

# Reutilización de Ripios de perforación en base agua como material de construcción

Sara, Rojas-Blanco<sup>1</sup>; Oliva, Atiaga-Franco<sup>2</sup>; David, Carrera-Villacrés<sup>3</sup>

## Resumen

La creciente actividad hidrocarburífera en Ecuador intensificó 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. El objetivo de la investigación fue determinar el potencial de reutilización de ripios de perforación en base agua como material de construcción, obteniendo muestras representativas de los ripios, que fueron dispuestos en celdas de confinamiento durante enero 2009 a agosto 2012 en el Área Operativa Shushufindi EP PETROECUADOR. Los resultados físico-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 inconfínada 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 de hidrocarburos totales de petróleo (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 humedades extremas.

**Palabras Clave:** Estabilización, solidificación y reutilización.

## Reusing of drilling residues with water based as construction material

### 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 total petroleum hydrocarbons (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:** Stabilization, solidification and reuse.

**Recibido:** 15 de agosto de 2014

**Aceptado:** 31 de marzo de 2015

<sup>1</sup> Supervisora de Seguridad, Salud y Ambiente de la Compañía SMARTPRO S.A. Máster en Sistemas de Gestión Ambiental de la Universidad de las Fuerzas Armadas del Ecuador - ESPE. srenvironmental@gmail.com

<sup>2</sup> Docente de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE. Máster en Energía y Medio Ambiente y Candidata a Máster en Ciencia y Tecnología Química, olatiaga@espe.edu.ec

<sup>3</sup> Profesor investigador de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE. Máster y Doctor en Ciencias en el Programa de Hidrociencias del Colegio de Postgraduados de México, especializado en química inorgánica de aguas y suelos con fines agrícolas. dvcarrera@espe.edu.ec

## I. INTRODUCCIÓN

Este documento, representa un trabajo investigativo y experimental sobre la reutilización de los rípios de perforación en base agua como material de construcción. Idea que surge de la necesidad de dar una disposición final segura a estos fragmentos de roca que son impregnados con químicos durante la perforación de las formaciones geológicas. Actualmente, la Legislación Ambiental del Ecuador permite que estos rípios sean enterrados en celdas de confinamiento [1], sin embargo, su construcción demanda áreas amplias con niveles freáticos profundos y en algunos casos el desbroce de cobertura vegetal. En otra perspectiva, la extracción de materiales pétreos deteriora el medioambiente, 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 contexto, la presente investigación se enfocó en la caracterización físico-química, mecánica y toxicológica de los rípios de perforación en base agua, donde los resultados obtenidos permitieron desarrollar en laboratorio la estabilización con cemento para base en vías y la fabricación de ladrillos, mientras que en la práctica se elaboraron ladrillos artesanales, los cuales fueron sometidos a pruebas de lixiviación para descartar toxicidad.

## II. DESARROLLO

### 1. Metodología

#### 1.1 Obtención de Muestras Representativas

El Reglamento Ambiental de Operaciones Hidrocarbúricas del Ecuador Decreto 1215 (RAHOE 1215) [2], establece que las celdas de confinamiento de rípios de perforación, deben ser monitoreadas a los 7, 90 y 180 días después de la disposición final. Bajo este principio se recopilieron y sistematizaron los resultados de monitoreo de las celdas, que fueron cerradas en el periodo enero de 2009 a agosto de 2012 por la Empresa Pública de Hidrocarburos PETROECUADOR y cuya ubicación geográfica se aprecia en el Figura 1.

Con los datos sistematizados, se determinó la concentración media de los parámetros establecidos en el reglamento en mención y se seleccionaron aquellas celdas que presentaban mayor concentración para el muestreo.

En total se muestrearon 30 celdas mediante el método aleatorio simple en función del área y profundidad. Las muestras obtenidas fueron mezcladas y homogenizadas, y por cuarteo se obtuvieron cinco muestras compuestas representativas correspondientes a cada año del periodo de disposición final. No

obstante, para el año 2012 se tomó una muestra adicional correspondiente a los rípios nuevos, es decir, los que tenían un tiempo de disposición final menor a los 15 días.

### 1.2 Caracterización de los Rípios de Perforación en Base Agua

#### 1.2.1 Propiedades Físicas y Químicas

Las propiedades físicas y químicas se determinaron en base a los criterios de la Norma 052 de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales de México (NOM-052-SEMARNAT/93) [3], donde los parámetros de análisis fueron identificados de acuerdo al tipo de actividad generadora. Adicionalmente se incorporaron los parámetros establecidos en el RAOHE 1215, los cuales a nivel nacional deben ser monitoreados para la disposición final en celdas de confinamiento [4] y se determinó la concentración de cloruros y sulfatos, los cuales según Atienza *et al.*, (2008) provocan *“reacciones expansivas que pueden comprometer la estabilidad volumétrica del material estabilizado o bien pérdidas de resistencia del mismo”* [5]. Para la caracterización de los parámetros de análisis descritos en la Tabla 1, se contrato el servicio del laboratorio químico-analítico ambiental Gruntec Cía Ltda.

#### 1.2.2 Propiedades Físicas Mecánicas

Las propiedades mecánicas de los rípios de perforación en base agua, se determinaron con los ensayos ASTM D 2487 [20] que clasifica los suelos minerales y orgánicos minerales con fines de ingeniería y ASTM D 422 [21] que determina la distribución de las partículas menores a  $75\mu$  usando un hidrómetro. La ejecución de estos ensayos fue contratada al laboratorio de materiales de construcción de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Adicionalmente los autores realizaron en el laboratorio de materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, el ensayo ASTM D 558 [22] que determina la relación humedad-densidad máxima utilizada para el moldeo de especímenes de suelo con diferentes porcentajes de cemento, los valores obtenidos son interpolados y el pico más alto de la curva generada corresponde a la humedad óptima (ver Gráfico 1). En resumen las propiedades físicas-mecánicas analizadas en el presente diseño experimental son las descritas en la Tabla 2.

### 1.3 Aplicación de los Rípios de Perforación en Base Agua

El análisis de las propiedades físicas, químicas y mecánicas, permitió identificar como alternativas de

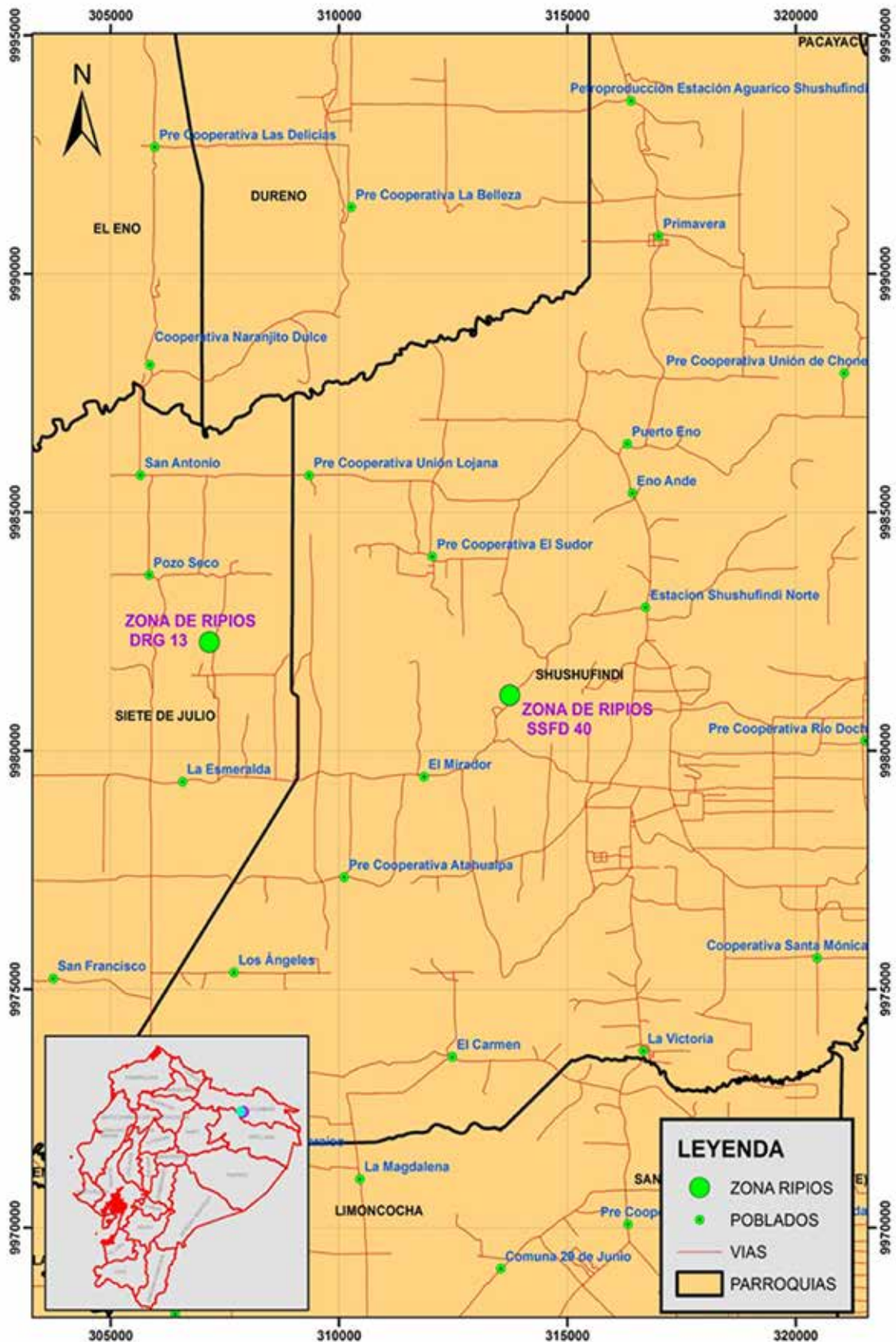


Figura1. Ubicación Geográfica de Estudio Instituto Geográfico Militar, 2013, Base Escala 1:50.000

Tabla 1. Propiedades Químicas y de Peligrosidad de Estudio

NORMA	PARÁMETROS	MÉTODO DE REFERENCIA	
NOM-052-SEMARNAT-1993	CORROSIVIDAD	Potencial de hidrógeno (pH)	EPA 9045 D [6]
	REACTIVIDAD	Polimerización violenta	NOM-052-SEMARNAT/93 [7]
		Reacción con agua	NOM-052-SEMARNAT/93 [8]
		Reacción con ácido	NOM-052-SEMARNAT/93 [9]
		Reacción con álcali	NOM-052-SEMARNAT/93[10]
		Generación de HCN (cianuro reactivo)	EPA 9010B [11]
	Generación de H <sub>2</sub> S (Sulfuro reactivo)	SW-846 [12]	
INFLAMABILIDAD	Capaz de provocar fuego si no es líquido	NOM-052-SEMARNAT/93[13]	
TOXICIDAD	Metales Pesados (As Total, Hg, Ni, Ag, Pb, Se, Cr <sup>+6</sup> )	EPA 6020 A [14]	
RAOHE 1215	Conductividad eléctrica		EPA 9050 A [15]
	Hidrocarburos totales de petróleo (TPH)		EPA 8015D (CG-FID) [16]
	Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)		EPA 8270 D [17]
	Metales Pesados (Ba, Cd, Cromo total y Vanadio)		EPA 6020 A [18]
	Contenido de Cloruros y Sulfatos		EPA 300.1 [19]

Fuente: Norma Oficial Mexicana 052-1993 / Métodos de referencia de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) / Reglamento Ambiental de Operaciones Hidrocarburíferas del Ecuador Decreto 1215

Tabla 2. Propiedades Físicas y Mecánicas de Estudio.

Ensayo	Características de Análisis	
ASTM D 2487 [12]	Humedad Natural (%)	
	Límites de ATTERBERG	Límite líquido (%)
		Límite plástico (%)
		Índice de plasticidad (%)
	Análisis granulométrico	Grava (%)
		Arena (%)
		Finos (%)
		% Finos (menor a 0,005mm)
ASTM D 422 [13]	Clasificación de suelos (SUCS)	
	Granulometría por Hidrómetro.	
ASTM D 558 [14]	Relación Humedad-Densidad en mezclas suelo cemento	

Fuente: American Society for Testing and Materials

aplicación la estabilización con cemento para base en vías y la fabricación de ladrillos, los diseños experimentales fueron desarrollados por los autores en el laboratorio de materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, con el siguiente procedimiento:

### 1.3.1 Alternativa 1. Estabilización con Cemento para Base en Vías

#### Equipos y Materiales

- *Ripios de Perforación:* Fragmentos de roca impregnados con productos químicos de las formaciones geológicas que se perforan.
- *Cemento:* Se utilizó cemento Portland Tipo I, el Centro Técnico de Hormigón HOLCIM ECUADOR (2007) expresa que “para 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)” [23].
- *Agua:* Se utilizó agua potable, la cual es indispensable para la hidratación del cemento.
- *Proctor estándar:* Equipo de compactación de laboratorio, conformado por un molde cilíndrico de acero de 101,2mm de diámetro x 117,1mm de altura, con una capacidad de 942cm<sup>3</sup> provisto de una base, collar y un martillo de compactación con caída libre de 305mm y peso de 2,5kg, el cual se desliza dentro de una camisa guía.
- *Mezcladora eléctrica:* Equipo a corriente continua con potencia de 1/6 HP diseñado para mezclar.
- *Moldes cilíndricos:* Moldes fabricados con cobre amarillo, provistos de tres unidades cilíndricas y un pistón que permite para ejercer una fuerza manual de compactación.
- *Tanque de curado rápido:* Equipo utilizado para

fragar con vapor de agua probetas que contienen en su diseño cemento.

- **Máquina de Compresión:** Equipo utilizado para medir la resistencia a la compresión inconfínada, el mismo que debe estar calibrado.

### Diseño de Especímenes Cilíndricos

Las muestras representativas de los ripios de perforación en base agua fueron mezcladas con los porcentajes de cemento y contenido de agua determinados con el ensayo humedad-densidad ASTM D558 [24] y cuyos resultados se resumen en la Tabla 3.

Los constituyentes fueron homogenizados mecánicamente y la mezcla obtenida se dispuso en moldes cilíndricos (50x100)mm hasta su llenado, posteriormente se aplicó una fuerza manual de compactación mediante un pistón y fueron desmoldados al día siguiente para su fraguado en tanque de curado rápido a una temperatura de  $26 \pm 2^\circ\text{C}$  y una humedad relativa de  $91\% \pm 2\%$  durante 15 días, finalmente se sometieron a ensayos de resistencia a la compresión inconfínada y pruebas de lixiviación.

### Métodos de Ensayos en Especímenes Cilíndricos

#### a) Ensayo resistencia a la compresión inconfínada

La resistencia a la compresión inconfínada se determinó con el ensayo ASTM D1633 [25], mediante una máquina de compresión que ejerce una carga continua, sin golpear al espécimen (cilindro), con una velocidad de deformación constante dentro de los límites de  $70 \pm 140 \text{ kPa/s}$  hasta la rotura, durante la deformación del espécimen se va registrando la carga.

La resistencia se calcula dividiendo la carga máxima para el área de sección transversal del espécimen.

#### b) Ensayo para Determinar la Característica de Toxicidad por Lixiviación (TCLP) y Determinación de TPH.

La caracterización preliminar de las propiedades físicas y químicas de los ripios de perforación en base agua, determinaron la concentración inicial de los parámetros analizados, este antecedente permitió identificar los parámetros a medir en los especímenes. En tal sentido, se realizó el ensayo TCLP con el método de referencia EPA 6020A [26] para metales pesados (bario, cadmio, cromo total y níquel) y el método EPA 8015D [27] para TPH mediante cromatografía de gases FID, procedimientos realizados por un laboratorio acreditado.

#### 1.3.2 Alternativa 2. Fabricación de Ladrillos Materiales y Equipos

Adicional a los materiales y equipos utilizados en la Alternativa N°1, se utilizaron los siguientes:

- **Arena:** Agregado obtenido del Río Aguarico ya que comercialmente se distribuye en Shushufindi, sitio donde se llevó a cabo la investigación.
- **Tierra Negra:** Agregado obtenido de una cantera ubicada en la Loma de Puengasí en Quito, en el oriente Ecuatoriano no es común encontrar este tipo de suelo, sin embargo se utilizó para fines experimentales.
- **Prensa Mecánica:** Es un equipo utilizado para prensar la mezcla de ripio de perforación con el porcentaje de humedad óptimo para la fabricación de ladrillos sólidos.

Tabla 3. 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

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

- **Horno de Alta Temperatura:** Es un sistema cerrado que tiene la capacidad de retener el calor que genera en su interior y que alcanza temperaturas mayores a los 1100°C.

**Diseño de Ladrillos y Métodos de Ensayo**

*a) Diseño de ladrillos*

En el diseño de los ladrillos se realizaron dos experimentos. El primero consistió en adicionar a cada muestra representativa humedades del 21 y 26,4% siendo esta ultima la humedad optima determinada en la relación humedad – densidad sin la adición de cemento (ver Gráfico N°1). Este análisis se realizó con el fin de identificar como influye la humedad óptima y el tiempo de disposición final del ripio de perforación en la resistencia a la compresión inconfiada.

El segundo experimento consistió en homogeneizar las cinco muestras representativas con la humedad óptima del 26,4% determinada experimentalmente y con la adición de agregados, los cuales fueron arena y tierra negra al 5, 10 y 15% individualmente, este análisis se realizó con el fin de comprobar si la presencia de agregados influye en la resistencia a la compresión inconfiada.

La elaboración de los ladrillos, se realizó homogenizando mecánicamente cada uno de los constituyentes y la mezcla fue colocada en moldes cúbicos de

(5x5x5)cm hasta llenar su capacidad, luego se ejerció una fuerza manual de compactación con un pistón y posteriormente fueron desmoldados y secados al ambiente por un mes, para su cocción a 800°C en un horno de alta temperatura. Los diseños experimentales se describen en la Tabla 4.

*b) Resistencia a la Compresión*

La resistencia a la compresión se realizó siguiendo el método de ensayo NTE INEN 294 [28], el cual de determina mediante la aplicación de una carga progresiva de compresión.

*c) Ensayo de lixiviación TCLP y Determinación de TPH*

El análisis de lixiviación TCLP y determinación de TPH, se realizó con los criterios descritos en la Alternativa N°1, Ítem 2.3.1.3. Literal b).

**2. Resultados y Discusión**

**2.1 Caracterización de los Ripios de Perforación en Base Agua**

**Propiedades Físicas y Químicas**

Las propiedades químicas y físicas determinadas en laboratorio, se describen en la Tabla 5.

Los resultados de las muestras representativas en comparación con los límites permisibles de la legislación ambiental analizada, indican que los ripios de perforación en base agua son de carácter básico, que reaccionan de forma no violenta con ácidos y bases

**Tabla 4. Diseño Ladrillos Experimentales**

Nº Experimento	Muestra Representativa	Humedad (%)	Masa Ripio (gr)	Masa Agregado (gr)	Masa Total (gr)	Tipo de Agregado
1er. Experimento	2009	21.0%	700	0,00	700,00	No Aplica
	2010		700	0,00	700,00	No Aplica
	2011		700	0,00	700,00	No Aplica
	2012		700	0,00	700,00	No Aplica
	Nuevos 2012		700	0,00	700,00	No Aplica
	2009	26.4%	700	0,00	700,00	No Aplica
	2010		700	0,00	700,00	No Aplica
	2011		700	0,00	700,00	No Aplica
	2012		700	0,00	700,00	No Aplica
	Nuevos 2012		700	0,00	700,00	No Aplica
2do. Experimento	Compuesta	26.4%	700	0,00	700,00	No Aplica
			665,00	35,00	700,00	Tierra
			630,00	70,00	700,00	Tierra
			595,00	105,00	700,00	Tierra
			665,00	35,00	700,00	Arena
			630,00	70,00	700,00	Arena
595,00	105,00	700,00	Arena			

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

Tabla 5. Propiedades Físicas y Químicas de los Rípios de Perforación Base Agua

NORMA	Parámetros	RESULTADOS DE ANÁLISIS					Límites Permisibles		
		2009	2010	2011	2012	NUEVOS 2012			
NOM-052-SEMARNAT-1993	C <sup>(1)</sup>	pH	7,8	8,5	8,4	8,5	8,1	2 - 12,5	
	REACTIVIDAD	Polimerización Violenta	No polimeriza	No polimeriza	No polimeriza	No polimeriza	No polimeriza	No polimeriza	
		Reacción con agua	No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción visible	
			No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción visible	
			No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción visible	
		Reacción con ácido	Desprende burbujas	Desprende burbujas	Desprende burbujas	Desprende burbujas	Desprende burbujas	No hay reacción visible	
			Desprende burbujas	Desprende burbujas y gas. Fuerte olor a gas sulfhídrico	Desprende burbujas	Desprende burbujas	Desprende burbujas	No hay reacción visible	
			Desprende burbujas	Desprende burbujas y gas. Fuerte olor a gas sulfhídrico	Desprende burbujas y gas. Fuerte olor a gas sulfhídrico	Desprende burbujas y gas. Fuerte olor a gas sulfhídrico	Desprende burbujas y gas. Fuerte olor a gas sulfhídrico	No hay reacción visible	
		Reacción con álcali	No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción visible	
			No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción visible	
			Desprende leve burbujas	Desprende leve burbujas	Desprende leve burbujas	No hay reacción	No hay reacción	No hay reacción visible	
		(Generación HCN) Cianuro reactivo mg/kg	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	250 mg de HCN/kg	
		(Generación H <sub>2</sub> S) Sulfuro reactivo mg/kg	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	500 mg de H <sub>2</sub> S/kg	
		TOXICIDAD	Arsénico 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 <sup>6+</sup> 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	
	Níquel 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			
I <sup>(2)</sup>	Capaz de provocar fuego si no es líquido	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	No es capaz		
RAHOE 1215.	Conductividad eléctrica (µs/cm)	596	722	1025	738	900	4000 <sup>(3)</sup>	8000	
	Cromo Total (mg/L)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<1,0 <sup>(3)</sup>	<10,0	
	Vanadio (mg/L)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02 <sup>(3)</sup>	<2,0	
	TPH (mg/L)	<0,5	<0,5	<0,5	1,5	1,1	<1,0 <sup>(3)</sup>	<50	
	HAPS (mg/L)	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,003 <sup>(3)</sup>	<0,005	
Contenido de Cloruros (mg/kg)		23	64	64	53	73	-----		
		94	55	328	98	87	-----		

<sup>(1)</sup> Corrosividad; <sup>(2)</sup> Inflamabilidad; <sup>(3)</sup> Límites Permisibles Tabla 7a. Anexo 2. RAHOE 1215

Fuente: Resultados de Laboratorio Gruntec Cía Ltda.

fuertes como el ácido clorhídrico e hidróxido de sodio respectivamente, sin presentar características de toxicidad e inflamabilidad.

Se presenta una composición típica de los lodos a base de agua (WBMS), la cual incluye el 57.6% barita, 4.1% bentonita, 1.2% sosa cáustica, 1.2% celulosa polianiónica, 33% sales, 1.0% carbonato de sodio, 1.2% almidón, 0.5% xantana y 0.2% de otros compuestos, adicional indica que las sales utilizadas con más frecuencia en este lodo son KCl, NaCl y para los fluidos de terminación el NaCl, CaCl<sub>2</sub>, ZnCl<sub>2</sub>, CaBr<sub>2</sub> y ZnBr<sub>2</sub> y añade que algunos aditivos pueden contener compuestos tóxicos, por ejemplo, ciertos metales pesados que pueden ser un riesgo ambiental si están en concentraciones elevadas [29].

Algunos metales pesados pueden estar presente en los lodos de perforación; estos incluyen bario, cromo, plomo y zinc, donde la mayor parte del cromo está asociado con lignosulfonatos de ferrocromo, utilizados en el pasado como un defloculante de arcilla en WBMS y los otros metales están asociados con cortes dispersos y aditivos sólidos (barita y arcillas) y añade que los permisos de descarga actuales en el Golfo de México limitan el cadmio y el mercurio disponible en la barita usada en los lodos base agua y sintéticos [30].

Adicionalmente expresan que *“Los materiales a estabilizar in situ con cal o con cemento no deben contener materia orgánica, sulfatos, sulfuros, fosfatos, nitratos, cloruros u otros compuestos químicos en cantidades perjudiciales. En caso de que se uti-*

*lice cemento, no deben afectar al fraguado de éste, ni presentar reactividad potencial con los álcalis del cemento”* [31].

En Ecuador las operadoras que generan este tipo de desecho deben cumplir con los parámetros y límites permisibles establecidos en el RAOHE 1215 [32] para su disposición final.

### Propiedades Mecánicas

Las propiedades mecánicas analizadas en el laboratorio, se describen en la Tabla 6.

Los resultados obtenidos permitieron definir a los ripios de perforación como limos inorgánicos de baja y alta plasticidad, con una mezcla variable de arcillas y sólidos muy finos con partículas menores a los 0.002 mm (2µm).

El Instituto Americano del Petróleo (2001), describe que las partículas sólidas del fluido de perforación se clasifican de acuerdo a su tamaño, pero no toman en cuenta la composición física del material que se está midiendo, aunque se usen los términos limo y arena. Las partículas del tamaño de limo pueden incluir lutita, arena fina, carbonatos finos y barita; las partículas del tamaño de arena pueden incluir 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 [33]. 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”* [34].

Tabla 6. Propiedades Físicas y Mecánicas en los Ripios de Perforación Base Agua

Propiedades		Resultados de Análisis				
		2009	2010	2011	2012	NUEVOS 2012
<b>% Humedad Natural</b>		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
<b>Clasificación de suelos (SUCS)</b>		MH (Limo inorgánico de alta plasticidad)	MH (Limo inorgánico de alta plasticidad)	ML (Limo inorgánico)	ML (Limo inorgánico)	ML (Limo inorgánico)

Fuente: Resultados de Laboratorio de Materiales Pontificia Universidad Católica del Ecuador



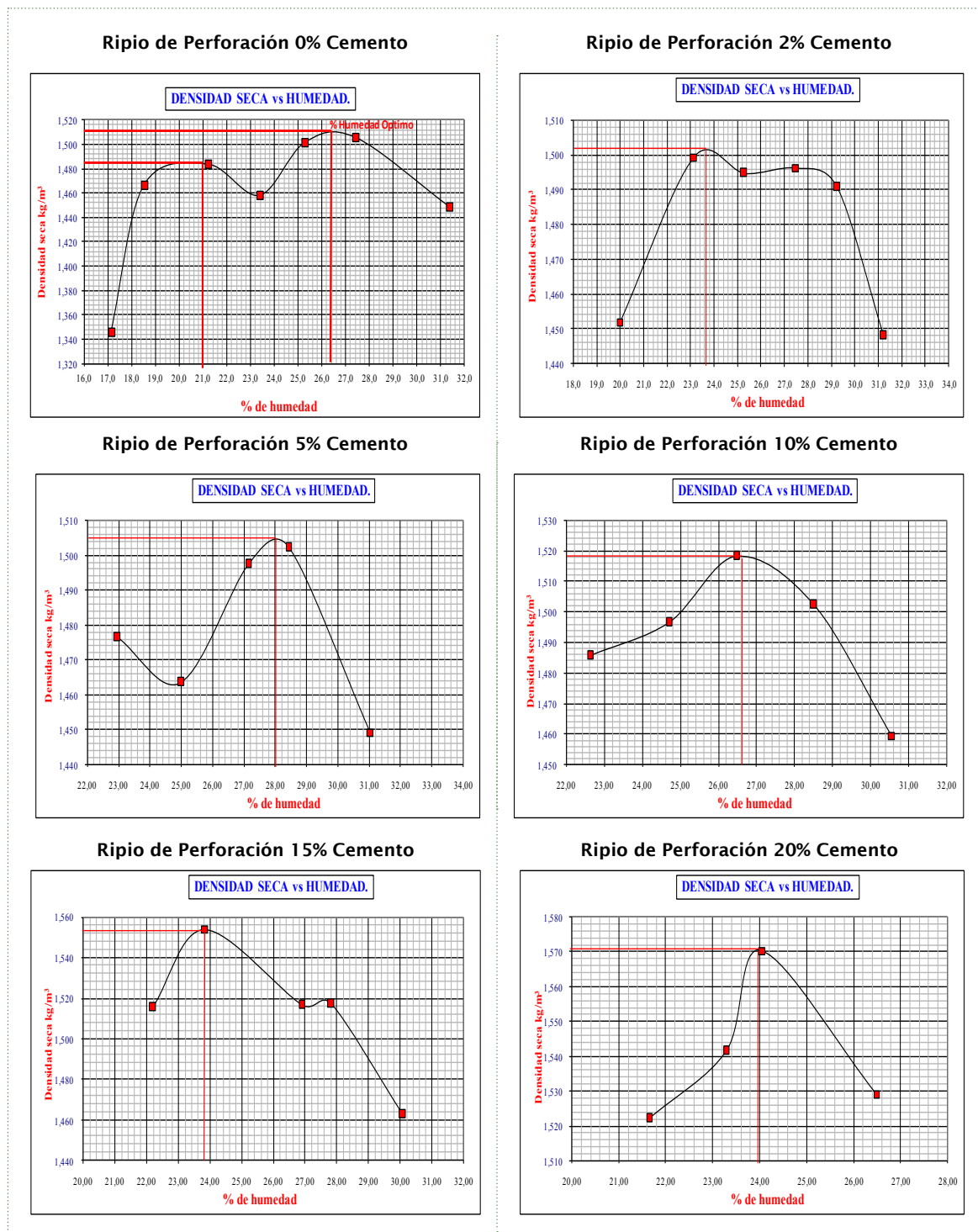
**2.2 Relación Humedad Densidad**

La relación humedad-densidad, se determinó con el ensayo ASTM D 558 [35] y los resultados obtenidos se presentan en la Figura 2.

Los gráficos reflejan que el ripio de perforación sin cemento presentan una curva de doble pico, típica de suelos con materiales arcillosos, la misma que al ir adicionando

cemento va tomando el comportamiento de un suelo granular, es decir una curva de un solo pico. En la Tabla 7 se describen los resultados obtenidos de la relación Humedad –Densidad.

En las Figuras 3 y 4, se observa que el ripio de perforación con diferentes porcentajes de cemento, presenta una relación directamente proporcional con la densidad



**Figura 2. Gráficos Ripio de perforación (0-50)% Cemento**

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

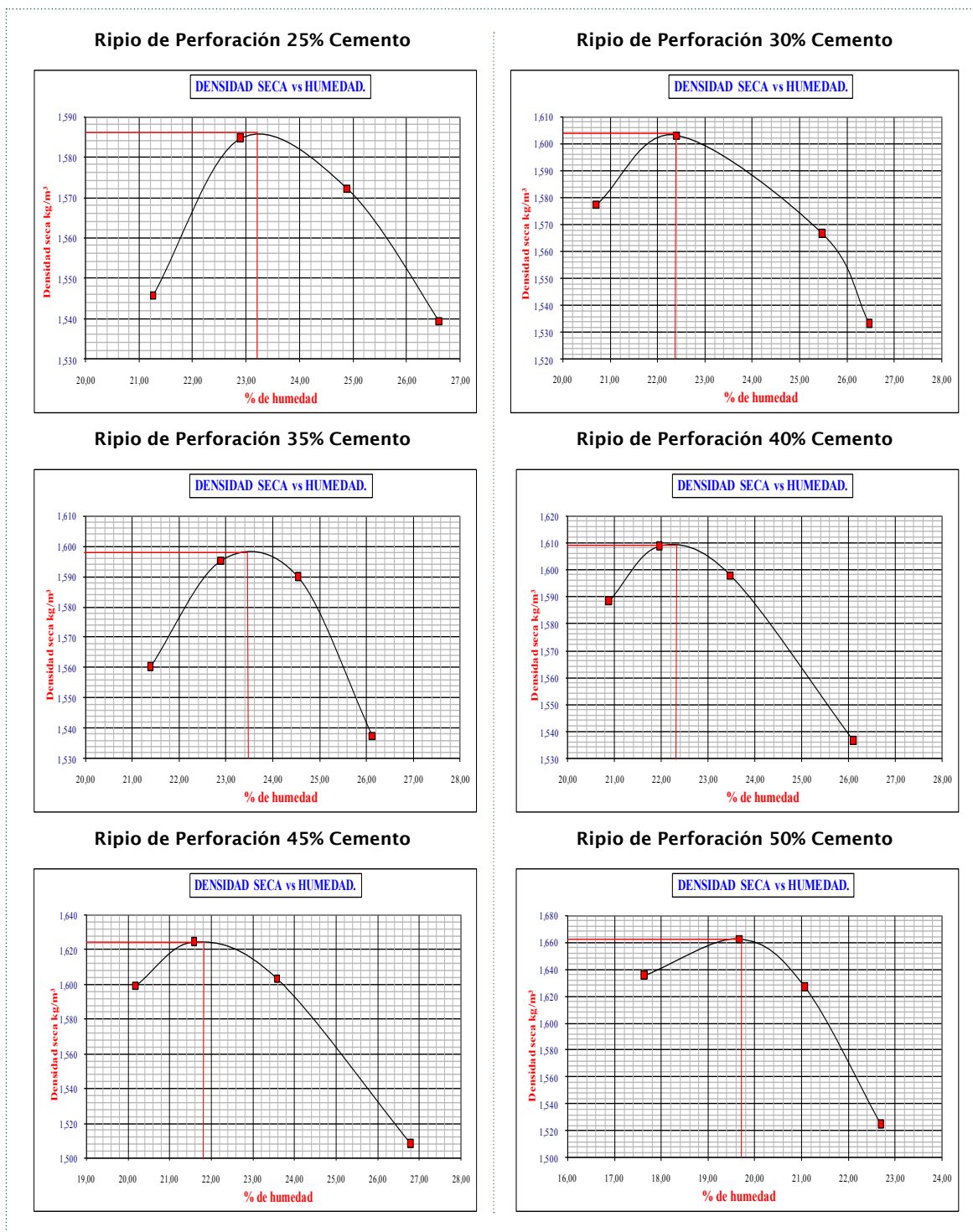


Figura 2. Gráficos Ripio de perforación (0-50)% Cemento. Continuación.

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

máxima e inversamente proporcional con la humedad óptima, es decir, a mayor cantidad de cemento mayor va a ser la resistencia a la compresión y menor el requerimiento de humedad.

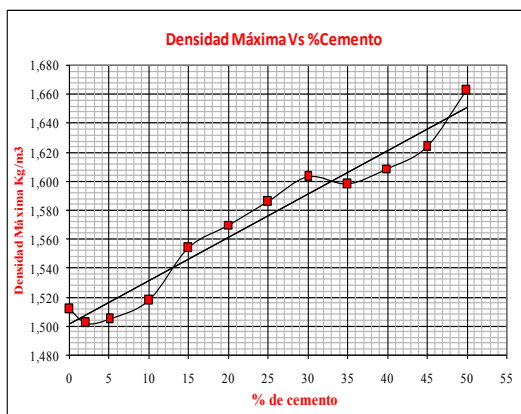
En este sentido el Centro Técnico del Hormigón de HOLLIM ECUADOR (2007) expresa que “se ha demostrado que, en general, para un determinado

contenido de cemento, a mayor densidad corresponde una mayor resistencia a la compresión de las mezclas suelo cemento no cohesivo” [36]. Adicional el American Concret Institute (2009) indica que la estabilización suelo cemento es “una mezcla densamente compactada de cemento portland, suelo/agregado, otros materiales cementantes (posiblemente),

**Tabla 7. Resultados Relación Humedad - Densidad**

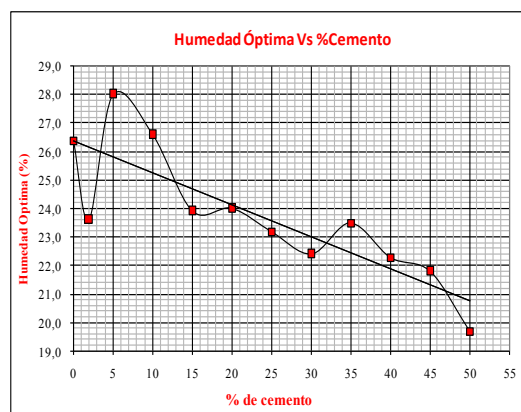
Masa (Suelo-Cemento) (gr)	%Cemento	Humedad óptima (%)	Densidad máxima (kg/m <sup>3</sup> )
2000	0%	26,4	1,512
2000	2%	23,6	1,502
2000	5%	28,0	1,505
2000	10%	26,6	1,518
2000	15%	23,9	1,554
2000	20%	24,0	1,570
2000	25%	23,2	1,586
2000	30%	22,4	1,603
2000	35%	23,5	1,598
2000	40%	22,3	1,609
2000	45%	21,8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

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE



**Figura 3. Humedad óptima vs. %cemento**

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE



**Figura 4. Densidad máxima vs. % Cemento.**

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

y agua. Se utiliza principalmente como material de bases para pavimentos, suelo cemento también se ha utilizado para la protección de taludes, revestimientos de baja permeabilidad, estabilización de cimientos y otras aplicaciones” [37]

**2.3 Métodos de Ensayo en Diseños Experimentales**

**Alternativa N°1. Resistencia a la Compresión Inconfinada en Cilindros**

Las muestras cilíndricas fraguadas fueron sometidas al ensayo de resistencia a la compresión inconfinada a los 7, 14 y 28 días de edad. Los resultados obtenidos se compararon con los rangos establecidos por el Centro Técnico del Hormigón de HOLCIM Ecuador (2007) para los 7 y 28 días en suelos MH [38], como se muestra en la Tabla 8.

Los datos muestran una relación directamente proporcional, entre la cantidad de cemento y la resistencia a la compresión inconfinada los 7, 14 y 28 días, cabe mencionar que los especímenes sin cemento no fueron fraguados, ya que al entrar en contacto con humedad estos se disgregaban. En la Figura 5 se observa la resistencia a la compresión inconfinada a los 28 días, edad en la que el cemento alcanza teóricamente su máxima resistencia.

No obstante al comparar los resultados obtenidos con los rangos establecidos por HOLCIM Ecuador, se determina que los rípios de perforación en base agua pueden ser estabilizados con el 10% de cemento para su utilización como base en vías, sin embargo esto pone una barrera económica en la aplicación práctica.

**Alternativa N°1. Prueba de Lixiviación y Determinación de TPH en Cilindros**

Los resultados de la prueba de lixiviación y determinación del TPH en los cilindros, se describen en la Tabla 9.

Los resultados máximos y mínimos de las muestras analizadas y de los datos históricos de monitoreo de rípios de perforación de EP PETROECUADOR, permitieron identificar que el bario presenta mayor concentración, sin embargo al estabilizarlo con cemento tiene una notable reducción, como se muestra en la Tabla 10.

**Alternativa N°2. Resistencia a la Compresión en Ladrillos**

Los resultados del ensayo resistencia a la compresión, se describen en la Tabla 11.

Observando los resultados del primer experimento, se tiene que los ladrillos diseñados con la humedad óptima (26,4%) presentan mayor resistencia y que al

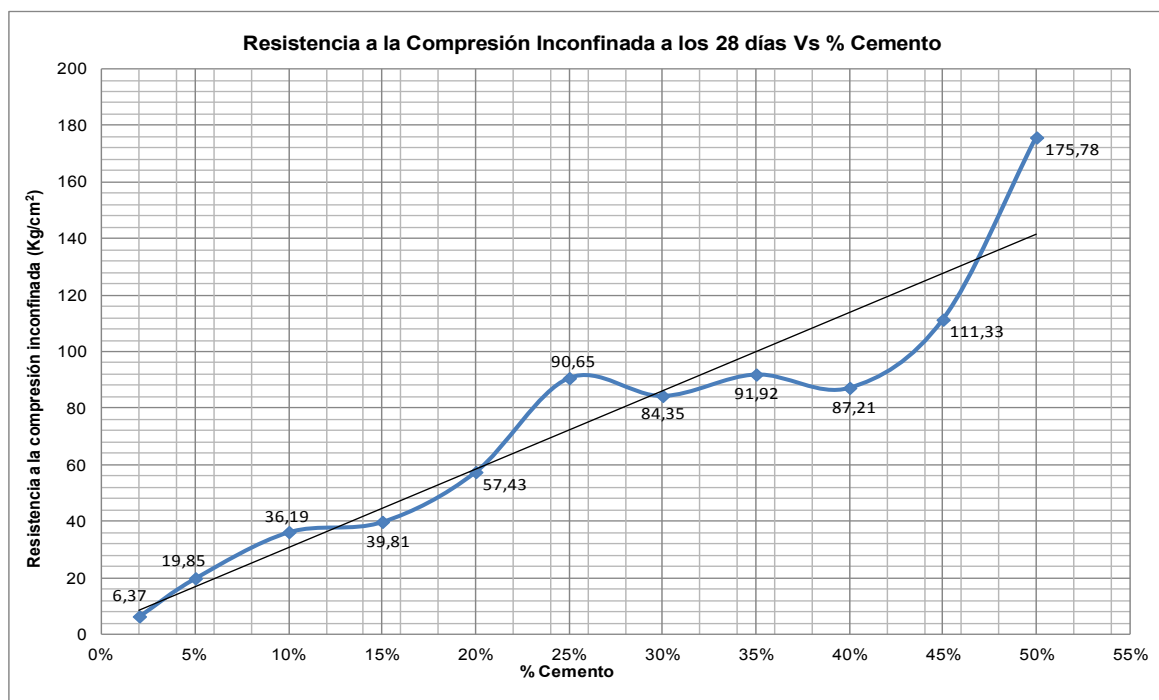


Figura 5. Resistencia a la Compresión Inconfinada a los 28 días Vs %Cemento

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

Tabla 8. Resistencia a la Compresión Inconfinada Cilindros

% Cemento	Resistencia a la Compresión Inconfinada (kg/cm²)			
	7 Días	14 Días	28 Días	
<b>Rangos Centro Técnico del Hormigón de HОLCIM</b>	<b>14 - 28</b>		<b>18 - 42</b>	
Resultados experimentales	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
	50%	96,41	149,97	175,78

Fuente: Centro Técnico del Hormigón de HОLCIM Ecuador / Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

Tabla 9. 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

Fuente: Resultados de Laboratorio Gruntec Cía Ltda.

tener un menor tiempo de disposición final menor va a ser su resistencia, como se ilustra en la Figura 6.

**Tabla 10. Comparación Antes y Después de la Estabilización/Cemento**

Parámetros	Datos Históricos		Muestras Representativas		Especímenes Estabilizado con Cemento	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Bario mg/L	0,06	13,0	1,8	2,8	0,38	0,67
Cromo mg/L	<0,02	0,33	<0,02	<0,02	0,0012	0,073
Cadmio mg/L	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,0005	0,0009
Níquel mg/L	-----	-----	0,006	0,024	<0,0005	0,029

Fuente: Resultados de Laboratorio Gruntec Cía Ltda.

En el segundo experimento, se observó que al aumentar el porcentaje de tierra negra y arena, los ladrillos pierden resistencia, sin embargo con el 5% de arena existe un leve incremento, el cual decreció al aumentar el porcentaje de arena como se ilustra en la Figura 7.

Este análisis permitió establecer que los ladrillos fabricados únicamente con ripios de perforación y una humedad óptima del 26.4%, es el diseño más viable ya que no requieren materias primas adicionales.

Al comparar los resultados obtenidos con los criterios de las normas NTE INEN 297 [39] y CPE INEN 5 [40], se determinó que pueden utilizarse en la construcción de muros interiores y exteriores que no estén sometidos a humedades extremas.

La estabilización/solidificación con cemento portland o mezclado con escoria de alto horno, cemento de óxido de magnesio, ceniza de combustible pulverizada, microsilice y cal hidratada podrían ser empleados para mejora de terrenos y en cuanto a la fabricación de bloques y ladrillos estos requerirían valores de resistencia de 580kPa, 2,8 y 7 MPa [41]. Asimismo, Cuando trataron los cortes de perforación con cemento Portland y cenizas volantes, indicaron que podrían tener aplicación en rellenos, rellenos estructurales, cama de pavimento (bases, sub-bases y sub-gradados) y en control de la erosión [42].

Estudiaron la estabilización/solidificación en el tratamiento de cortes de perforación en base aceite y utilizaron el 85- 95% en peso de aglomerantes para convertir los cortes de perforación como sub-base en la construcción de carreteras, sin embargo tales cantidades colocan una barrera económica para la aplicación práctica [43]. Señalaron que la utilización del 35% de aglomerantes convencionales, como cemento portland, ceniza de combustible pulverizado y cal, resultó en el éxito para la reutilización de cortes de

**Tabla 11. Resistencia a la Compresión Inconfinada Ladrillos**

Nº Experimento	Diseño de Mezcla				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

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / NTE INEN 294

perforación en base aceite como material de sub-base en la construcción de carreteras [44] y por ultimo, indican 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 [45].

Todos estos estudios evidencian que el tratamiento de estabilización/solidificación ha sido aplicado como una solución para la disposición final de los ripios de perforación, encontrando un valor agregado en el campo de la construcción.

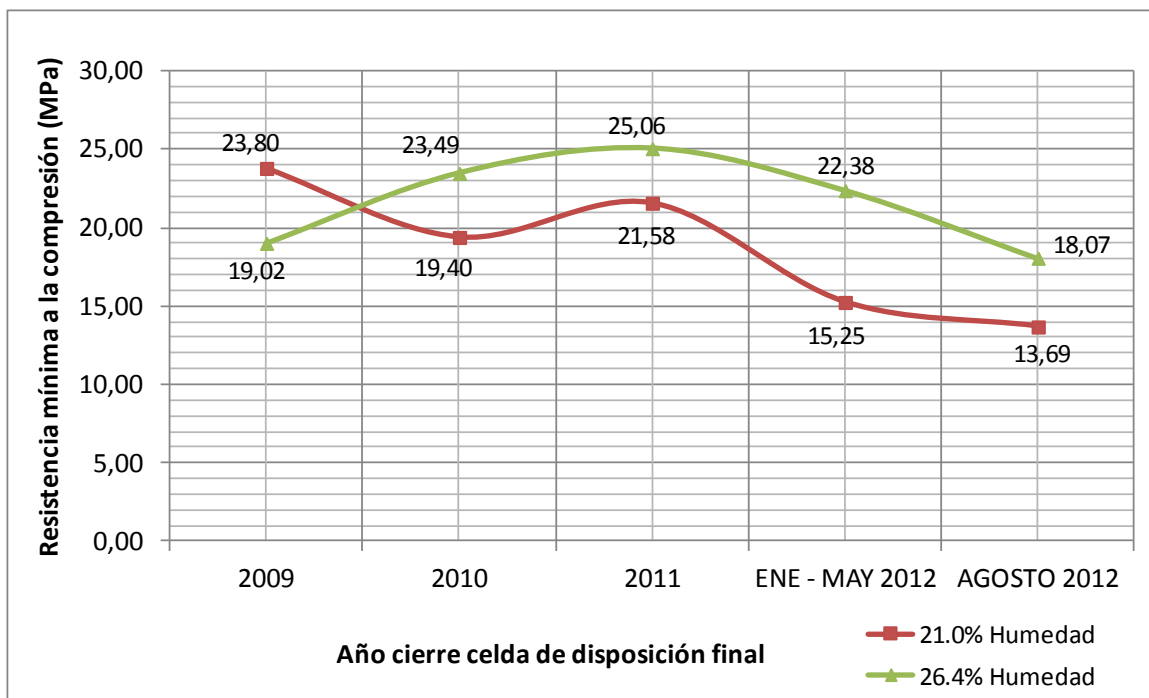


Figura 6. Resistencia Compresión Inconfinada Vs Año de Disposición Final

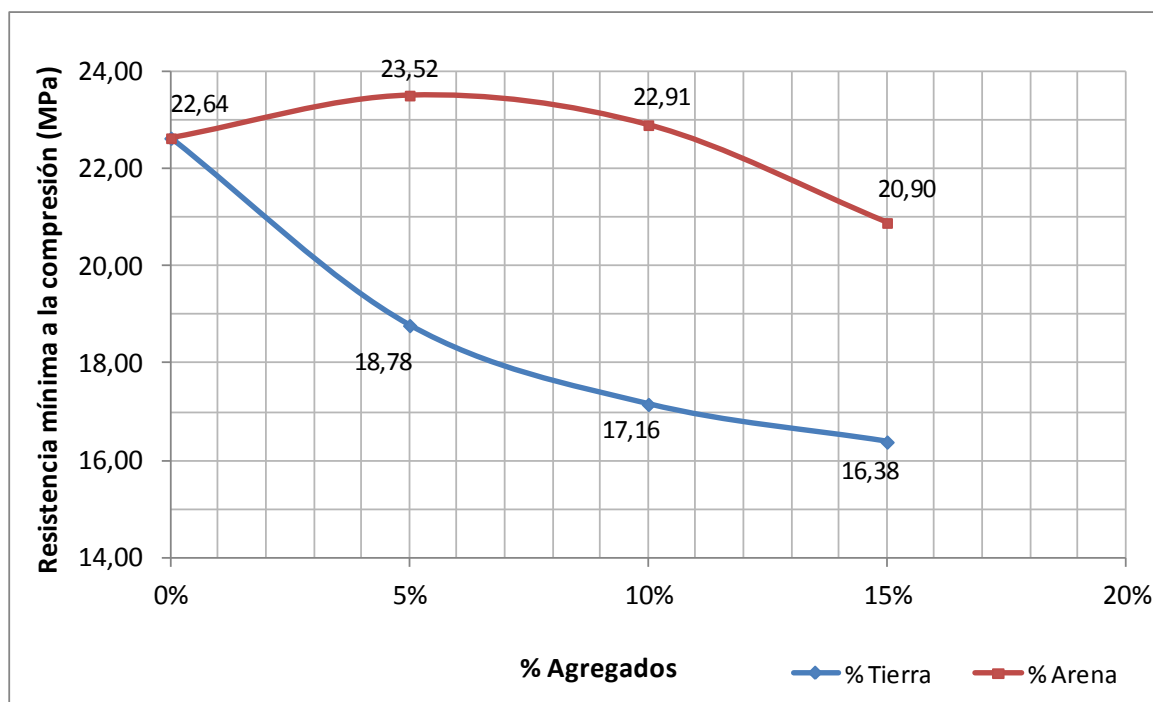


Figura 7. Resistencia a la Compresión Inconfinada Vs %Agregados

**Prueba de Lixiviación y Determinación de TPH en Ladrillos**

Los resultados de la prueba de lixiviación y TPH, se describen en la Tabla 12.

Los resultados de Tabla 12, reflejan el cumplimiento de la legislación analizada, los cuales fueron comparados con los resultados máximos y mínimos del monitoreo histórico y de la caracterización físico-química de las muestras representativas analizadas (Tabla 13).

La comparación descrita en la Tabla 13 muestra que el bario presenta mayor concentración tanto en los datos históricos como en las muestras representativas, pero al estabilizarlos en ladrillos se tiene una notable reducción. Por otro lado al comparar la Alternativa N°1 con la N°2, se concluye que los ladrillos presentan mayor reducción en la concentración de metales pesados, que los especímenes estabilizados con cemento. En este sentido autores indican que

utilizaron cemento Portland como aglomerante convencional, para la estabilización y solidificación de cortes de perforación sintéticos en forma de bloques de construcción, identificando que las concentraciones de lixiviación de contaminantes (arsénico, bario, cadmio, cromo y plomo) disminuyeron a medida que el contenido de aglomerante seco aumentaba, permitiendo así clasificar a los cortes de perforación como residuos no reactivos y no peligrosos [46].

**Aplicación Práctica de Ripios de Perforación en Base Agua en la Fabricación de Ladrillos Artesanales**

El análisis experimental, permitió llevar a la práctica la elaboración de ladrillos artesanales, donde las cinco muestras representativas, fueron mezcladas manualmente con una pala y una humedad promedio del 37%. Los ladrillos se fabricaron con una prensa mecánica y se secaron al ambiente por 15 días, para su posterior cocción en un horno de leña durante 12

**Tabla 12. Toxicidad Ladrillos Diseñados 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

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / NTE INEN 294

**Tabla 13. 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		NOM 052 (*)	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
Níquel	-----	-----	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

(\*) NOM-052-SEMARNAT-1993

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / NTE INEN 294

días. Los ensayos en el ladrillo terminado dieron una resistencia promedio a la compresión de 19.5MPa y una absorción de humedad del 22%, aplicando las normas NTE INEN 294 [47] y NTE INEN 296 [48] respectivamente. En las Tablas 14, 15 y 16 se describen los resultados obtenidos.

Según las normas NTE INEN 297 y el CPE INEN 5, los ladrillos obtenidos se clasifican como tipo B en resistencia y C en absorción de humedad, los cuales pueden ser utilizados en muros interiores y exteriores, con enlucido, y que no estén expuestos a humedad extrema.

### III. CONCLUSIONES

- La presente investigación, permitió concluir que el ripio de perforación en base agua puede ser reutilizado estabilizándolo con el 10% de cemento para base en vías, obteniendo resisten-

cias a la compresión inconfina de 20,27kg/cm<sup>2</sup> y 36,19kg/cm<sup>2</sup> a los 7 y 28 días respectivamente, cumpliendo con los rangos establecidos por el Centro Técnico de Hormigón HOLCIM ECUADOR, sin embargo la cantidad de cemento en mención pone una barrera económica para la puesta en práctica.

Experimentalmente los ladrillos fabricados con la mezcla de las muestras representativas, con una humedad óptima del 26.4% y sin la adición de agregados, resulta la opción más viable, obteniendo una resistencia promedio de 22.6MPa que al ser comparado con la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 297 y el Código de Practica Ecuatoriano del INEN, se determina que tienen aplicación en la construcción de muros exteriores e interiores.

Tabla 14. 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%
<b>Promedio %Contenido de Humedad</b>				<b>37%</b>

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

Tabla 15. 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
<b>Promedio resistencia (MPa)</b>				<b>19,5</b>

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

Tabla 16. 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%
<b>Promedio % Absorción</b>			<b>22,00%</b>

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el laboratorio de materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE



- En la práctica la fabricación de ladrillos artesanales, con un contenido de humedad del 37%, dio como resultado una resistencia promedio a la compresión de 19Mpa y una absorción de humedad del 22%, estos valores comparados con la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 297 y el Código de Practica Ecuatoriano del INEN, indican que se obtienen ladrillos tipo C, útiles en muros interiores excepto para áreas húmedas como baños y en muros exteriores con enlucido que no estén expuestos a humedad extrema.
- Las pruebas de lixiviación permitieron evidenciar que se obtiene mayor reducción en la concentración de los parámetros de análisis con la fabricación de ladrillos que con la estabilización ripio cemento para base en vías.
- La adición de agregados en los ladrillos aumenta los poros de la estructura interna del espécimen, lo que hace que el ladrillo pierda resistencia, por otro lado trabajar con la humedad óptima permite obtener una mejor resistencia a la compresión.
- Finalmente en términos constructivos no se debe emplear el término ripio ya que este corresponde a un agregado grueso y en la realidad el ripio de perforación está conformado por partículas de tamaños muy finos.

#### IV. RECOMENDACIONES

- Se debería realizar un seguimiento ambiental mediante pruebas de lixiviación, a fin de establecer si existe biodisponibilidad de metales pesados al ambiente por desgaste del elemento constructivo ya sea por exposición a las condiciones atmosféricas ó 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.
- En el caso de optar por la fabricación de los ladrillos, se recomienda utilizar un horno que permita regular las condiciones de temperatura a fin de controlar las emisiones atmosféricas, el mismo que deberá contar con un sistema para el lavado de gases.
- Para la aplicación de los ladrillos, se recomienda que estos sean utilizados en la industria hidrocarbúrfica, preferiblemente en la construcción de bodegas de almacenamiento de productos químicos, cerramientos, bordillos y aceras peatonales, entre otras aplicaciones.

#### V. REFERENCIAS

- [1] Reglamento Sustituto al Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarbúrficas en el Ecuador. Decreto ejecutivo N°1215 del 13 de febrero del 2001.
- [2] Reglamento Sustituto al Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarbúrficas en el Ecuador: *Ibíd.*
- [3] Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMAR-NAT-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.
- [4] Reglamento Sustituto al Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarbúrficas en el Ecuador: *Op. cit.*
- [5] Atienza, M., Díaz, J., Fernández, J.A., Garrido, L., Jofré, C., Kraemer, C., López, M., Navarro, J.M., Salas, M., Sampedro, A., Segura, P., Sierra, M.J., & Vera, M. (2008). Manual de estabilización de suelos con cemento o cal. Madrid: Vaquero Servicios de Publicaciones, pp. 15-16.
- [6] US Environmental Protection Agency (USEPA) (2004). Method 9045D Soil and waste pH. Washington, D.C.
- [7] Reglamento Sustituto al Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarbúrficas en el Ecuador: *Op. cit.*
- [8] Reglamento Sustituto al Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarbúrficas en el Ecuador: *Ibíd.*
- [9] Reglamento Sustituto al Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarbúrficas en el Ecuador: *Ibíd.*
- [10] Reglamento Sustituto al Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarbúrficas en el Ecuador: *Ibíd.*
- [11] US Environmental Protection Agency (USEPA) (1996). Method 9010B Total and amenable cyanide: distillation. Washington, D.C.
- [12] US Environmental Protection Agency (USEPA) (1996) SW-846, Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical. Washington, D.C.
- [13] Reglamento Sustituto al Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarbúrficas en el Ecuador: *Op. cit.*
- [14] US Environmental Protection Agency (USEPA) (1996). Method 6020A Inductively coupled plasma-mass spectrometry. Washington, D.C.

- [15] US Environmental Protection Agency (USEPA) (1996). Method 9050A Specific conductance. Washington, D.C.
- [16] US Environmental Protection Agency (USEPA) (2003). Method 8015D Nonhalogenated organics using. Washington, D.C.
- [17] US Environmental Protection Agency (USEPA) (2007). Method 8270D Semivolatile organic compounds by gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS). Washington, D.C.
- [18] US Environmental Protection Agency (USEPA) (1996). Method 6020A Inductively coupled plasma-mass spectrometry. Washington, D.C.
- [19] US Environmental Protection Agency (USEPA) (2007). Method 300.1 Determination of inorganic anions in drinking water by ion Chromatography. Washington, D.C.
- [20] ASTM D 2487 (2006). Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). United States.
- [21] ASTM D 422 (1998). Standard test method for particle-size analysis of soils. United States.
- [22] ASTM D 558 (1996). Standard test methods for moisture-density relations of soil-cement mixtures. Method A. United States.
- [23] Centro Técnico del Hormigón HOLCIM Ecuador (2007). Bases de suelo cemento. Quito: Instituto Ecuatoriano del Cemento y Concreto, p. 6.
- [24] ASTM D 558 (1996). Standard test methods for moisture-density relations of soil-cement mixtures. Method A. United States.
- [25] ASTM D 1633 (2000). Standard test methods for compressive strength of molded soil-cement cylinders. United States.
- [26] US Environmental Protection Agency (USEPA) (1996). Method 6020A Inductively coupled plasma-mass spectrometry. Washington, D.C.
- [27] US Environmental Protection Agency (USEPA) (2003). Method 8015D Nonhalogenated organics using. Washington, D.C.
- [28] NTE INEN 294 (1977). Ladrillos cerámicos, determinación a la resistencia a la compresión. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Ecuador.
- [29] Roddie, B., Skadsheim, A., Runciman, D., & Kjeilen, G. (1999). UKOOA Drill cuttings initiative research and development programme, project 1.2: cuttings pile toxicity, RF-Rogaland Research, United Kingdom, pp.7-9.
- [30] Stantec, J. W. (2009). Cuttings Treatment Technology Evaluation. Environmental Studies Research Funds Report No. 166, Dartmouth, Canadá, p. 14.
- [31] Atienza, M: op. Cit., p.15.
- [32] Reglamento Sustituto al Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador: Op.cit.
- [33] Instituto Americano del Petróleo. (2001). Manual de fluidos de perforación procedimiento estándar para las pruebas de fluidos de perforación. Dallas, United States, capítulo 8, pp. 3-4.
- [34] Bañón, L., & Beviá, J. F. (2000). Manual de carreteras. Alicante: Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A., vol. 2, capítulo 15, p. 5.
- [35] ASTM D 558 (1996). Standard test methods for moisture-density relations of soil-cement mixtures. Method A. United States.
- [36] Centro Técnico de Hormigón HOLCIM ECUADOR: op. Cit., pp. 7,9.
- [37] American Concrete Institute. (2009). Report on soil cement 230.1R., USA, p. 1.
- [38] Centro Técnico de Hormigón HOLCIM ECUADOR: op. Cit., p.8.
- [39] NTE INEN 297. (1977). Ladrillos cerámicos requisitos. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Ecuador.
- [40] CPE INEN 5. (1984). Código ecuatoriano de la construcción mampostería de ladrillo. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Ecuador.
- [41] Al-Ansary, M., & Al-Tabbaa, A. (2007). Stabilization/solidification of synthetic petroleum drill cuttings. *Journal of Hazardous Materials*, pp. 410-420.
- [42] Leonard, S. A., & Stegemann, J. A. (2010). Stabilization/solidification of petroleum drill cuttings. *Journal of Hazardous Materials*, pp. 463-471.
- [43] Tucan, A., Tucan, M., & Koyuncu, H. (2000). Use of petroleum – contaminated drilling wastes as sub-base material for road construction, *Waste Management and Research*, vol 18, pp. 489-505.
- [44] Boutemour, R., Haddi, A., Bali, A., Boutemour, 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*, Dundee.

- [45] Liendo, F. (2010). Reuso de ripios encapsulados en obras civiles asociadas con perforación. Venezuela: PDVSA.
- [46] Ogechi Opete, S. E., Mangibo, I. A., & Iyagba, E. T. (2010). Stabilization/solidification of synthetic Nigerian drill cuttings. *African Journal of Environmental Science and Technology*, vol 4, 149-153.
- [47] NTE INEN 294 (1977). Ladrillos cerámicos, determinación a la resistencia a la compresión. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Ecuador.
- [48] NTE INEN 296. 1977. Ladrillos cerámicos, determinación de absorción de humedad. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Ecuador.