ecuatoriano tienen aplicación en la construcción de muros interiores en zonas sin exposición a humedad extrema como baños.

5.2.6 Prueba de Lixiviación en Ladrillos

En la Tabla N°29, se observan los resultados de lixiviación de los ladrillos, los cuales en comparación con la legislación, no presentan toxicidad.

Tabla N° 29. Toxicidad Ladrillos con Ripios de Perforación

% Ripio 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
100%	0%	21.0%	0,13	0,0092	<0,0005	<0,005	<0,5
100%	0%	26.4%	0,11	0,0085	<0,0005	<0,005	<0,5
95%	5% Tierra	26.4%	0,15	0,011	<0,0005	<0,005	<0,5
90%	10% Tierra	26.4%	0,092	0,015	<0,0005	<0,005	<0,5
85%	15% Tierra	26.4%	0,14	0,012	<0,0005	<0,005	<0,5
95%	5% Arena	26.4%	0,14	0,012	<0,0005	<0,005	<0,5
90%	10% Arena	26.4%	0,16	0,0095	<0,0005	<0,005	<0,5
85%	15% Arena	26.4%	0,048	0,053	<0,0005	<0,005	<0,5
NORMA	NOM-052-SEMARNAT-1993		100	-----	1	5	-----
	RAOHE 1215. Tabla 7a		<5	<1	<0.05	-----	-----
	RAOHE 1215. Tabla 7b		<10	<10	<0.5	<1	<50

Por otro lado comparando los valores obtenidos con los resultados máximos y mínimos de los reportes de monitoreo recopilados desde enero del 2009 hasta agosto del 2012 (Tabla N°30), se observa una notable reducción de la concentración en los parámetros analizados.

Tabla N° 30. Comparación Antes y Después de la Estabilización/Ladrillos

Parámetros (mg/L)	Datos Históricos		Muestra Representativa		Estabilización en Ladrillos						Límites Permisibles		
					Ripio perforación + Arena		Ripio perforación + Tierra Negra		Solo Ripio de Perforación		SEMARNAT	RAOHE 1215	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx		7 a)	7 b)
Bario	0,06	13	1,8	2,8	0,048	0,16	0,092	0,15	0,11	0,13	100	<5	<10
Cromo	<0,02	0,33	<0,02	<0,02	0,0095	0,053	0,011	0,015	0,0085	0,0092	-----	<1	<10
Cadmio	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	1	<0.05	<0.5
Niquel	-----	-----	0,006	0,024	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	5	-----	-----
TPH	0,18	2,8	<0,5	1,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	-----	<1	<50

5.3 Ladrillos Artesanales con Ripios de Perforación en Base Agua

A partir de los resultados obtenidos en laboratorio se fabricaron ladrillos en una planta artesanal, para lo cual las cinco muestras representativas de estudio, fueron mezcladas manualmente con agua por medio de una pala obteniendo una humedad promedio de 37%.

Los ladrillos fueron diseñados con una prensa mecánica y se secaron al ambiente por 15 día para su posterior cocción en un horno de leña durante 12 días, al trabajar con equipos artesanales no se logró llegar a las condiciones de laboratorio, sin embargo se ensayaron 5 ejemplares para determinar la resistencia a la compresión inconfiada y la absorción de humedad siguiendo las normas NTE INEN 294 y 296 respectivamente, la resistencia promedio obtenida fue de 19.5MPa y la absorción promedio de humedad fue del 22%. Los resultados obtenidos se presentan en las Tablas N°31 a la 33.

Tabla N° 31. Contenido de Humedad Ladrillos Artesanales

Muestra	Peso tara	Peso húmedo + tara	Peso seco + tara	% Humedad
M1	122,34	233,61	203,25	38%
M2	121,10	235,82	204,66	37%
M3	122,02	233,08	205,16	34%
M4	121,81	224,3	199,02	33%
M5	118,09	267,23	221,22	45%
Promedio %Contenido de Humedad				37%

Tabla N° 32. Resistencia Mínima a la Compresión

RESISTENCIA MÍNIMA A LA COMPRESIÓN (MPa)				
Muestra	largo	Ancho	Carga	Resistencia Compresión (MPa)
M1	12,7	12,5	27922	17,6
M2	12,7	12,5	32982	20,8
M3	12,7	12,4	31582	20,1
M4	12,68	12,5	34337	21,7
M5	12,4	12,38	26612	17,3
Promedio resistencia (MPa)				19,5

Tabla N° 33. Absorción de Humedad

% ABSORCIÓN HUMEDAD			
Muestra	Peso seco	Peso húmedo	% Absorción
M1	3681,1	4463,2	21,25%
M2	3383,8	4149,4	22,63%
M3	3358,7	4120,7	22,69%
M4	3210,2	3931,5	22,47%
M5	3368,9	4074,8	20,95%
Promedio % Absorción			22,00%

Según la NTE INEN 297 y el Código de Práctica Ecuatoriano, se tiene ladrillos tipo C, los cuales pueden ser utilizados en muros interiores y muros exteriores con enlucido, que no estén expuestos a condiciones de lluvia extrema.

6 CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- En los análisis realizados, se concluyó que el ripio de perforación en base agua puede ser reutilizado estabilizándolo con el 10% de cemento para base en vías, obteniendo resistencias a la compresión inconfiada de $20,27\text{kg/cm}^2$ y $36,19\text{kg/cm}^2$ a los 7 y 28 días respectivamente, cumpliendo con los rangos establecidos por el centro técnico del hormigón HOLCIM Ecuador, sin embargo el porcentaje de cemento requerido pone una barrera económica.
- 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 22,6MPa 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.
- En la práctica artesanal se obtuvieron ladrillos mezclando las muestras representativas con un contenido de humedad del 37%, la resistencia promedio obtenida fue de 19Mpa y de 22% de absorción de humedad, comparados con la NTE INEN297, se tiene ladrillo tipo B y C, los cuales según el Código de Practica Ecuatoriano pueden ser utilizados en muros interiores excepto en áreas húmedas como baños y en muros exteriores con enlucido sin exposición a condiciones extremas de humedad.

- Los ladrillos presentan mejor resistencia a la compresión inconfiada si son diseñados con la humedad óptima obtenida del ensayo relación densidad humedad con el proctor estándar.
- La adición de agregados en los ladrillos, aumenta los poros de la estructura interna del espécimen los que hace que el ladrillo pierda resistencia siendo más notorio con la adición de tierra negra.
- Las pruebas de lixiviación permitieron evidenciar que existe mayor reducción de la concentración de los parámetros de análisis con la fabricación de ladrillos que con la estabilización suelo cemento.
- La conversión de los ripios de perforación en base agua en una estructura rígida, permite encapsular los metales pesados impidiendo así la biodisponibilidad en el ambiente.
- Los ripios de perforación generados en las actividades hidrocarburíferas presentan un olor característico debido al contenido de sustancias químicas y la descomposición de la materia orgánica, sin embargo al ser secados al ambiente este olor desaparece y al entrar en contacto nuevamente con agua es imperceptible este olor.
- En el campo de la construcción está mal empleado el término ripio para nombrar a las partículas sólidas de los lodos de perforación ya que este corresponde terminó corresponde a un agregado grueso y los análisis indican que es un material limoso con una mezcla variable de partículas de arcilla clasificado clasificadas como agregados finos.

6.2 Recomendaciones

- Realizar un seguimiento ambiental mediante pruebas de lixiviación ó una modelación de los metales pesados, a fin de establecer si a futuro existe biodisponibilidad al ambiente de las bajas concentraciones identificadas en esta investigación ya que puede existir deterioro del elemento constructivo ya sea por exposición a las condiciones atmosféricas, desgaste del mismo por manipulación o el tiempo de vida.
- Se recomienda realizar un estudio de factibilidad económica, que permita identificar la mejor opción más rentable para la puesta en práctica.
- Para la fabricación de los ladrillos, se recomienda utilizar un horno que permita regular las condiciones de temperatura, a fin de controlar las emisiones atmosféricas, de igual manera el horno deberá contar con un sistema para el lavado de gases.
- En la manipulación de los ripios de perforación, se debe hacer uso del equipo de protección personal adecuado, para evitar la manipulación directa ya que estos se encuentran impregnados con productos químicos y en estado seco producen el levantamiento de partículas muy finas como son las arcillas, las cuales al ser inhaladas en un tiempo de exposición prolongado pueden causar daños en el sistema respiratorio.
- Para la aplicación de los ladrillos, se recomienda que estos sean utilizados en la industria hidrocarburífera, preferiblemente para la construcción de bodegas de almacenamiento de productos químicos, cerramientos, bordillos y aceras peatonales, entre otras aplicaciones.

7 CAPÍTULO VII. GLOSARIO

SIGLAS

AASHTO: American Association of State High way Officials (Asociación Americana de Oficiales de Autopista Estatal y Transportación).

ACI: American Concrete Institute (Instituto Americano del Concreto).

ASTM: American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales)

CRETIB: Es un código utilizado para nombrar las características de peligrosidad (Corrosividad, Reactividad, Explosividad, Toxicidad, Inflamabilidad y Biológico Infeccioso) de un elemento peligroso.

ECOPETROL: Empresa Colombiana de Petróleos.

EP PETROECUADOR: Empresa Pública de Hidrocarburos del Ecuador

EPA: Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos).

HAPs: Hidrocarburos aromáticos policíclicos.

HSE: Salud (Health), Seguridad (Securtyti) y Ambiente (Enviroment).

INECYC: Instituto Nacional del Cemento y del Concreto.

INEN: Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización.

MAE: Ministerio de Ambiente del Ecuador

OBMs: Abreviatura utilizada para nombrar los lodos base aceite.

PDVSA: Petróleos de Venezuela S.A.

PUCE: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

RAOHE 1215: Reglamento Ambiental de Operaciones Hidrocarburíferas del Ecuador, Decreto 1215.

SBMs: Abreviatura utilizada para nombrar los lodos sintéticos.

TPH: Hidrocarburos Totales de Petróleo.

TULAS: Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ecuador.

WBM: Abreviatura utilizada para nombrar los lodos base agua.

CONCEPTOS

ABSORCIÓN DE HUMEDAD: Es un procedimiento para la determinación de las masas de ladrillo antes y después de ser sumergida en agua, estableciéndose la diferencia entre las dos masas como base para conocer el valor de absorción de la humedad.

AGREGADO FINO: Agregado que pasa por el tamiz de 9,5mm y que la mayor parte de las partículas pasa por el tamiz 4,75 mm (No. 4) y son retenidas en su mayoría en tamiz 75 μ m (No.200).

AGREGADO GRUESO: Agregado en que la mayor parte de sus partículas quedan retenidas en el tamiz 4,75 mm (No. 4).

AGREGADOS: Material granular como arena, grava, piedra triturada o escoria de altos hornos que se usa como cementante para elaborar hormigón o mortero de cemento hidráulico.

CELDA DE CONFINAMIENTO: Es el espacio creado artificialmente para la disposición final de los desechos contaminados.

CILINDROS: Son muestras en formas cilíndricas fabricadas con una mezcla de ripio de perforación agua y cemento.

COMPACTACIÓN: Proceso manual o mecánico que tiende a reducir el volumen total de vacíos de una masa de mortero o de hormigón fresco.

CURADO: Es el proceso de aplicar y controlar ciertas condiciones ambientales para el fraguado y endurecido del hormigón.

CURVA DENSIDAD HUMEDAD: Es una curva de densidad que se obtiene en el laboratorio, en la cual se determina la variación de la densidad seca al modificar la humedad de compactación.

DESECHOS PELIGROSOS: Son aquellos desechos sólidos, pastosos, líquidos o gaseosos resultantes de un proceso de producción, transformación, reciclaje, utilización o consumo y que contengan algún compuesto que tenga características reactivas, inflamables, corrosivas, infecciosas, o tóxicas, que represente un riesgo para la salud humana, los recursos naturales y el ambiente de acuerdo a las disposiciones legales vigentes.

DISPOSICIÓN FINAL: Acción de depositar o confinar permanentemente residuos en sitios o instalaciones cuyas características permitan prevenir su liberación al ambiente y las consecuentes afectaciones a la salud de la población, a los ecosistemas y elementos.

DOSIFICACIÓN: Proporción en masa o volumen de distintos materiales en la mezcla.

Fraguado: Es el proceso inicial de hidratación por el cual un hormigón cambia de un estado fluido a un estado rígido.

HUMEDAD ÓPTIMA: Es el contenido de humedad en el cual el suelo presenta la máxima densidad de compactación.

LADRILLO COMÚN: Es un ladrillo moldeado a mano

LADRILLO DE MAQUINA: Es un ladrillo moldeado mecánicamente y en producción continua.

LADRILLO PRENSADO: Es el ladrillo que se prensa entre el moldeo y la cochura.

LADRILLO: Pieza de arcilla moldeada y cocida, en forma de paralelepípedo o prisma regular que se emplea en albañilería.

LIXIVIACIÓN QUÍMICA: La lixiviación es un proceso en el cual se extrae uno o varios solutos de un sólido, mediante la utilización de un disolvente líquido. Ambas fases entran en contacto íntimo y el soluto o los solutos pueden difundirse desde el sólido a la fase líquida, lo que produce una separación de los componentes originales del sólido.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN: Es un procedimiento para la aplicación de una carga progresiva de compresión a una muestra, hasta provocar su falla.

REUTILIZACIÓN: Es la acción de volver a utilizar los bienes o productos, cuantos más materiales volvamos a utilizar menos basura produciremos y menos recursos tendremos que gastar.

SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de los Estados Unidos Mexicanos.

TCLP: Procedimiento Controlado de Toxicidad y Lixiviación que consiste en determinar la movilidad en el residuo de determinados constituyentes tóxicos,

sean éstos elementos o compuestos químicos, tanto de origen orgánico como inorgánico, generalmente este método es utilizado para determinar si un residuo es peligroso

TOXICIDAD: Propiedad de una sustancia o mezcla de sustancias que ocasiona efectos adversos en la salud o a los ecosistemas.

VALORIZACIÓN: Todo proceso que permita el aprovechamiento de los recursos contenidos en los residuos sin poner en peligro la salud humana y sin utilizar métodos que puedan poner en causar perjuicio al medio ambiente.

8 CAPÍTULO VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Al-Ansary, M. S., & Al-Tabbaa, A. (2004). Stabilisation/solidification of synthetic north sea drill cuttings containing oil and chloride. 2, 833-842.
- Al-Ansary, M. S., & Al-Tabbaa, A. (2007). Stabilisation/solidification of synthetic petroleum drill cuttings. *Journal of Hazardous Materials*, 410-420.
- American Concrete Institute. (2009). *Report on soil cement 230.1R*. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, USA.
- Atienza, M., Díaz Minguela, J., Fernández Cuenca, J. A., Garrido, L., Jofré, C., Kraemer, C., . . . Vera, M. (2008). *Manual de estabilización de suelos con cemento o cal*. (I. Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones, Ed.) Madrid, España: Vaquero Servicios de Publicaciones, S.L.
- Baker Hughes Incorporated. (1998). *Fluidos Manual de Ingeniería*. Houston, USA: Technical Communications Group.
- Bañón Blázquez, L., & Beviá García, J. F. (2000). *Manual de carreteras. Volumen II: construcción y mantenimiento* (Vol. 2). (C. d. Ortiz e Hijos, Ed.)
- Barberii, E. E. (2001). *El Pozo Ilustrado* (Quinta edición ed.). (E. FONCIED, Ed.) Caracas, Venezuela: Editorial Binev.
- Baroid. (1999). *Manual de fluidos*. Houston, USA: Halliburton Company.
- Boutemour, R., Haddi, A., & Bali, N. (2003). Use of petroleum waste as sub-base material for road construction. *Proceedings of the International Symposium on Advances in Waste Management and Recycling*.
- Bravo, E. (2007). *Los impactos de la explotación petrolera en ecosistemas tropicales y la biodiversidad*. Ecuador: Acción Ecológica.
- Centro Técnico del Hormigón HOLCIM Ecuador. (2007). *Bases de suelo cemento*. Ecuador.
- CINGE CIA. LTDA. (2012). Reevaluación del diagnóstico y plan de manejo ambiental del área Shushufindi para actividades de desarrollo y producción hidrocarburífera- ampliación, construcción de plataformas y vías de acceso, instalación de líneas de flujo y perforación de pozos.

- Empresa Pública de Hidrocarburos del Ecuador. (2010). *Inventario de desechos sólidos en el distrito amazónico*. Quito.
- Instituto Americano del Petróleo. (2001). *Procedimiento estándar para las pruebas de fluidos de perforación*. Dallas, Texas, United States.
- Leonard, S. A., & Stegemann, J. A. (2010). Stabilization/solidification of petroleum drill cuttings. *Journal of Hazardous Materials*, 463-471.
- Liendo, F. (2010). *Reuso de ripios encapsulados en obras asociadas con perforación*. Venezuela: PDVSA.
- Ogechi Opete, S. E., Mangibo, I. A., & Iyagba, E. T. (March de 2010). Stabilization/solidification of synthetic Nigerian drill. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 4, 149-153.
- Rivero, C., & Sánchez, M. (2011). Efectos de ripio de perforación petrolera de base agua sobre el crecimiento de la soya. (S. Belzares Barboza, Ed.) *Revista de la facultad de Agronomía*, 28(Suplemento 1), 16.
- Rivva L, E. (2006). *Durabilidad y patología del concreto*.
- Roddie, B., Skadsheim, A., Runciman, D., & Kjeilen, G. (1999). UKOOA Drill cuttings initiative research and development. 9.
- SCHLUMBERGER DRILLING SCHOOL. (2010). *Tecnología de perforación*. Manual.
- Schlumberger Excellence in Education Development, Inc. (8 de 7 de 2013). *www.planetseed.com*. Recuperado el 11 de 12 de 2013, de <http://www.planetseed.com/es/sciencearticle/fluido-de-perforacion-elemento-vital-del-pozo>
- Stantec Limited, J. W. (2009). *Cuttings Treatment Technology Evaluation*. Dartmouth, Canada: Environmental Studies Research Funds.
- Tucan, A., Tucan, M., & Koyuncu, H. (2000). e of petroleum – contaminated drilling wastes as sub-base material for road construction. *Waste Manage*, 489-505.

LEGISLACIÓN NACIONAL

MINISTERIO DEL AMBIENTE (2003). *Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS)*.

MINISTERIO DEL AMBIENTE. (2008). Acuerdo Ministerial N°026. *Procedimientos para registro de generadores de desechos peligrosos, gestión de desechos peligrosos previo al licenciamiento ambiental, y para el transporte de materiales peligrosos*. Quito.

MINISTERIO DEL AMBIENTE. (2012). Acuerdo Ministerial N°142. *Listados nacionales de sustancias químicas peligrosas, desechos peligrosos y especiales*. Quito.

DIRECCIÓN METROPOLITANA AMBIENTAL. (2008). *Normas técnicas para la aplicación de la codificación del título v, "de la prevención y control del medio ambiente de la Ordenanza Municipal 213*. Quito.

Reglamento Sustituto al Reglamento Ambiental para Las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador. Decreto ejecutivo N°1215 del 13 de febrero del 2001.

NTE INEN 2266. (2000). *Transporte, almacenamiento y manejo de productos químicos peligrosos. Requisitos*. Quito.

NTE INEN 294 (1977). *Ladrillos cerámicos, determinación a la resistencia a la compresión*. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Ecuador.

NTE INEN 297. (1977). *Ladrillos cerámicos requisitos*. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Ecuador.

CPE INEN 5. (1984). *Código ecuatoriano de la construcción mampostería de ladrillo*. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Ecuador.

NTE INEN 296. 1977. *Ladrillos cerámicos, determinación de absorción de humedad*. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Ecuador.

LEGISLACIÓN INTERNACIONAL

NORMA OFICIAL MEXICANA. (1993). NOM-052-SEMARNAT-1993. *Establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.* Estados Unidos Mexicanos.

ASTM D 2487 (2006). *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System).* United States.

ASTM D 422 (1998). *Standard test method for particle-size analysis of soils.* United States.

ASTM D 558 (1996). *Standard test methods for moisture-density relations of soil-cement mixtures. Method A.* United States.

ASTM D 1633 (2000). *Standard test methods for compressive strength of molded soil-cement cylinders.* United States.

ASTM D 1632 (1996). *Standard practice for making and curing soil-cement compression and flexure test specimens in the laboratory.* United States.

ASTM D 854 (2002) *Standard test methods for specific gravity solids by water pycnometer.* United States.

US Environmental Protection Agency (USEPA) (2004). *Method 9045D Soil and waste pH.* Washington, D.C.

US Environmental Protection Agency (USEPA) (1996). *Method 9010B Total and amenable cyanide: distillation.* Washington, D.C.

US Environmental Protection Agency (USEPA) (1996) SW-846, *Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical.* Washington, D.C.

US Environmental Protection Agency (USEPA) (1996). *Method 6020A Inductively coupled plasma-mass spectrometry.* Washington, D.C.

US Environmental Protection Agency (USEPA) (1996). *Method 9050A Specific conductance.* Washington, D.C.

[US Environmental Protection Agency (USEPA) (2003). *Method 8015D Nonhalogenated organics using.* Washington, D.C.

US Environmental Protection Agency (USEPA) (2007). *Method 8270D Semivolatile organic compounds by gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS)*. Washington, D.C.

US Environmental Protection Agency (USEPA) (2007). *Method 300.1 Determination of inorganic anions in drinking water by ion Chromatography*. Washington, D.C.

9 CAPÍTULO IX. ANEXOS

- 9.1 Anexo 1.** Programa de Muestreo
 - 9.1.1 Anexo 1.1.** Registro Fotográfico
 - 9.1.2 Anexo 1.2.** Plano de Ubicación Celdas de Confinamiento Final
 - 9.1.3 Anexo 1.3.** Historial de Monitoreo
 - 9.1.4 Anexo 1.4.** Inventario de Celdas de Confinamiento Final
 - 9.1.5 Anexo 1.5.** Plano de Ubicación de Puntos de Muestreo
- 9.2 Anexo 2.** Caracterización Ripios de Perforación en Base Agua
 - 9.2.1 Anexo 2.1.** Reportes de Análisis Físicos y Químicos
 - 9.2.2 Anexo 2.2.** Reportes de Análisis Físicos y Mecánicos
- 9.3 Anexo 3.** Resultados Ensayos de Materiales
 - 9.3.1 Anexo 3.1.** Resultados Ensayo Relación Humedad Densidad
 - 9.3.2 Anexo 3.2.** Ensayos de Materiales en Especímenes Cilíndricos
 - 9.3.3 Anexo 3.3.** Ensayos de Materiales en Ladrillos de Laboratorio
- 9.4 Anexo 4.** Resultados Pruebas Lixiviación en Especímenes
 - 9.4.1 Anexo 4.1.** Pruebas Lixiviación en Especímenes Cilíndricos
 - 9.4.2 Anexo 4.2.** Pruebas Lixiviación en Ladrillos de Laboratorio
- 9.5 Anexo 5.** Registro Fotográfico Diseño Experimental