

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL

**“REUTILIZACIÓN DE LODOS Y RIPIOS DE PERFORACIÓN DE LA
ACTIVIDAD PETROLERA, EN LA ELABORACIÓN DE BLOQUES
PARA EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE
MÁSTER EN AMBIENTAL**

MILTON GONZALO POZO INACALLA

JUAN FRANCISCO CASAMEN QUISHPE

DIRECTOR: PhD. MSc. Ing. ANA BALAREZO

Quito, octubre de 2017

DECLARACIÓN

Nosotros, Milton Gonzalo Pozo Inacalla y Juan Francisco Casamen Quishpe declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

.....
Milton Gonzalo Pozo Inacalla

.....
Juan Francisco Casamen Quishpe

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Milton Gonzalo Pozo Inacalla y Juan Francisco Casamen Quishpe bajo la supervisión.

.....
Ing. Ana Balarezo
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por llevarnos por el camino del bien y emprender siempre retos diferentes y difíciles, y con su ayuda y protección siempre salir airosos en todos nuestros proyectos de vida.

A nuestros padres, por su ejemplo, su apoyo, su ayuda y su amor incondicional, y que para nosotros serán el principal motivo de nuestra lucha constante por salir adelante.

A nuestros hermanos/nas, cómplices de todas nuestras locuras y tristezas, fieles testigos del trabajo diario, el esfuerzo realizado durante nuestra vida y el tiempo ejecutado en este trabajo.

A la Escuela Politécnica Nacional, por habernos acogido y dado la oportunidad de escalar un nivel más en nuestras carreras, así mismo a los profesores que con su conocimiento y su don de enseñar nos prepararon para enfrentar cualquier reto.

A nuestra Directora del Proyecto la Ing. Phd, Ana Balarezo, quien ha sido nuestra maestra, guía en este difícil caminar, su empeño y dedicación para con nosotros, solo se le puede agradecer con la obtención del título.

A la Ing. Mercedes Villacís Jefa del Laboratorio e Ing(as). Gisela Carrera y Julia Pilatasig y a todo el equipo humano del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales, por la apertura, compromiso y ayuda en el desarrollo experimental del proyecto.

Por último, agradecer a todas las empresas y personas que aportaron para la culminación exitosa de este proyecto, que sepan que sin su intervención no sería posible la realización del mismo.

DEDICATORIA

A Dios, motor y fuerza inexplicable que nunca nos abandona y siempre nos ha levantado cuando hemos caído; a nuestros padres seres sacrificados e invaluableles que día a día nos han dado lo mejor de ellos y nos han demostrado que aun en las peores adversidades se puede ser feliz y salir adelante.

A nuestros hermanos amigos eternos, confidentes que con sus palabras nos corrigieron e hicieron que veamos la realidad, a ellos deséales lo mejor del mundo.

Para nuestros sobrinos que son la alegría de nuestros hogares, para ellos todo el cariño y el amor, que sepan que son parte de nuestras vidas y un motivo más para seguir adelante.

RESUMEN

Esta investigación tuvo como propósito revalorizar los lodos de perforación, en la elaboración de bloques, para el sector de la construcción.

Previo a constituirse como material agregado del bloque, el lodo fue ensayado por toxicidad y composición mineralógica. Debido a que la Norma Técnica Ecuatoriana, NTE-INEN-638, señala los componentes del bloque pero no sus proporciones, en una bloquera local se investigó la forma empírica de establecer las cantidades, se constató que el cascajo es otro agregado del bloque comercial, y se adquirieron seis unidades para ensayos de laboratorio; con esta información se elaboraron bloques bajo la norma INEN 638; a los bloques adquiridos se les denominó de referencia y a los elaborados se le denominó patrón. Los dos grupos de bloques fueron ensayos por resistencia a la compresión, resultando el de referencia como tipo C y el patrón tipo A.

Para la elaboración de bloques con enmiendas de lodo, se utilizó el método ACI 211.1, preestableciendo una mínima resistencia de 80 Kg/cm², utilizando una dosificación de 30% de cascajo y 30% de lodo, respecto a la cantidad de cemento en el mortero, resultando un bloque tipo B con una resistencia a la compresión de 5, 4 Kg/cm², lo cual permitió ensayar dosificaciones mayores de lodo en el mortero, como 60 y 80%.

Los bloques con enmienda de lodo del 60 y 80% resultaron, según la Norma Técnica Ecuatoriana, NTE-INEN 638, ser clase C y D, utilizados para paredes divisorias exteriores sin y con revestimiento, respectivamente, mientras que los bloques de 30% de lodo, resultaron ser de tipo B, para paredes exteriores e interiores con y sin revestimiento.

ABSTRACT

The purpose of this research was to revalue drilling muds, in the manufacture of blocks, for the construction sector.

Before being constituted as aggregate material of the block, the mud was tested for toxicity and mineralogical composition. Because the Ecuadorian Technical Standard, NTE-INEN-638, indicates the components of the block but not their proportions, a local block was investigated the empirical way of establishing the quantities, it was found that the gravel is another aggregate of the commercial block, and six laboratory test units were purchased; with this information blocks were made under the standard INEN 638; to the blocks acquired are denominated reference and to the elaborated ones denominated pattern to him. The two groups of blocks were tests for resistance to compression, resulting the reference as type C and pattern type A.

For the preparation of blocks with mud amendments, the ACI method 211.1 was used, prescribing a minimum resistance of 80 Kg/cm², using a dosage of 30% of gravel and 30% of sludge, with respect to the amount of cement in the mortar, resulting in a block type B with a compressive strength of 5.4 Kg/cm², which allowed to test higher dosages of sludge in the mortar, such as 60 and 80%.

The sludge amendment blocks of 60 and 80% were, according to the Ecuadorian Technical Standard, NTE-INEN 638, to be Class C and D, used for exterior partitions without and with coating, respectively, while blocks of 30% of sludge, proved to be type B, for exterior and interior walls with and without coating.

GLOSARIO

A.C.I.- American Concrete Institute o Instituto Americano del Concreto es una organización que desarrolla estándares, normas y recomendaciones técnicas con referencia al hormigón reforzado.

Absorción.- procedimiento por el cual el hormigón ejerce atracción sobre los fluidos con los que está en contacto.

A.P.I.- Instituto Americano del Petróleo (API) industria del petróleo y gas natural de Estados Unidos.

Arcilla.- caolín sedimentario constituido por agregados de silicatos de aluminio hidratados, procedentes de la descomposición de rocas que contienen feldespato, como el granito.

A.S.T.M.- American Standard of Testing Materials, organización de normas internacionales que desarrolla y publica, acuerdos voluntarios de normas técnicas para una amplia gama de materiales, productos, sistemas y servicios.

Barita.- sustancia natural no metálica de la clase de los sulfatos y del tipo AXO_4 .

Bentonita.- roca de minerales de grano muy fino (coloidal) que contiene bases y hierro.

b.l.s.; b.b.l.s.- barriles estándar de petróleo equivalente a 42 galones (158,98 Litros).

Caolinita.- roca de arcilla, una parte del grupo de minerales industriales, con la composición química $Al_2Si_2O_5(OH)_4$.

C.R.E.T.I.B.- sigla del código de clasificación de desechos peligrosos, que corresponde a las características de corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico, inflamable y biológico-infeccioso.

Cuarzo.- óxido de silicio conformado del granito y otras rocas.

Curado.- técnica de endurecimiento de la mezcla en condiciones óptimas.

Degradación.- procedimiento a través del cual la naturaleza se ve comprometido de alguna forma, minimizando la variedad de vida del ecosistema.

Densidad.- medida de cuánto material se encuentra comprimido en un espacio determinado; la cantidad de masa por unidad de volumen.

Grupo Plagioclasa.- minerales que abarca la serie albita-anortita, sección triclinica del grupo de los feldespatos, perteneciente al grupo de los tectosilicatos, que es un elemento importante de muchas rocas.

Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos.- HAPs son una tipo de contaminantes o xenobióticos que persisten en suelos, sedimentos y material particulado suspendido en el aire.

Lixiviación.- extracción sólido-líquido, procedimiento en el que un disolvente líquido pasa a través de un sólido pulverizado para que se produzca la disolución de uno o más de los componentes solubles del sólido.

Mortero.- combinación de muchos materiales, como cal o cemento, arena y agua, que se usa en la construcción para unir ladrillos y recubrir paredes.

Percolación.- paso lento de líquidos a través de materiales permeable.

Polímeros.- macromoléculas (generalmente orgánicas) formadas por la fusión de moléculas más pequeñas llamadas monómeros.

Puzolanas.- piedra volcánica muy fraccionada y de composición basáltica; se utiliza como aislante en la construcción y para la elaboración de cemento.

Residuo.- elemento u objeto sin valor tras haber cumplido con su objetivo o utilizado para realizar un determinado trabajo.

Resistencia.- propiedad de los cuerpos para aguantar las fuerzas aplicadas sin quebrarse y depende de su material y de su extensión.

Reutilización.- proceso que permite volver a utilizar los elementos o productos desechados y darles una utilidad igual o diferente a aquel para el que fueron concebidos.

Silicatos.- grupo de rocas de gran abundancia, forman más del 95% de la corteza terrestre.

Solidificación.- transformación de un líquido o un gas en un sólido.

Tixotropía.- características de algunos fluidos no newtonianos y falsos plásticos que muestran un cambio de su viscosidad en el tiempo.

Toxicidad.- propiedad de alguna sustancia química de hacer efectos dañinos sobre un ser vivo, al entrar en contacto con él.

Viscosidad.- medida de su resistencia a las deformaciones graduales producidas por tensiones cortantes o tensiones de tracción.

Volumen.- medida de volúmenes, en el Sistema Internacional es el metro cúbico (m^3) que corresponde al espacio que hay en el interior de un cubo de 1 m de lado.

CONTENIDO

DECLARACIÓN	ii
CERTIFICACIÓN	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIA	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
GLOSARIO	viii
CONTENIDO	xi
ÍNDICE TABLAS	xvi
ÍNDICE FIGURAS	xviii
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS	2
1.2 JUSTIFICACION	3
CAPITULO II	5
MARCO TEORICO	5
2.1 LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN	5
2.1.1 COMPOSICIÓN	5
2.1.2 CARACTERÍSTICAS	6
2.1.3 TIPOS DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN	6
2.2 ORIGEN DE LOS LODOS Y RIPIOS DE PERFORACIÓN	7
2.2.1 CARACTERISTICAS DEL LODO DE PERFORACIÓN	8
2.2.2 CANTIDADES PRODUCIDAS DE LODO DE PERFORACIÓN	10
2.2.3 MATERIAL BASE PARA VÍAS Y LADRILLOS	11
2.2.4 ADOQUINES Y BLOQUES	11

2.2.5	BLOQUES CON POLIETILENO	12
2.2.6	BLOQUES CON ESCOMBROS	12
2.3	MARCO LEGAL	13
2.3.1	NORMATIVA LEGAL	13
CAPITULO III.....		16
3	MARCO METODOLÓGICO	16
3.1	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE GENERACIÓN DEL LODO	16
3.1.1	RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA	17
3.1.2	ANÁLISIS DE PARÁMETROS RAHOE ANEXO 2, PARA LODOS DE PERFORACIÓN.	18
3.2	ANÁLISIS QUÍMICOS DEL LODO DE PERFORACIÓN.....	19
3.2.1	ANÁLISIS DE TOXICIDAD (TCLP) DEL LODO DE PERFORACIÓN	19
3.2.2	ANÁLISIS MINERALÓGICO DEL LODO DE PERFORACIÓN Y CONTENIDO DE ARCILLAS.	20
3.3	EL BLOQUE Y SUS AGREGADOS.....	22
3.3.1	ENSAYOS FÍSICOS Y MECÁNICOS DE LOS AGREGADOS	22
3.4	TIPOS DE BLOQUES Y SUS USOS	28
3.5	BLOQUE DE REFERENCIA (BR)	29
3.5.1	DOSIFICACIÓN DE AGREGADOS	30
3.5.2	ENSAYOS FÍSICOS Y MECÁNICOS.....	31
3.6	BLOQUE PATRÓN	32
3.6.1	DOSIFICACIÓN DE AGREGADOS	32
3.6.2	ENSAYOS FÍSICOS Y MECÁNICOS.....	32
3.7	BLOQUES CON ENMIENDAS DE LODO DE PERFORACIÓN	33
3.7.1	ESTIMACIONES EN GABINETE, DE LAS DOSIFICACIONES DE AGREGADOS Y LODO DE PERFORACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE BLOQUES	33
3.7.2	ENSAYOS DE CALIDAD DE LOS BLOQUES OBTENIDOS	40
3.7.3	PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN, TCLP DE LOS BLOQUES CON ENMIENDA DE LODO.	41
CAPITULO IV		43

4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
4.1	RESULTADO DEL ANALISIS DE TOXICIDAD TCLP DEL LODO	43
4.2	ANÁLISIS MINERALÓGICO Y CONTENIDO DE ARCILLA	44
4.3	BLOQUE DE REFERENCIA	45
4.3.1	RESULTADOS DE LOS ENSAYOS FÍSICOS Y MECÁNICOS	45
4.4	BLOQUE PATRÓN	45
4.4.1	RESULTADOS DE LOS ENSAYOS FISICOS Y MECÁNICOS	45
4.5	BLOQUES CON ENMIENDAS DE LODOS DE PERFORACIÓN	46
4.5.1	RESULTADOS DE LOS ENSAYOS FÍSICOS Y MECÁNICOS	46
4.5.2	ENSAYO DE TOXICIDAD (TCLP) DEL BLOQUE ELABORADO CON EL LODO DE PERFORACIÓN	49
4.6	DETERMINACIÓN DE LA VIABILIDAD DEL PROYECTO	50
4.6.1	ANÁLISIS COSTO BENEFICIO	50
5	CAPITULO V.....	54
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
5.1	CONCLUSIONES	54
5.2	RECOMENDACIONES	55
	BIBLIOGRAFÍA	57
	ANEXOS	60
	ANEXO 1.....	61
	DESCRIPCIÓN DE LA NORMATIVA.....	61
	ANEXO 2.....	64
	PROTOCOLO DE MUESTREO DE SUELOS CONTAMINADOS.....	64
	ANEXO 3.....	68
	RETRO ESCABADORA DOOSSAN SY365H	68
	ANEXO 4.....	69
	CADENA CUSTODIA DE LA MUESTRAS “SCH01”	69

ANEXO 5.....	70
REPORTE ANÁLISIS TCLP CORTE DE PERFORACIÓN “MS01-11-2015”	70
ANEXO 6.....	71
REGISTRO FOTOGRAFICO.....	71
ANEXO 7.....	72
INFORMES DE LOS ENSAYOS GRANULOMETRIA, DENSIDADES, PESO ESPECÍFICO, HUMEDAD, ABSORCIÓN (CEMENTO, ARENA, RIPIO y CASCAJO) ...	72
ANEXO 8.....	73
PROCEDIMIENTOS PARA CADA ENSAYO	73
ANEXO 9.....	87
INFORME DE LOS ENSAYOS DIMENSIONES, ABSORCIÓN, DENSIDAD, RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y HUMEDAD DEL BLOQUE REFERENCIA	87
ANEXO 10.....	88
PROTOCOLO PARA PREPARAR LA MUESTRA PARA ANALISIS MINERALOGICO POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X MUESTRA MS1-A	88
ANEXO 11	91
INFORME DE RESULTADOS OBTENIDOS EN EL DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA.....	91
ANEXO 12.....	92
PROCESO DE SECADO DEL LODO DE PERFORACIÓN.....	92
ANEXO 13.....	93
MÉTODO DE ENSAYO EN BASE A CILINDROS DE METAL	93
ANEXO 14.....	97
CONSTRUCCIÓN DE LOS BLOQUES CON EL LODO DE PERFORACIÓN	97
ANEXO 15.....	101

REPORTE DE RESULTADOS DE LOS BLOQUES ELABORADOS CON LODO DE PERFORACIÓN (30%, 60%, 80%).....	101
ANEXO 16.....	102
PROCEDIMIENTO DE ENSAYO TCLP DEL BLOQUE AL 80% DE LODO DE PERFORACIÓN.....	102
ANEXO 17.....	103
REPORTE DE RESULTADOS DEL ENSAYO TCLP ANÁLISIS TOXICO A LA MUESTRA DEL BLOQUE 80%	103

ÍNDICE TABLAS

Tabla 2.1. Componentes básicos del fluido de perforación	6
Tabla 2.2 Producción de lodos de perforación por procesos.	10
Tabla 2.3 Normativa Legal aplicable al proyecto de investigación.....	15
Tabla 3.1 Parámetros de monitoreo de lodos de perforación	18
Tabla 3.2 Concentración de metales pesados en el lodo de perforación.....	19
Tabla 3.3 Composición Mineralógica del Lodo de Perforación MS01-11-05-2015.....	20
Tabla 3.4 Límites permisibles de sustancias perjudiciales en el agregado fino para hormigón.....	21
Tabla 3.5 Propiedades generales del cemento HOLCIM tipo MS	23
Tabla 3.6 Propiedades granulométricas del agregado grueso(ripio).....	24
Tabla 3.7 Propiedades físicas y mecánicas agregado grueso	25
Tabla 3.8 Propiedades granulométricas del agregado fino	25
Tabla 3.9 Propiedades físicas y mecánicas agregado fino	26
Tabla 3.10 Propiedades granulométricas del agregado grueso-cascajo,	27
Tabla 3.11 Propiedades físicas y mecánicas agregado grueso - cascajo.....	27
Tabla 3.12 Clases de bloques de hormigón y sus usos.....	28
Tabla 3.13 Tipo del bloque según la resistencia a la compresión.....	29
Tabla 3.14 Cantidad de agregados para la elaboración del bloque de referencia	31
Tabla 3.15 Ensayos físicos y mecánicos del bloque de referencia	31
Tabla 3.16 Dosificación de agregados para la elaboración del bloque patrón según la norma INEN 638.	32
Tabla 3.17 Ensayo físicos y mecánicos del bloque patrón (BPA)	33
Tabla 3.18 Análisis de incremento de resistencia y variación de relación a/c.	34
Tabla 3.19 Incrementos de Resistencia en relación a/c.	34
Tabla 3.20 Resistencias inferiores a los 140 Kg/cm ²	35
Tabla 3.21 Resistencia a 80 Kg/cm ²	36
Tabla 3.22 Datos de los componentes ripio, arena y cemento para la mezcla de hormigón.....	36
Tabla 3.23 Cantidades de componentes para elaborar bloques con enmiendas de lodo de perforación.	37

Tabla 3.24 Influencia del curado en la resistencia a la compresión del bloque con enmiendas de lodo de perforación.	38
Tabla 3.25 Cantidades y porcentajes de componentes para la elaboración de bloques	39
Tabla 3.26 Ensayos realizados al bloque con enmiendas de lodo de perforación.	41
Tabla 3.27 Elementos para el ensayo de toxicidad TCLP del bloque al 80% de lodo de perforación.	42
Tabla 4.1 Reporte de resultados de los ensayos de toxicidad (TCLP) del lodo de perforación.	43
Tabla 4.2 Resultados de los ensayos físicos y mecánicos al bloque de referencia a los 28 días de edad.	45
Tabla 4.3 Resultado de los ensayos físicos y mecánicos realizados al bloque patrón a los 28 días de edad.	46
Tabla 4.4 Resultados de ensayos a los bloques con enmiendas de lodo de perforación.	47
Tabla 4.5 Concentración de arsénico, bario y vanadio en el lixiviado de la prueba de toxicidad TCLP del bloque con el 80% de lodo de perforación.	49
Tabla 4.6 Costo del proyecto de bloquera	50
Tabla 4.7 Costos de operación, materiales y transporte	51
Tabla 4.8 Calculo de rendimiento	52
Tabla 4.9 Tabla análisis costo beneficio del agregado grueso, para la elaboración del bloque.	53

ÍNDICE FIGURAS

Figura 2.1 Infraestructura para la perforación de un pozo petrolero	8
Figura 2.2 Composición del lodo de perforación	8
Figura 2.3 Listado No. 1, Desechos Peligrosos por fuente específica.	9
Figura 2.4 Pirámide del Kelsen	14
Figura 3.1. Mapa de ubicación del campo Auca Sur	16
Figura 3.2 Vista satelital del área de celdas bloque 61.....	17
Figura 3.3 Dimensiones del bloque de referencia	29
Figura 3.4 Mezcladora de agregados, marca s/n.	30
Figura 3.5 Resistencia del hormigón vs incremento de resistencia	35
Figura 3.6 Relación edad del hormigón vs resistencia a la compresión.	39
Figura 4.1 Porcentajes de composición mineralógica del lodo de perforación.....	44
Figura 4.2 Resistencia a la compresión del bloque patrón (BPA) y bloques con enmiendas de lodo de perforación al 30, 60 y 80%.	47
Figura 4.3 Porcentaje de absorción del bloque patrón (BPA) y bloques con enmiendas de lodo al 30, 60 y 80%.	48
Figura 4.4 Densidad del bloque patrón (BPA) y con enmiendas de lodo del 30, 60 y 80%.	48

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Durante las actividades de perforación de los pozos de petróleo se generan fluidos y ripios, los cuales al ser vertidos al suelo producen impactos negativos en las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de la zona intervenida; solventar adecuadamente esta problemática ambiental, ha venido siendo una de las prioridades de la industria petrolera tanto en el ámbito nacional como internacional (Rivero & Sánchez, 2011).

Desde una perspectiva global la afectación al suelo trae consigo alteraciones en la calidad del agua, por procesos de escorrentía, percolación y lixiviación, también afectación a la fauna y flora, cultivos, al ecosistema, por ende a la salud del hombre (Incógnita, 2014).

Para el año 2015 la generación promedio de ripios y lodos de perforación en el Ecuador, ha sido aproximadamente de 2.548 m³ (EP PETROECUADOR, 2015), cantidad considerable para ser dispuesta en celdas de confinamiento, lo que reduce la disponibilidad del suelo utilizable para otras actividades productivas, como la agrícola, ganadería, industriales, turismo y comerciales, entre otras.

En la actualidad, la reglamentación nacional relativa al confinamiento de estos desechos, solo se enmarca en la calidad del lodo y ripio a confinar, mas no en los requerimientos para la construcción del área de confinamiento, su control y seguimiento, lo que evitaría a futuro problemas de contaminación de las aguas subterráneas y superficiales (Rojas, 2014).

Adicionalmente, dado que el sector de la construcción es una actividad de gran demanda de agregados como arena, ripio, cascajo y cemento, para su desarrollo; es

necesario la inclusión de materiales desechados producidos en masa por la industria en general, que con propiedades similares a los agregados normalmente utilizados, puedan reemplazarlos y así reducir la disposición final de éstos en el suelo y la explotación de recursos mineros (Montoya , Pino, & Valdés, 2005).

Por lo expuesto, este tema de investigación, propone reutilizar los lodos de perforación, para ser revalorizados en la elaboración de bloques que tienen alta demanda en el sector de la construcción, que previo a su uso deberán cumplir con la normativa civil y ambiental pertinentes, esto es resistencia a compresión y ausencia de sustancias tóxicas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar una metodología para la reutilización de los lodos y ripios de perforación provenientes de la actividad petrolera, del bloque 61, parroquia Dayuma, cantón Orellana, provincia de Orellana, en la fabricación de bloques de 15 cm (ancho) x 20 cm (altura) x 40 cm (largo) como alternativa para prevenir el uso y la contaminación del suelo, agua y la generación de pasivos ambientales.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- i. Identificar el área de muestreo para la recolección de los ripios y lodos de perforación, en base agua.
- ii. Obtener muestras representativas de los ripios y lodos de perforación desde zonas de disposición final de estos desechos.
- iii. Determinar las propiedades de toxicidad de los lodos y ripios de perforación mediante las guías establecidas en el CRETIB.

- iv. Determinar las características físicas, químicas, y mecánicas de los agregados y lodo de perforación.
- v. Elaborar los bloques de 15x20x40 cm de acuerdo con lo determinado en la normativa INEN 638, 640, 643.
- vi. Comprobar la calidad del bloque mediante ensayos y pruebas experimentales.
- vii. Realizar ensayos de lixiviación (Toxicity Characterization Leaching Procedure, TCLP) a los bloques obtenidos.
- viii. Analizar de acuerdo con el mercado el costo/beneficio del producto obtenido.

1.2 JUSTIFICACION

Los lodos y ripios de perforación en la mayoría de países petroleros a nivel mundial, representa el mayor volumen de desechos que se generan durante la perforación.

En el Ecuador, para las empresas dedicadas a esta actividad los lodos de perforación son un problema durante la disposición final; según la legislación ecuatoriana, estos son confinados y enterrados en celdas de gran extensión (RAHOE, 2001), ocupando considerables áreas de suelo, y ocasionando la alteración de las capas del nivel freático y el desbroce de la capa vegetal superficial, además de ocasionar altos costos en la compra de terrenos, utilización de maquinaria pesada (excavadoras, retroexcavadoras, palas mecánicas), materiales, equipos y mano de obra para dicho fin (Bravo, 2007).

Los avances tecnológicos han establecido nuevos métodos para la eliminación adecuada de éstos residuos como por ejemplo la incineración, pirolisis, entre otros; que tienen elevados costos operativos y alto consumo de energía, lo que los hace prohibitivos para las empresas involucradas en la temática, y por ende

buscar maneras más económicas y fáciles de disposición final de estos desechos (Liendo, 2010).

El interés científico de la presente investigación, está en la importancia de la “revalorización de los lodos y ripios de perforación, que son residuos de la actividad petrolera, en la elaboración de bloques para el sector de la construcción”, ya que con el confinamiento no soluciona el problema; por el contrario el área se convierte en un pasivo ambiental, pudiendo a futuro ocasionar problemas socio ambientales, tales como expropiación de tierras, suelos inertes, contaminación de acuíferos, enfermedades a las comunidades cercanas, entre otros efectos (Espinosa , 2007)

Este estudio, propone dar una alternativa de solución a la problemática socio ambiental de los desechos de la actividad hidrocarburiífera, incorporados al sector de la construcción a través de la elaboración de bloques, convirtiéndose en una fuente de ingreso económico y por ende de mejora de la productividad de las empresas, privilegiando la salud humana y respeto al medio ambiente.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN

El Instituto Americano del Petróleo (2001), define a los fluidos de perforación como fluidos de circulación usados en las operaciones de perforación rotatoria, empleados para una o todas las funciones requeridas durante la perforación.

Los fluidos de perforación durante las actividades petroleras cumplen muchas funciones: controlan las presiones de formación, remueven los recortes del pozo, sellan las formaciones permeables encontradas durante la perforación, enfrían y lubrican la barrena, transmiten la energía hidráulica a las herramientas de fondo de pozo y a la barrena y, quizás lo más importante, mantiene la estabilidad y el control del pozo (Oilfield Glossary, 2013).

2.1.1 COMPOSICIÓN

Según lo establecido por Roddie, Skadsheim, Runciman, & Kjeilin (1999), las composiciones de los fluidos de perforación varía según la exigencia del pozo, las capacidades de los equipos de perforación, la composición del perfil edáfico y la formación geológica. Leonard & Stegemann (2010), mencionan que la composición típica de un fluido de perforación en base agua, es la indicada en la Tabla 2.1, con elementos como barita, bentonita, sosa caustica, celulosa polianiónica, sal, carbonato de sodio, almidón, xantana y otros elementos menores; de estos, los componentes con más presencia son la barita (sulfato de bario) con el 57,6% y sal (cloruro de sodio) con el 33,0%. Estos elementos elevaran la densidad del fluido proporcionando las propiedades necesarias para la perforación del pozo.

Tabla 2.1. Componentes básicos del fluido de perforación

Componentes	% 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%

Fuente: (Roddie, Skadsheim , Runciman, & Kjeilin , 1999)

2.1.2 CARACTERÍSTICAS

Dentro de las características generales descritas por Daryl & Sonny (2013), los sistemas de fluidos de perforación poseen una fase continua, que es líquida, y una fase discontinua compuesta por sólidos, en ocasiones, también exhiben una fase gaseosa, ya sea por diseño o como resultado del arrastre de gas de formación. El diseño y mantenimiento de los fluidos de perforación son procesos iterativos afectados por las condiciones de superficie y de fondo del pozo; estas condiciones cambian a medida que el pozo se perfora a través de las formaciones más profundas y encuentran incrementos graduales de temperatura y presión (Leonard & Stegemann, 2010).

2.1.3 TIPOS DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN

El Manual de Fluidos de Perforación de Baker Hughes Incorporated (1998), establece que para definir los tipos de fluidos se debe tomar muy en cuenta la composición química además establece que los parámetros que definen y que

deberán ser controlados durante la perforación son la densidad, viscosidad, tixotropía, costra y agua de filtrado, pH y contenido de arena (Hughes, 1998). Dentro de la múltiple clasificación tenemos los dos más conocidas:

2.1.1.1 Fluidos de perforación en base agua

En este sistema por lo general el agua dulce es la base del fluido, a la cual se le adicionan arcillas, polímeros, densificantes y algunos otros aditivos para el control de algunas variables; son los más usados a nivel mundial en perforación Oilfield Glossary (2013), afirma que los fluidos de perforación acuosos, son los más comunes y su composición varía entre mezclas simples de agua y arcilla.

2.1.1.2 Fluidos de perforación en base aceite

Aquellos en los cuales el aceite es la base de fluido; Baroid (1992) menciona que la fase continua puede consistir en aceites minerales, olefinas u otras variantes. Estos fluidos por lo general son más costosos y tienden a proporcionar un excelente control del pozo, estabilidad térmica, lubricidad, velocidades mayores de penetración, lo que puede ayudar a reducir el costo total para el operador.

2.2 ORIGEN DE LOS LODOS Y RIPIOS DE PERFORACIÓN

Los lodos y ripios de perforación, según Sanchez & Alaejos (2006), se originan por la adhesión de sólidos derivados de las formaciones geológicas de las zonas de explotación, que se desprenden por la ruptura del suelo y subsuelo, durante el ciclo de la perforación; a esto se unen los componentes del fluido de perforación como son aditivos químicos, agua y cemento entre otros componentes adicionales que se agregan para controlar las propiedades químicas, mecánicas del mismo. El lodo de perforación no puede ser reinyectado al proceso y es depositado en el suelo en celdas de confinamiento. La Figura 2.1 muestra la infraestructura de perforación donde se puede apreciar un pozo petrolero.

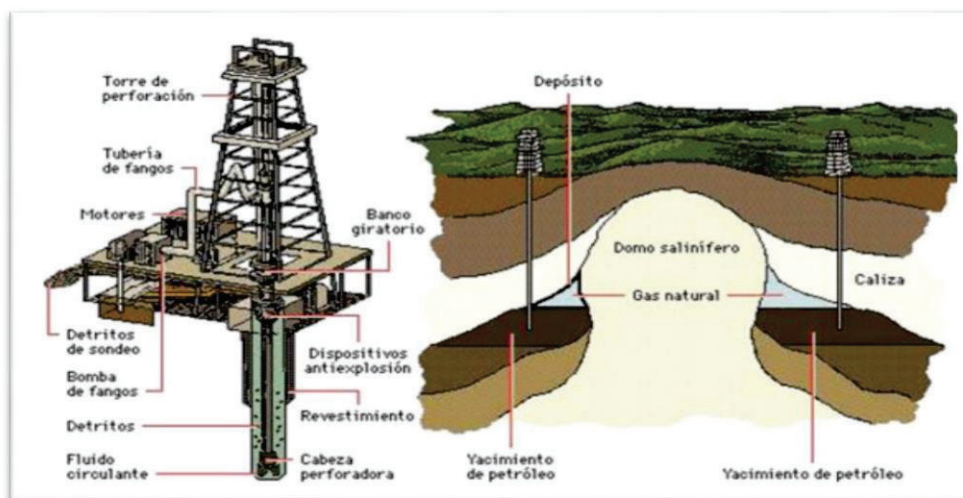


Figura 2.1 Infraestructura para la perforación de un pozo petrolero

2.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL LODO DE PERFORACIÓN

Al respecto la Escuela de Capacitación Petrolera (ECAPETROL, 2012), en su publicado Química de Lodos de Perforación determina que la composición de un lodo de perforación dependerá de las funciones prioritarias durante la actividad, es decir que pueden necesitar de varios componentes para su correcto funcionamiento, sin embargo según Liendo (2010), la composición general de los lodos de perforación es la siguiente.

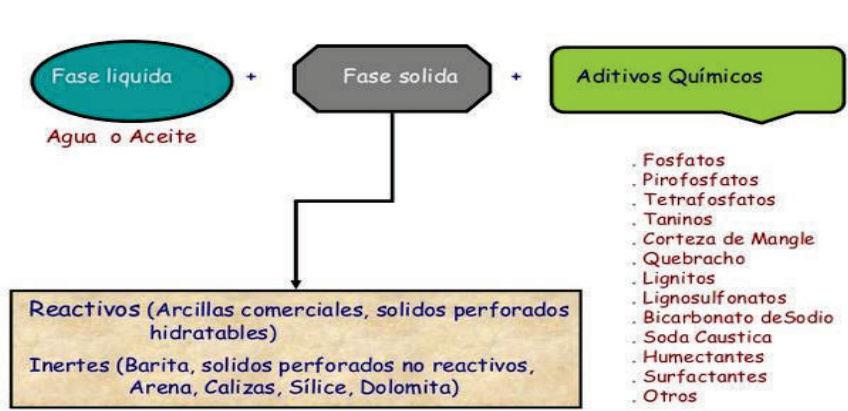


Figura 2.2 Composición del lodo de perforación

Fuente: ECAPETROL (2012)

Según la Figura 2.2: los reactivos son contaminantes comunes constituidos por sólidos perforados que se incorporan dentro del sistema de perforación; además de otros elementos como el cemento, el agua contaminada, sal, sulfuro de hidrogeno y dióxido de carbono, casi todo material sólido, liquido, gaseoso que tiene un efecto perjudicial sobre las características físicas o químicas del fluido de perforación, contaminando y haciendo inútil su función (Oilfield Glossary, 2013).

Es así que la legislación ambiental nacional en el Acuerdo Ministerial No. 142, Listado Nacional de Sustancias Químicas Peligrosas, Desechos Peligrosos y Especiales, clasifica al lodo de perforación dentro del Anexo B listado No. 1 Desechos Peligrosos por Fuente Especifica, con características toxicas (MAE, 2012).

La Figura 2.3 muestra el Listado de desechos peligrosos por fuente específica, en la cual está incluido el lodo de perforación.

LISTADO No. 1: DESECHOS PELIGROSOS POR FUENTE ESPECIFICA

CIU	Descripción de categorías	CRITB	Código	Código Basilea
A	AGRICULTURA, GANADERÍA, SILVICULTURA Y PESCA			
1	Agricultura, floricultura, ganadería, caza y actividades de servicios conexas: fumigación aérea, terrestre, tratamiento de semillas, control de plagas			
	Lodos de lavado y limpieza que contengan plaguicidas	T	A.01.01	Y4
	Aguas residuales que contengan plaguicidas	T	A.01.02	Y4
	Lodos contaminados con plaguicidas provenientes del tratamiento de efluentes.	T	A.01.03	Y4
	Agroquímicos caducados, obsoletos o fuera de especificaciones	T (1)	A.01.04	Y4 / A4140
	Lodos de tanques de almacenamiento de aceites agrícolas	T, I	A.01.05	Y8
	Envases vacíos de plaguicidas sin triple lavado	T	A.01.06	Y4
	Mangueras y accesorios de los sistemas de fumigación utilizados en florícolas.	T	A.01.07	Y4
	Desechos de preservantes tóxicos utilizados en postcosecha	T	A.01.08	Y4 / A4030
	Cadáveres de animales enfermos retirados de camales, veterinarias, granjas, etc.	B	A.01.09	Y1 / A4020
B	EXPLORACIÓN DE MINAS Y CANTERAS			
6	Extracción de petróleo crudo y gas natural			
	Recorte de perforación de pozos petroleros en los cuales se usen lodos base aceite	T	B.06.01	Y9
	Lodos, rípios y desechos de perforación en superficie que contienen, hidrocarburos, HAP's, Cadmio, Cromo (VI), Vanadio, Bario, Mercurio, Niquel	T	B.06.02	Y9/Y21/Y26/Y29 (*)
	Lodos de la separación primaria (aceite/agua/sólidos)	T, I	B.06.03	Y9
	Aguas de fracturación hidráulica / Aguas de formación.	T	B.06.04	Y9

Figura 2.3 Listado No. 1, Desechos Peligrosos por fuente específica.

2.2.2 CANTIDADES PRODUCIDAS DE LODO DE PERFORACIÓN

El lodo de perforación se genera en grandes cantidades en los pozos de perforación, para tener una visión de cuanto se genera, el informe final de perforación del pozo SEC – 40H (bloque 61), realizado por la empresa Sólidos y Lodos Nacionales (SLN, 2015), detalla la producción total de lodos de perforación con componentes adicionales, los cuales serán dispuestos en las celdas de confinamiento. La Tabla 2.2 muestra la producción de lodos de perforación por procesos, con un total de 14.590 barriles (bbls/pozo).

Tabla 2.2 Producción de lodos de perforación por procesos.

Producción de lodos por procesos	Volumen bbls
Sistema activo y lodo en cambios de sección (sólidos de baja gravedad).	13.550
Cemento y lodos contaminado	1.040
Lodo procesado total	14.590

Fuente: Departamento de control de sólidos de SLN

Para la disposición final del lodo de perforación del pozo SEC-40H (bloque 61), se utilizó un área de 500 m². El periodo de explotación fue desde el 19 de diciembre del 2011 hasta el 16 de enero del 2012, aproximadamente 28 días, adicionalmente, en el campo Auca Sur existen 20 a 40 pozos de perforación; los cuales produjeron un aproximado de 12,000 a 15,000 barriles/pozo; lo que ocasiona una producción en masa de este desecho que es depositado en el suelo (SLN, 2015).

Determinar la cantidad total de barriles producidos y suelo removido, en los años de explotación petrolera, sería un tema de investigación, sin embargo, la búsqueda de alternativas de reutilización para este desecho se ha convertido en una prioridad. (Bravo, 2007).

2.3 INICIATIVAS DE REUTILIZACIÓN EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

Dado que la actividad petrolera produce gran cantidad de desecho, se comenzaron a realizar investigaciones, con la finalidad de encontrarles un uso o reutilización específicamente en el campo de la construcción, de tal manera que estos desechos puedan ser aprovechados en otras áreas y así evitar la degradación de los suelos.

En el Ecuador, el estudio de los lodos y ripios de perforación se han enfocado en investigaciones a nivel universitario, algunos motivados por la empresa privada; algunas investigaciones se describen a continuación:

2.2.3 MATERIAL BASE PARA VÍAS Y LADRILLOS

El proyecto de investigación titulado “Reutilización de los Ripios de Perforación en Base Agua como Material de Construcción” (Rojas, 2014), se enfoca en utilizar al lodo de perforación, como base para vías y fabricación de ladrillos. Concluye que el ripio de perforación con cemento en base vías cumple con los rangos establecidos por el centro técnico de hormigón HOLCIM Ecuador para ser utilizado, sin embargo, el porcentaje de cemento requerido pone una barrera económica que hace difícil la ejecución del proyecto.

Por otro lado la elaboración de ladrillos resultó ser la opción más adecuada para la puesta en práctica ya que el lodo y ripio de perforación es la materia prima, y no es necesario utilizar otros mecanismos para estabilizar el material.

2.2.4 ADOQUINES Y BLOQUES

Otra investigación realizada por Nicolalde (2008), titulado “Utilización de Escorias y Polvos de Acería en la Producción de bloques y Adoquines”, señala que la utilización de escorias en la fabricación de bloques de hormigón aumenta su resistencia a la

compresión, en consecuencia se necesita menos cantidad de cemento que en los bloques comunes, esto significa un ahorro de cemento y de dinero en el proceso de producción; pero debido a que los bloques de escoria no cumplen con la normativa del Ministerio del Ambiente, por la presencia de metales pesados tales como el zinc, plomo, cadmio y cromo, solo se fabricaran bloques huecos de hormigón para paredes divisorias exteriores con revestimiento e interiores con o sin revestimiento, y así estos no estarán en contacto con el suelo, y el agua.

Por otro lado, la utilización de escorias en la fabricación de adoquines aumenta su resistencia a la compresión, pero debido a que los adoquines hechos con escorias tienen un alto contenido de metales pesados, no se deben fabricar adoquines ya que, en la interacción con los factores ambientales, estos causarían daños al ambiente y a las personas.

2.2.5 BLOQUES CON POLIETILENO

El Proyecto titulado “Diseño de Bloques en base a Polietileno – Tereftalato (plástico reciclado)”, (Pullaguari, 2010); en el cual se toma al plástico como un elemento primordial para la creación del bloque, luego de la recolección, clasificación y triturado del plástico, concluye que la utilización del PET aumento la resistencia a la compresión, con ciertas desventajas como más agua en el proceso y la demora en secar del bloque obtenido.

Por último, el proyecto para ser ejecutado deberá realizarse con mano de obra numerosa, puesto que se requiere de grandes cantidades de PET reciclado y los costos de producción serían demasiado altos.

2.2.6 BLOQUES CON ESCOMBROS

El estudio realizado muestra una técnica desarrollada para la producción de bloques de hormigón con áridos reciclados. Para esto se separaron materiales como el hierro, vidrio, plástico etc.; que se encuentran en las construcciones demolidas. Los

escombros fueron reducidos de tamaño y mezclados con cemento, ripio y arena. Finalmente luego del prensado se obtuvo el bloque; las pruebas de laboratorio realizadas, tanto a los áridos reciclados como a los bloques de hormigón obtenidos, demostraron factibilidad técnica; ya que pueden ser utilizados como elementos constructivos estructurales, colaborando con esta solución, a reducir la extracción de áridos y la generación de residuos producto de la actividad de construcción y los problemas medio ambientales (Gonzales, 2007).

2.3 MARCO LEGAL

2.3.1 NORMATIVA LEGAL

La Constitución Ecuatoriana en la sección 2, Art. 14 manifiesta “Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.”

Por esta razón es necesesaria la ejecucion de proyectos que ayuden a minimizar los impactos ambientales ocasionados en los procesos de produccion.Tal es asi que en la actividad hidrocarburifera al generar gran cantidad de desechos se hace urgente la investigacion y ejecución de proyectos que mejoren las características ambientales para proyectos de explotación hidrocarburífera.

El Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULSMA), establece como desecho a todo elemento sólido líquido, pastoso o gaseoso resultante de un proceso de pruducción, transformación, reciclaje o consumo que contenga algún compuesto que tenga características reactivas inflamables corrocivas infecciosas o tóxicas y que represente un riesgo para la salud humana , los recursos naturales y el ambiente. El Reglamento Ambiental para Operaciones Hidrocarburíferas (RAHOE, 2001) en el Art.

52 normas operativas, dispone los parámetros y límites con las que el lodo de perforación debe ser dispuesto, de acuerdo con la tabla 7 anexo 2 del mismo reglamento sin determinar las condiciones técnicas de los lugares donde pueden ser depositados dejando a libre criterio a las personas y empresas dedicadas a esta actividad. Por esta razón sería necesario crear lineamientos legales para el confinamiento u otras alternativas de reuso de estos desechos y así complementar las normativas ambientales actuales.

El marco legal aplicable a este proyecto de investigación sigue los lineamientos mostrados en la Figura 2.4, pirámide de Kelsen, la cual describe el orden jerárquico de las normas, empezando por la Constitución de la República del Ecuador, Tratados y Convenios Internacionales, Leyes Orgánicas, Decretos Ejecutivos, Acuerdos Ministeriales y Reglamentos, cuyos artículos específicos están descritos en la Tabla 2.3 Marco Legal aplicable al proyecto de investigación y el detalle se encuentra en el Anexo 1.



Figura 2.4 Pirámide del Kelsen

FUENTE: Internet, 2016.

Tabla 2.3 Marco Legal aplicable al proyecto de investigación.

MARCO LEGAL			
CUERPO LEGAL	CAPÍTULO	ARTÍCULOS	NUMERAL/ LITERALES
CONSTITUCION	1.Preámbulo 2.Capitulo segundo de la biodiversidad y recursos naturales sección primera Naturaleza y Ambiente	2.-Art.395 3.-Art. 14 4.-Art.66 5.-Art.73 6.-Art. 83	2.-1, 2, 3 ,4 , 5 4.-27 5.-Inciso1 6.-6
LEY DE GESTION AMBIENTAL	1.Título I Ámbito y Principios de la Gestión Ambiental 2.Título II del Régimen Institucional de la Gestión Ambiental Capítulo I del Desarrollo Sustentable	1.-Art.2 2. Art. 7	
TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION AMBIENTAL SECUNDARIO	1. Libro VI, Título V. Capítulo 1 Sección 1 2. Libro VI. Título II. 3. Título V. Capitulo III Sección V	1. Glosario de términos 2. Art.35 3. Art. 182	2. A, D
ACUERDO MINISTERIAL N° 142	ANEXO A ANEXO B	Art. 1 Art. 2 Art. 3	
REGLAMENTO AMBIENTAL DE OPERACIONES HIDROCARBURIFERAS DEL ECUADOR 1215	Ítem 2.3	Art.52	D2
NORMA INEN	638; 639; 640; 643, 698; 872		

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE GENERACIÓN DEL LODO

El campo Auca Sur, se ubica en la provincia de Orellana, cantón Francisco de Orellana, parroquia Dayuma, con una extensión de 25 km de largo y 4 km de ancho y una superficie aproximada de 170 km². La figura No. 5, muestra la ubicación geográfica del Campo Auca Sur y el Bloque 61.

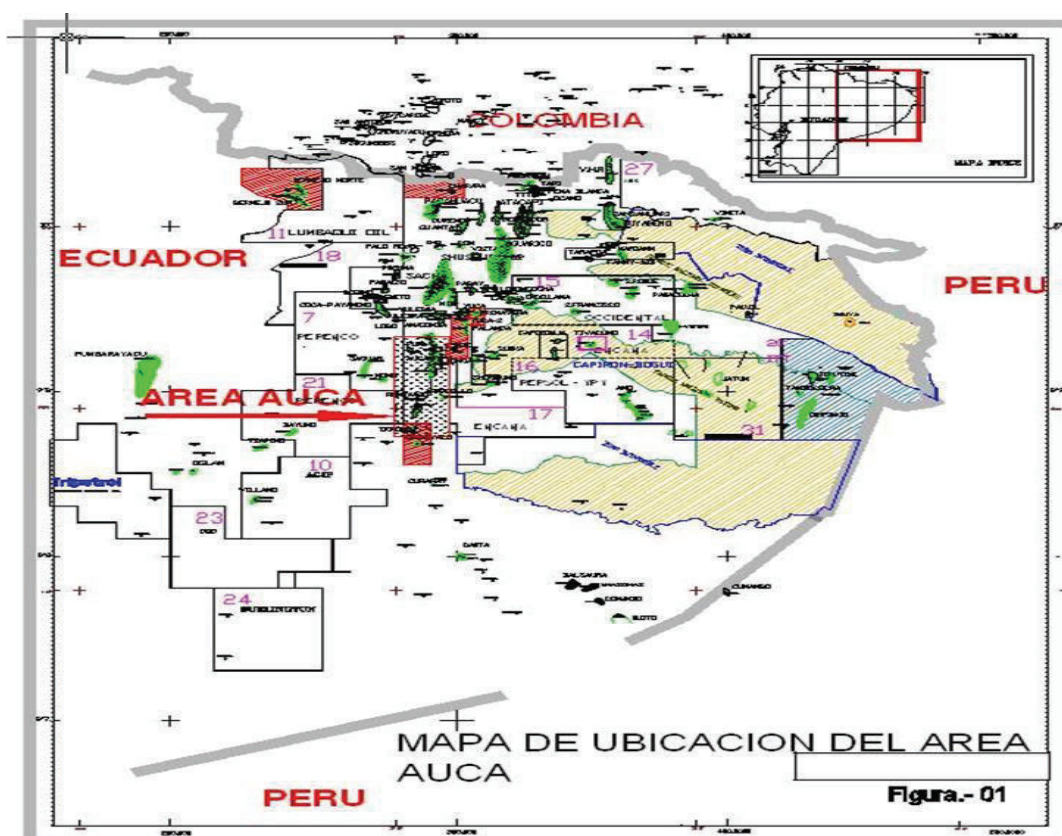


Figura 3.1. Mapa de ubicación del campo Auca Sur

Fuente: Departamento de Yacimientos, Petroproducción

3.1.1 RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA

Para la recolección de la muestra del lodo de perforación desde los sitios de confinamiento, se siguió el protocolo mostrado en el Anexo 2, las muestras se extrajeron desde un complejo de 30 celdas de confinamiento, de menos de 15 días de disposición. La Figura 3.2, muestra una vista satelital del área de confinamiento de EP PETROAMAZONAS.



Figura 3.2 Vista satelital del área de celdas bloque 61.

FUENTE: Google Earth, 2015

La muestra fue tomada en el punto referencial (291420 (X), 9963070 (Y)) UTM WGS 84 zona 18s. El detalle del registro fotográfico se encuentra en el Anexo 3; la extracción de la muestra se hizo por arrastre mecánico con ayuda de retroexcavadoras y el levantamiento de la muestra se realizó mediante la cadena custodia que se muestra en el Anexo 4.

3.1.2 ANÁLISIS DE PARÁMETROS RAHOE ANEXO 2, PARA LODOS DE PERFORACIÓN.

La Tabla 3.1 muestra los parámetros de monitoreo de cortes de perforación, e indica que existen dos tipos de celdas de confinamiento, las impermeabilizadas y las sin impermeabilización y los elementos a monitorear; para este proyecto las celdas de confinamiento están impermeabilizadas por lo que el monitoreo se realizó utilizando el literal b) Con impermeabilización en la base.

Tabla 3.1 Parámetros de monitoreo de lodos de perforación

a) Sin impermeabilidad de la base			
Parámetro	Expresado en	Unidad	Valor límite permisible
Potencial de hidrógeno	pH	----	6<pH<9
Conductividad eléctrica	CE	$\mu\text{S/cm}$	4000
Hidrocarburos totales	TPH	mg/L	<1
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)	C	mg/L	<0.003
Cadmio	Cd	mg/L	<0.05
Cromo total	Cr	mg/L	<1.0
Vanadio	V	mg/L	<0.2
Bario	Ba	mg/L	<5
b) Con impermeabilización de la base			
Parámetro	Expresado en	Unidad	Valor límite permisible
Potencial de hidrógeno	Ph	----	4<pH<12
Conductividad eléctrica	CE	$\mu\text{S/cm}$	8000
Hidrocarburos totales	TPH	mg/L	<50
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)	C	mg/L	<0.005
Cadmio	Cd	mg/L	<0.05
Cromo total	Cr	mg/L	<10
Vanadio	V	mg/L	<2
Bario	Ba	mg/L	<10

Fuente: Departamento de Control de Sólidos de SLN

Según lo establecido en la Tabla No. 7 Anexo 2 del RAOHE, la empresa a cargo del control de sólidos realizó el monitoreo respectivo de los lodos de perforación confinados, mediante el análisis de lixiviación TCLP, los resultados se encuentra en el Anexo 5.

3.2 ANÁLISIS QUÍMICOS DEL LODO DE PERFORACIÓN

3.2.1 ANÁLISIS DE TOXICIDAD (TCLP) DEL LODO DE PERFORACIÓN

El reporte de análisis de los lodos de perforación en el sitio de confinamiento, de la Piscina No. 3, muestra MS01-11-05-15, permitió conocer la condición de toxicidad, especialmente de los metales pesados (Cr, Cd, V y Ba); y encontrar que, la concentración de estos elementos están por debajo de lo permisible (SLN, 2015), tal como indica la Tabla 3.2, monitoreo previo al confinamiento 2015. La evidencia fotográfica del muestreo realizado en el Bloque 61, campo Auca Sur, se encuentra en el Anexo 6.

Tabla 3.2 Concentración de metales pesados en el lodo de perforación.

Metales en lixiviación	Lodos de perforación Piscina 3, MS01-11-05-15	Límites permisibles TLCP EPA1311
Ba (mg/L)	0.25	<10
Cd (mg/L)	0.0046	<0.5
Cr (mg/L)	0.0031	<10
V (mg/L)	0.0019	<2

En este contexto, existe una opción favorable para la elaboración de bloques con el lodo de perforación debido a que la presencia de elementos tóxicos es mínima y esto viabiliza la incorporación al proceso, como otro agregado más en el mortero.

3.2.2 ANÁLISIS MINERALÓGICO DEL LODO DE PERFORACIÓN Y CONTENIDO DE ARCILLAS.

Debido a que el lodo de perforación, es un material muy fino con un tamaño de malla < 200 micras, y al contacto con el agua es muy plástico y difícil de maniobrar, se analizó por Difracción de rayos X, técnica llamada Difractograma D8 ADVANCE y el programa Diffrac plus (EVA y TOPAS) para cuantificación y semi cuantificación.

El ensayo fue realizado en el Laboratorio de Metalurgia Extractiva de la Escuela Politécnica Nacional, siguiendo el procedimiento indicado en el Anexo 10, el reporte de resultados se presenta en el Anexo 11 e indican que el porcentaje de arcilla no supera el valor indicado en la norma INEN 872, como se muestra en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Composición Mineralógica del Lodo de Perforación MS01-11-05-2015

Mineral	Formula	Contenido (%)
Cuarzo	SiO_2	30
Caolinita	$\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$	28
Grupo Plagioclasa	$(\text{Na,Ca})\text{Al}(\text{Si,Al})\text{Si}_2\text{O}_8$	10
Barita	BaSO_4	10
Calcita	CaCO_3	4
Muscovita	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$	6
Vermiculita	$(\text{Mg,Fe,Al})_6(\text{OH})_4(\text{Al,Si})_8\text{O}_{20} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	3
Cordierita	$\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$	1
Clinocloro	$(\text{Mg,Fe})_5\text{Al}(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	2

El lodo de perforación por su composición y propiedades no puede reemplazar en 100% a ningún material o agregado que compone el bloque, pero puede incluirse como un agregado adicional o sustituir parcialmente a un agregado en la elaboración del bloque.

La norma INEN 872 señala que cuando un agregado fino no cumple los requisitos de gradación puede ser aceptado siempre que el hormigón de la clase especificada, elaborado con el agregado fino en consideración, tenga sus propiedades relevantes o al menos iguales a las del hormigón elaborado. Así mismo especifica que las sustancias perjudiciales no deben exceder los límites especificados en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Límites permisibles de sustancias perjudiciales en el agregado fino para hormigón

SUSTANCIAS PERJUDICIALES	% MÁXIMO EN MASA	MÉTODO DE ENSAYO
Material más fino que el tamiz INEN 75 μm : a) Para hormigón sometido a abrasión b) Para cualquier otro hormigón	3 5	INEN 697
Terrones de arcilla y partículas desmenuzables	3	INEN 698
Partículas livianas (carbón y lignito) a) Cuando la apariencia superficial del hormigón es de importancia. b) Para cualquier otro hormigón	0,5 1,0	INEN 699
Cloruros como Cl a) Para hormigón simple b) Para hormigón armado c) Para hormigón preesforzado	1 0,4 0,1	INEN 865
Sulfatos, como SO_4	0,6	INEN 865
Partículas en suspensión después de 1 h de sedimentación	3	INEN 864

Fuente: INEN 872.

De la Tabla 3.4 se desprende que las arcillas se encuentran en el listado de sustancias perjudiciales en la elaboración del bloque, ya que puede alterar la consistencia de la mezcla y producir una expansión en el hormigón; por tal razón fue necesario determinar la cantidad de arcilla presente en el lodo de perforación antes de iniciar la elaboración del mortero de ensayo.

3.3 EL BLOQUE Y SUS AGREGADOS

El bloque es uno de los principales materiales de construcción, que, por su constitución, forma, peso y valor económico, es el material más demandado y utilizado para construir paredes, viviendas, cerramientos, entre otros etc. Según la norma INEN 638 (1993), el cemento, arena, ripio y agua, son los principales componentes. La resistencia, capacidad de absorción, humedad y sobre todo el uso que se le dé, depende de las propiedades individuales de los agregados y de la proporción de estos en la elaboración de la mezcla.

3.3.1 ENSAYOS FÍSICOS Y MECÁNICOS DE LOS AGREGADOS

Para obtener un bloque resistente y de duración prolongada, los agregados deben ser de calidad, esto dependerá exclusivamente del sitio de abastecimiento y de procesado de la arena y ripio. Para la presente investigación el material fue abastecido de las canteras de la ciudad de Pintag.

La norma INEN 639 (1993) presenta los ensayos de laboratorio a ejecutar para cada agregado, entre los cuales están: densidad, granulometría, peso específico, absorción, humedad y contenido orgánico, para la presente investigación los ensayos aplicados a los agregados utilizados para la elaboración de los morteros de pruebas fueron realizados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales de la EPN. Los resultados de los ensayos se muestran en el Anexo 7.

Las características físicas y mecánicas de los agregados tienen importancia en la trabajabilidad, consistencia, durabilidad y resistencia del concreto. El objetivo final es diseñar estructuras seguras, económicas y eficientes, las características de cada uno de los agregados se presentan a continuación:

3.3.1.1 CEMENTO

El cemento utilizado en la elaboración del mortero, correspondió a HOLCIM TIPO MS, que cumple la norma vigente INEN 2380 (2011), esto es cemento de moderada resistencia a los sulfatos, que según su composición y resistencia se clasifica como cemento portland producido por pulverización del Clinker, compuesto esencialmente de silicatos cálcicos hidráulicos y que usualmente contiene uno o más de los siguientes elementos: sulfato de calcio, hasta el 5% de piedra caliza y adiciones de procesos de la norma INEN 151 (2010). Las propiedades generales del cemento HOLCIM tipo MS, se ilustran en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5 Propiedades generales del cemento HOLCIM tipo MS

Propiedades	
Clase	Portland Clinker
Grado	Moderada resistencia a los sulfatos
Características Físicas y Mecánicas	
Finura	A
Densidad real	2,97 g/cm ³
Densidad suelta	1,03 g/cm ³
Densidad compactada	1,25 g/cm ³
Tiempo	Resistencia a la compresión (Mpa ¹) mínimo.
1 día	----
3 días	11
7 días	18
29 días	-----
Expansión en barra de mortero (mm)	
14 días, % máxima	0,20
Expansión por sulfatos (mm)	
6 meses, % máximo	0,10
1 año, % máximo	

FUENTE: Cemento Holcim

¹ Mpa = 10⁶, equivale al N/mm²

3.3.1.2 RIPIO

El agregado natural grueso, corresponde a un material procesado, obtenido de las formaciones rocosas compuestas por basalto, andesitas, cuarzo y cuarcitas (Moreno & Varela, 1985), ubicado en las canteras de la parroquia de Pintag, cantón Quito, provincia de Pichincha.

El tamaño máximo nominal del agregado grueso fue de 12,50 mm, y las características granulométricas y propiedades físicas del agregado grueso natural utilizado se muestran en las Tablas 3.6 y 3.7. El procedimiento de los ensayos se presenta en el Anexo 8 y el informe de los resultados de los ensayos del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales se encuentran en el Anexo 7.

Tabla 3.6 Propiedades granulométricas del agregado grueso²(ripio)

TAMIZ Nro.	TAMAÑO APERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
¾"	19,10	0,0	0,0	0,0	100,0
½"	12,50	43,6	0,9	0,9	99,1
3/8"	9,50	821,6	16,5	17,4	82,6
No.4	4,75	3345,0	67,2	84,6	15,4
No.8	2,36	530,5	10,7	95,3	4,7
< No. 8		234,6	4,7	100,0	0,0
	TOTAL	4975,3			

FUENTE: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales

La Tabla 3.6, muestra que el tamiz 4 retiene el mayor porcentaje de agregado grueso con un tamaño de 4.75 mm, tamaño aceptable para la elaboración de la mezcla de hormigón.

²Norma INEN 696 – ASTM C 136 – 06

Tabla 3.7 Propiedades físicas y mecánicas agregado grueso

Propiedades	Valor	Norma
Densidad aparente compactada (g/cm ³)	1,386	ASTM C29, INEN 858
Densidad aparente suelta (g/cm ³)	1,248	ASTM C29, INEN 858
Peso específico (g/cm ³)	2,278	ASTM C127, INEN 857
Peso específico S.S.S. ³ (g/cm ³) (ASTM C128, 2010)	2,377	ASTM C127, INEN 857
Peso específico aparente (g/cm ³)	2,530	ASTM C127, INEN 857
Absorción de agua (%)	4,38	ASTM C127, INEN 857
Humedad natural (%)	35,95	INEN 862, ASTM C 566 -13

FUENTE: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales

3.3.1.3 ARENA

El agregado natural fino, corresponde a un material procesado, ubicado en las canteras de la parroquia de Pintag, para determinar sus características fue necesario secarlo en un horno industrial, por 24 horas.

Tabla 3.8 Propiedades granulométricas del agregado fino⁴

TAMIZ Nro.	TAMAÑO APERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
3/8"	9,5	0,0	0,0	0,0	100,0
No. 4	4,750	46,8	8,2	8,2	91,8
No. 8	2,360	115,7	20,3	28,5	71,5
No. 16	1,180	116,5	20,5	49,0	51,0
No. 30	0,600	91,3	16,0	65,0	35,0
No. 50	0,300	78,5	13,8	78,8	21,2
No. 100	0,150	70,3	12,3	91,2	8,8
No. 200	0,075	28,5	5,0	96,2	3,8
No < 200		21,8	3,8	100,0	0,0
	TOTAL	569,4			

FUENTE: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales

³ S.S.S = *Superficie Saturada Seca*

⁴ Norma INEN 696 – ASTM C 136 - 06

La malla que más porcentaje de agregado retuvo fue la No. 16 con un 20,5% y un peso de 116,5 gramos, según lo indicado en la Tabla 3.8.

Tabla 3.9 Propiedades físicas y mecánicas agregado fino

Propiedades	Valor	Norma
Densidad aparente compactada (g/cm ³)	1,386	ASTM C29, INEN 858
Densidad aparente suelta (g/cm ³)	1,248	ASTM C29, INEN 858
Peso específico (g/cm ³)	2,472	ASTM C128 – 15
Peso específico S.S.S. (g/cm ³)	2,550	ASTM C128 – 15
Peso específico aparente (g/cm ³)	2,681	ASTM C128 – 15
Absorción (%)	3,15	ASTM C128 – 15
Humedad Natural (%)	35,95	INEN 862, ASTM C 566 -13

FUENTE: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales

3.3.1.4 CASCAJO

Otro de los agregados que componen los bloques, que se comercializan en el mercado nacional, pero que no es referido en la norma INEN 638, es el cascajo este material es utilizado por los elaboradores y comercializadores de bloques con tres propósitos fundamentales: (1) reducción de costos, (2) aliviar el peso del bloque y (3) ahorro de otros agregados como el ripio y la arena. Las características granulométricas, físicas y mecánicas de este agregado fueron determinadas siguiendo los procedimientos establecidos en la norma INEN 639 y los datos obtenidos se detallan en las tablas 3.10 y 3.11, el protocolo realizado se encuentra en el Anexo 8.

El tamiz que más porcentaje retuvo fue la No. 4 de un tamaño menor a 4,74 mm con un 52,2% de cascajo, según se muestra en la Tabla 3.10 Propiedades granulométricas del agregado grueso – cascajo.

Tabla 3.10 Propiedades granulométricas del agregado grueso-cascajo,⁵

TAMIZ Nro.	TAMAÑO APERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% ACUMULADO	% QUE PASA
1"	25,00	0,0	0,0	0,0	100,0
¾"	19,10	97,0	1,8	1,8	98,2
½"	12,50	456,6	9,2	11,0	89,0
3/8"	9,50	491,3	9,9	20,9	79,1
No. 4	4,75	1327,4	26,8	47,8	52,2
< No. 4		2584,2	52,2	100,0	0,0
	TOTAL	4946,2			

FUENTE: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales

Tabla 3.11 Propiedades físicas y mecánicas agregado grueso - cascajo

Propiedades		Norma
Densidad aparente compactada (g/cm ³)	0,753	ASTM C29, INEN 858
Densidad aparente suelta (g/cm ³)	0,657	ASTM C29, INEN 858
Peso específico (g/cm ³)	0,775	ASTM C128 – 15
Peso específico S.S.S. (g/cm ³)	1,176	ASTM C128 – 15
Peso específico aparente (g/cm ³)	1,294	ASTM C128 – 15
Absorción (%)	51,81	ASTM C128 – 15
Humedad natural (%)	57,64	INEN 862, ASTM C 566 -13

FUENTE: INEN 858, 862

⁵Norma INEN 696-ASTM C136-06

3.3.1.5 AGUA

El agua es otro de los componentes del bloque; según la norma INEN 638 está debe cumplir con determinadas normas de calidad: ser limpia y fresca hasta donde sea posible y no deberá contener residuos de aceites, ácidos, sulfatos de magnesio, sodio y calcio (llamados álcalis blandos) limo, materia orgánica u otras sustancias dañinas y estará asimismo exenta de arcilla, lodo y algas (Holcim Ecuador, 2015).

3.4 TIPOS DE BLOQUES Y SUS USOS

Para establecer el uso a dar a los bloques, se deben realizar ensayos de absorción, densidad, resistencia a la compresión y humedad, tal como lo establece la norma INEN 639, si los resultados no entran en esta clasificación el material de construcción no es apto para ser utilizado.

La norma INEN 638, establece las definiciones, la clasificación y las condiciones generales de uso del bloque hueco de hormigón La Tabla 3.12 muestra las clases de bloques de hormigón y sus usos.

Tabla 3.12 Clases de bloques de hormigón y sus usos

CLASE	USO
A	Paredes exteriores de carga, sin revestimiento
B	Paredes exteriores de carga, con revestimiento
	Paredes interiores de carga, con o sin revestimiento
C	Paredes divisorias exteriores, sin revestimiento
D	Paredes divisorias exteriores, con revestimiento
	Paredes divisorias interiores, con o sin revestimiento
E	Losas alivianadas de hormigón armado

FUENTE: INEN 638

Por otro lado, la norma INEN 643, establece la categoría de los bloques según la resistencia a la compresión como se indica en la Tabla 3.13.

Tabla 3.13 Tipo del bloque según la resistencia a la compresión

Tipo de bloque	Resistencia mínima a la compresión (en Mpa a los 28 días)
A	6
B	4
C	3
D	2.5
E	2

FUENTE: INEN 643

3.5 BLOQUE DE REFERENCIA (BR)

Previo a la elaboración de los bloques con material de desecho (lodo de perforación) fue necesario obtener un bloque referencia aquel que se comercializa a nivel nacional y mediante los ensayos de laboratorio determinar sus propiedades físicas y mecánicas, mismas que debería ser las mínimas a alcanzar en los bloques con lodo de perforación como enmienda. El bloque de referencia fue adquirido en la bloquera del Sr. Jorge Perea, un bloque de 15x20x40 cm de 28 días de edad. La Figura 3.3 muestra las dimensiones y estructura física del bloque referencia.

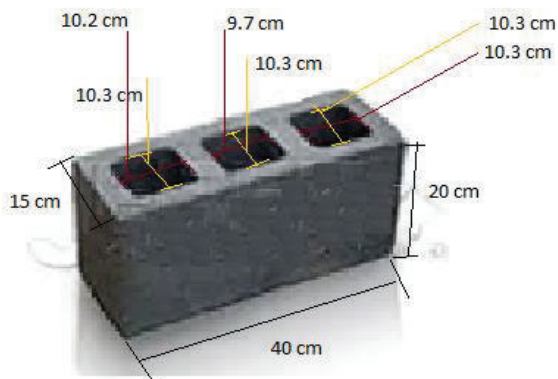


Figura 3.3 Dimensiones del bloque de referencia

3.5.1 DOSIFICACIÓN DE AGREGADOS

Las dosificaciones de los agregados que componen el bloque de referencia fueron proporcionadas mediante el conocimiento empírico del personal que labora en la bloquera mencionado anteriormente, puesto que la norma INEN, no establece las proporciones o porcentajes de los agregados que componen un bloque, pero si los componentes.

Las proporciones fueron establecidas en base a la capacidad de la mezcladora de los materiales, de 1000 libras (453,592 Kg) de capacidad. Las proporciones para 65 bloques producidos fueron:

- 1 cemento (saco)
- 3 carretillas de arena
- 2 carretillas de cascajo
- 1 carretilla de ripio,
- 10 litros de agua, hasta que la mezcla adquiera la humedad adecuado de acuerdo a la experiencia de la persona que elaboró los bloques.

La Figura 3.4 muestra la mezcla de los agregados en la mezcladora de 1000 libras de capacidad.



Figura 3.4 Mezcladora de agregados, marca s/n.

La Tabla 3.14 muestra la dosificación de agregados para la elaboración del bloque de referencia, tanto en kilogramos como en porcentajes. Una vez construidos los bloques fueron ensayados física y mecánicamente para determinar el tipo de uso en el sector de la construcción.

Tabla 3.14 Cantidad de agregados para la elaboración del bloque de referencia

Componentes	Kg	%
Cemento	50	8,86
Arena	252	44,68
Cascajo	168	29,79
Ripio	84	14,90
Agua	10	1,77
Total	564	100

FUENTE: Elaboradores de bloques (Pintag)

3.5.2 ENSAYOS FÍSICOS Y MECÁNICOS

Los ensayos físicos y mecánicos realizados a los bloques de referencia elaborados para fines de la presente investigación se presentan en la Tabla 3.15. El detalle de resultados emitidos por el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales se encuentra en el Anexo 9. La carga de rotura es la máxima tensión que un material puede soportar antes de que su sección se contraiga o se rompa.

Tabla 3.15: Ensayos físicos y mecánicos del bloque de referencia

Parámetros	Unidad	Valores
Absorción	%	12
Densidad	Kg/m ³	1730,4
Humedad	%	10,20
Compresión	Mpa	3,5
Carga rotura	Ton	12,01

FUENTE: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales.

3.6 BLOQUE PATRÓN

Una vez determinadas las cantidades y porcentajes de los componentes para la elaboración de los bloques de referencia, se planteó la necesidad de conocer las características físicas y mecánicas del bloque elaborado con los agregados establecidos en la norma INEN 638, estos son: cemento, arena, ripio y agua. A este bloque se le llamo bloque patrón.

3.6.1 DOSIFICACIÓN DE AGREGADOS

Para establecer las dosificaciones correctas y evitar el uso y la pérdida de material, la mezcla del bloque patrón se diseñó en laboratorio y la elaboración se la realizó en la bloquera, el total de la mezcla fue 169, 79 Kg, obteniéndose 11 bloques. La Tabla 3.16 muestra las dosificaciones utilizadas.

Tabla 3.16 Dosificación de agregados para la elaboración del bloque patrón según la norma INEN 638.

Componentes	Kg	%
Cemento	13,75	8,1
Arena	74,04	43,60
Ripio	61,19	36,03
Agua	20,81	12,25
Total	169,79	100

FUENTE: INEN 638

3.6.2 ENSAYOS FÍSICOS Y MECÁNICOS

Al lote de bloques elaborados según la norma INEN 638 se aplicó los ensayos requeridos en la norma INEN 639. La Tabla 3.17 muestra los resultados obtenidos de los parámetros determinados.

Tabla 3.17 Ensayo físicos y mecánicos del bloque patrón (BPA)

Parámetros	Unidad	Valores
Absorción	%	14,2
Densidad	Kg/m ³	1833,7
Humedad	%	38,2
Compresión	Mpa	6,7
Carga rotura	Ton	20,8

De los resultados obtenidos y comparados con la Tabla 3.15 se puede concluir que el bloque patrón (BPA) corresponde a la clase A; datos que se convirtieron en las guías, para la elaboración de los bloques con enmiendas de lodo de perforación, esperando alcanzar un promedio entre ambos bloques.

3.7 BLOQUES CON ENMIENDAS DE LODO DE PERFORACIÓN

3.7.1 ESTIMACIONES EN GABINETE, DE LAS DOSIFICACIONES DE AGREGADOS Y LODO DE PERFORACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE BLOQUES

Lo primero que se tomó en cuenta fue la cantidad de cemento utilizado, ya que este componente es el que da rigidez y es el enlace de los otros componentes formando un cuerpo monolítico (Aguilar, Muñoz, & Loyola, 2005). Si este no está en la cantidad suficiente el cuerpo no se compacta provocando fracturas o rompimientos.

Para la fabricación de bloques no existen métodos de diseño de mezclas establecido, por lo que se partió de conocimientos empíricos, para posteriormente implementar los técnicos, como el diseño de hormigones del American Concrete Institute.

El Comité 211.1 “Standard Practice for Selecting Proportions for Normal Heavyweight, and Mass Concrete”, establece un diseño de hormigones de resistencias desde 140 Kg/cm² a 420 Kg/cm², sin embargo y para este estudio se realizó una estimación para una resistencia de 80 Kg/cm² con bases en mencionado

método. Esta estimación se realizó mediante el análisis de incremento de resistencia y variación de la relación a/c establecidas por este método la cual se muestra en la Tabla 3.18.

Tabla 3.18 Análisis de incremento de resistencia y variación de relación a/c (agua/cemento).

RELACIÓN a/c (Litros/kg de cemento)	LITROS DE AGUA por cada saco de 50 kg de cemento.	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROBABLE a los 28 días (kg/cm ²)	
		Hormigón sin Inclusión de aire	Hormigón con Inclusión de Aire
0.353	17.5	425	325
0.455	22.5	350	280
0.530	26.5	280	210
0.623	31.0	210	180
0.705	35.5	180	140
0.800	40.0	140	110

FUENTE: (Luna. G, 2014)

Tabla 3.19 Incrementos de resistencia en relación a/c.

a/c	Variación de Resistencia
0.45	285
0.35	210
0.27	140
0.18	70
0.10	40

A partir de los 140 Kg/cm² se van incrementando 40, 70 140, 210 y 285 Kg/cm² para cada una de las resistencias de un hormigón sin inclusión de aire, obteniendo así desde 180 a 425 Kg/cm² que son los que se observa en la tabla 3.19. Incrementos de Resistencia en relación a/c., a cada uno de estos incrementos de resistencia, corresponde la variación de la relación a/c mostrada, con estos datos se ha generado la gráfica siguiente:

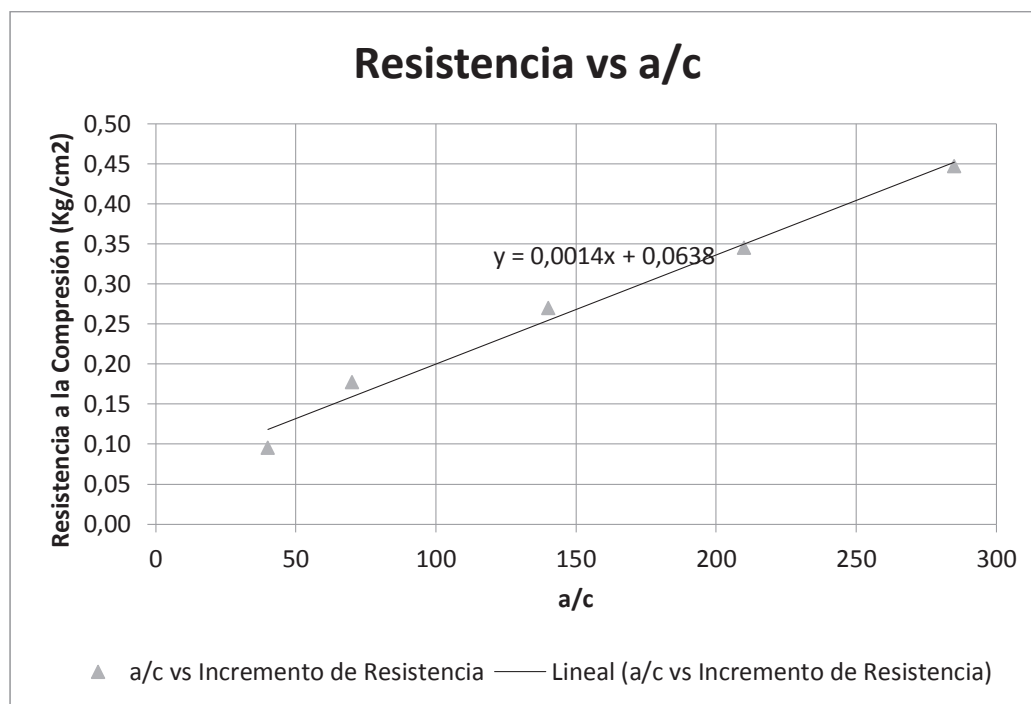


Figura 3.5 Resistencia del hormigón vs incremento de resistencia

De la Figura 3.5 y con la ayuda de una línea de tendencia se puede obtener la ecuación que describe su comportamiento, generando así los datos de la Tabla 3.20 Resistencias inferiores a los 140 Kg/cm².

Tabla 3.20 Resistencias inferiores a los 140 Kg/cm².

ECUACIÓN	a/c	Variación de Resistencia
0.46	0.45	285
0.36	0.35	210
0.26	0.27	140
0.16	0.18	70
0.12	0.10	40

Por lo tanto, después de este análisis se obtiene que para una resistencia de 80 Kg/cm² corresponde una relación a/c=0.948 y 47.4 litros de agua por cada saco de cemento, con estos datos se puede diseñar la mezcla, es importante recalcar que este método ofrece una mezcla base, es decir que se deberán ajustar las cantidades de los materiales mediante mezclas de prueba realizadas en laboratorio.

Tabla 3.21 Resistencia a 80Kg/cm²

RELACIÓN a/c (Litros/kg de cemento)	LITROS DE AGUA por cada saco de 50 kg de cemento.	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROBABLE a los 28 días (kg/cm ²)
		Hormigón sin inclusión de aire
0.353	17.5	425
0.455	22.5	350
0.530	26.5	280
0.623	31.0	210
0.705	35.5	180
0.800	40.0	140
0.920	46.0	100
0.927	46.3	95
0.934	46.7	90
0.941	47.0	85
0.948	47.4	80
0.955	47.7	75
0.962	48.1	70

Para realizar el diseño de mezclas mediante el método ACI se necesita de información inicial, misma que está constituida por datos de las propiedades físico-mecánicas del agregado grueso, fino y cemento, indicados en la Tabla 3.22 Datos de los componentes ripio, arena y cemento para la mezcla de hormigón.

Tabla 3.22 Datos de los componentes ripio, arena y cemento para la mezcla de hormigón.

DESCRIPCIÓN	Arena	A. Grueso	Cemento
MF:	3.2		
Densidad Aparente Compactada (Kg/m ³):	1386	1386	
Densidad Aparente Suelta (Kg/m ³):	1248	1248	1030
Densidad Real / D _{ss} (Kg/m ³):	2550	2377	2970
% Absorción:	3.15	4.38	
% Humedad:	0	0	
TM(pulg.):		3/4	
TM (mm):		19.05	

Posteriormente se elige:

Paso 1: El asentamiento de diseño, el cual indica la trabajabilidad de la mezcla

Paso 2: Se define el Tamaño máximo de agregado grueso, en este caso como se dispone de un agregado con tamaño máximo de 1 pulgada se establece este valor en el programa para el diseño.

Paso 3: Se obtiene la cantidad de agua de mezclado en función del tamaño máximo del agregado, además del contenido de aire que se estima va a tener la mezcla, esto con la ayuda de las tablas propias del método empírico.

Paso 4: Se determina la resistencia de diseño y la relación a/c correspondiente.

Paso 5: Se define el volumen aparente de agregado grueso por unidad de volumen de hormigón en función del módulo de finura del agregado fino

Finalmente con la ayuda de las propiedades de los componentes se definen las proporciones de la mezcla para una resistencia de 80 Kg/cm².

Este constituye un resumen del método empírico utilizado ya que la mezcla fue diseñada con ayuda del personal técnico del Laboratorio de Ensayo de Materiales, Mecánica de Suelos y Rocas de la EPN y se obtuvieron las siguientes cantidades para el diseño de la mezcla base y sin adiciones.

Tabla 3.23 Cantidades de componentes para elaborar bloques con enmiendas de lodo de perforación.

Materiales	P. Ensayo (Kg)
Agua	1,372
Cemento	0,906
A. Grueso	3,761
Arena	4,608
Cascajo	0,272
Lodo	0,272

Se justifica la ligera variación de la dosificación con ajustes en las mezclas de prueba en laboratorio.

La Tabla 3.23, muestra la cantidad de cemento 0,906 Kg, arena 4,608 Kg el ripio 3,761 Kg y el agua 1,372 Kg; adicionalmente la cantidad de cascajo y lodo de perforación se calculó en base a la cantidad de cemento utilizado, obteniendo el 0,272 kg de cascajo y 0,272 Kg de lodo de perforación.

Previo a la elaboración del bloque con enmiendas de lodo de perforación se realizó un ensayo a nivel de laboratorio, en Cilindros de Metal, esto con los siguientes propósitos:

1. Conocer luego del fraguado y ruptura de los cilindros, la resistencia del hormigón. Los datos obtenidos fueron: 31,3 Kg/cm², con una carga de rotura de 2,459 t, en la edad de 3 días.
2. Evitar el desperdicio del lodo de perforación porque se contaba con muy poca cantidad de material para la construcción de los bloques.

Para interpretar el resultado, se hizo necesario hacer una relación entre los días del curado y la resistencia del hormigón, debido a que la resistencia estimada para esta investigación fue de 80 Kg/cm² a la edad de 28 días., el detalle del ensayo se indica en el Anexo 13.

Tabla 3.24 Influencia del curado en la resistencia a la compresión del bloque con enmiendas de lodo de perforación.

INFLUENCIA DE CURADO		
DIAS	RESISTENCIA	7 DIAS DE CURADO
0	0	0
3	20	28
7	40	72
14	60	85
28	80	90
56	110	95

FUENTE: (Luna. G, 2014)

La Tabla 3.24 muestra la influencia del curado en la resistencia a la compresión del bloque con enmiendas de lodo de perforación, e indica que a los 3 días de curado el hormigón deberá dar una resistencia de 20 Kg/cm², para que el hormigón pueda ser utilizado.

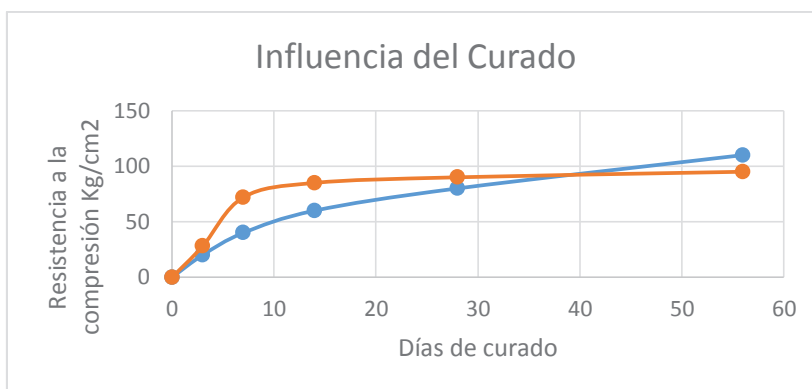


Figura 3.6 Relación edad del hormigón vs resistencia a la compresión.

En la Figura 3.6 se indica el incremento de la resistencia a la compresión vs el avance de los días; es así que la resistencia obtenida en el ensayo de cilindros superó el rango establecido en la Tabla 3.24. Con los datos obtenidos se realizaron 2 dosificaciones el 60% y 80% con el lodo de perforación. Se debe indicar que en el 30% - 30%, experimentado en laboratorio, se incluyó el cascajo, sin embargo para los otros porcentajes se procedió a elaborar el bloque solo con cemento, arena, ripio, lodo de perforación y agua. La Tabla 3.25, muestra las cantidades y porcentajes de componentes para la elaboración de bloques, el procedimiento se encuentra en el Anexo 14, se calculó un total de mezcla de 169.79 Kg, obteniendo 65 bloques.

Tabla 3.25 Cantidades y porcentajes de componentes para la elaboración de bloques

CANTIDADES Y PORCENTAJES DE LOS COMPONENTES (Kg & %)							
COMPONENTE	AGUA	CEMENTO	ARENA	RIPIO	LODO	CASCAJO	TOTAL
Cascajo - Lodo 30%-30%	20,81 Kg (12,25 %)	13,75 Kg (8,09 %)	69,91 Kg (57,06%)	57,06 Kg (33,60%)	4,12 Kg (2,42%)	4,12 Kg (2,42%)	169,79 Kg 100%
Lodo al 60%	20,81 Kg (12,25 %)	13,75 Kg (8,09 %)	69,91 Kg (57,06%)	57,06 Kg (33,60%)	8,25 Kg (4,85%)	0 Kg	169,79 Kg 100%
Lodo al 80%	20,81 Kg (12,25 %)	13,75 Kg (8,09 %)	68,54 Kg (39,56%)	55,69 Kg (32,79%)	11 Kg (6,47%)	0 Kg	169,79 Kg 100%

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales

Los bloques con enmiendas de lodo de perforación fueron construidos en la bloquera, con las dosificaciones establecidas anteriormente, por cada variable, a continuación los pasos:

1. Clasificado y secado de ingredientes (cemento, agregado fino, grueso y lodo de perforación).
2. Transporte de los ingredientes del laboratorio a la bloquera.
3. Limpieza de los equipos y materiales, para evitar alteración de los resultados.
4. Colocar los ingredientes en la mezcladora, como se detalla a continuación:
 - Agregado Fino (arena)
 - Agregado Grueso (ripio)
 - Cemento
 - Lodo de perforación/cascajo
 - Agua
5. Mezclar hasta obtener una consistencia adecuada.
6. Ubicar la mezcla en los moldes.
7. Ingresan los bloques a la prensa, 1 minuto
8. Sacar los moldes con los bloques y se depositan en un sitio de almacenamiento para secar.
10. Retiro y depósito de los bloques en un sitio de almacenamiento para el secado.
9. Trasladar los bloques al laboratorio para los curarlos y posteriormente realizar los ensayos respectivos.

3.7.2 ENSAYOS DE CALIDAD DE LOS BLOQUES OBTENIDOS

Los ensayos de resistencia a la compresión indicaran la calidad de los bloques con enmiendas de lodo de perforación; para esto se utilizó una prensa marca CMH120, con una capacidad de carga máxima de 120 ton. Se obtuvo el promedio de 11 bloques por cada tipo de mezcla, los cuales fueron ensayados únicamente a los 28 días, ya que es el tiempo máximo de fraguado. La absorción y el contenido de humedad, se realizaron para cada tipo de bloques, de acuerdo a lo señalado en las

normas INEN 638, 639, 643, 2619, el reporte de resultados se encuentra en el Anexo 15.

Tabla 3.26 Ensayos realizados al bloque con enmiendas de lodo de perforación.

ENSAYOS	BPA	B 30%	B 60%	B 80%
ABSORCIÓN (%)	14,2	11,3	11,9	10,9
DENSIDAD (Kg/m ³)	1833,7	1908,6	1829,6	1891,8
COMPRESIÓN (Mpa)	6,7	5,4	3,6	2,5
HUMEDAD (%)	38,2	37,1	37,9	37,0

El Tabla 3.26 Ensayo realizados al bloque con enmiendas de lodo de perforación, indica los ensayos realizados al bloque patrón (BPA), bloque al 30% de lodo de perforación, bloque al 60% y bloque al 80%, posteriormente el lote obtenido fue almacenado a las condiciones ambientales normales hasta la realización de la prueba de toxicidad.

3.7.3 PRUEBAS DE LIXIVIACIÓN, TCLP DE LOS BLOQUES CON ENMIENDA DE LODO.

Este ensayo se utiliza para caracterizar a un residuo como peligroso, en este método de ensayo, el material se tritura para obtener partículas inferiores a 9,5 mm. (Michael , Philip , Jeffrey , & Enviroment Resources Mangemente, 2012).

El ensayo se aplicó a una pequeña muestra del bloque con el 80% de enmiendas de lodo, el procedimiento de ensayo de lixiviación TCLP se encuentra en el Anexo 16. Además, se puso énfasis en el análisis de los metales pesados arsénico, bario, vanadio y el procedimiento se lo hizo siguiendo la norma EPA 1311. El material se mezcla con el líquido de extracción de ácido acético débil, con una relación en peso líquido de 20:1 y se agita en un extractor rotativo durante 18 horas a 30 rpm y 22 °C. Después de 18 horas de agitación, la muestra se filtra a través de un filtro de fibra de vidrio de 0,6 – 0,8 micras y se denomina al filtrado como extracto TLCP. Este

contexto se analiza en busca de una amplia variedad de constituyentes de residuos peligrosos, entre ellos compuestos orgánicos volátiles y semi volátiles, metales y plaguicidas. Para el presente trabajo, los elementos peligrosos que se necesitan analizar, en el material de bloque, corresponden a elementos son lo establecidos en la Tabla 3.27 Elementos para el ensayo de toxicidad TCLP del bloque al 80% de lodo de perforación.

Tabla 3.27 Elementos para el ensayo de toxicidad TCLP del bloque al 80% de lodo de perforación.

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADO
ARSÉNICO (As)	mg/L	0.0014
BARIO (Ba)	mg/L	<0.2
VANADIO (V)	mg/L	<0.83

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADO DEL ANALISIS DE TOXICIDAD TCLP DEL LODO

Del análisis de toxicidad (TCLP), realizado a la muestra inicial del lodo de perforación de acuerdo al protocolo EPA 1311, se observó en la Tabla 4.1 Reporte de resultados de los ensayos de toxicidad TCLP al lodo de perforación, que los valores de pH, conductividad, metales pesados, TPHS y HAPs, no superaron el límite máximo permisible de la Tabla 7b del RAOHE.

Tabla 4.1 Reporte de resultados de los ensayos de toxicidad (TCLP) del lodo de perforación.

Elementos	Piscina 3, MS01- 11-05-15	L.M.P ⁶ RAHOE 1215.	Método Adaptado de Referencia EPA
Parámetros en Extracción Acuosa			
pH	9.0	4<pH>12	EPA 9045 D
Conductividad uS/cm	2720	<8000	EPA 9050 A
Metales en lixiviado (TCLP EPA 1311)			
Bario, mg/L	0.25	< 10	EPA 6020 A
Cadmio, mg/L	0.0046	< 0.5	EPA 6020 A
Cromo, mg/L	0.0031	< 10	EPA 6020 A
Vanadio, mg/L	0.0019	< 2	EPA 6020 A
Hidrocarburos Totales de Petróleo en lixiviado (TCLP EPA 1311)			
HAPS (C8-C40) mg/L	<0.3	<50	EPA 8015 D
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos en lixiviado (TCLP 1311)			
Benzo(a)pireno, mg/L	<0.00005	<0.005	EPA 8270 D
Benzo(b)fluoranteno, mg/L	<0.00005	<0.005	EPA 8270 D
Benzo(g,h,i)perileno, mg/L	<0.00005	<0.005	EPA 8270 D
Benzo(ki)perileno, mg/L	<0.00005	<0.005	EPA 8270 D
Fluoranteno, mg/L	<0.00005	<0.005	EPA 8270 D

⁶ L.M.P: Límite Máximo Permisible

4.2 ANÁLISIS MINERALÓGICO Y CONTENIDO DE ARCILLA.

Los resultados de la composición del lodo de perforación indica que del 100% de la composición del material, el 94 % pertenece al Cuarzo, Caolinita, Grupo Plagioclasa, Barita, Calcita, Muscovita, Vermiculita, Cordierita, Clinocloro y el 6% restante no pudo ser identificado ya que el límite de detección del equipo empleado es del 1% para compuestos con cristalinización definida; y la muestra presento material amorfo que no pudo ser cuantificado por dicha técnica.

Dentro de los componentes, los que presentan arcilla en su estructura son: Grupo Plagioclasa, Muscovita, Vermiculita y Cordierita con un total del 20%, lo que nos indica que la muestra es apta para ser utilizada como material de construcción ya que no supera el porcentaje de contenido en masa de arcilla, establecido en la norma NTE INEN 872; los otros componentes tales como el cuarzo (30%) que es un material duro y resistente compuesto de sílice el cual es utilizado en múltiples aplicaciones en el campo de la construcción. Además, de la caolinita o caolín (28%), feldespato alcalino que es utilizado en el concreto para mejorar la durabilidad, la porosidad y la adhesión entre el cemento, la arena y la grava, etc.; concentran el mayor porcentaje del lodo de perforación con un 58%; el 16% restante se concentra en elementos menores y que no afectan la estabilidad del experimento, tal como lo muestra la Figura 4.1 Porcentaje de composición mineralógica del lodo de perforación.

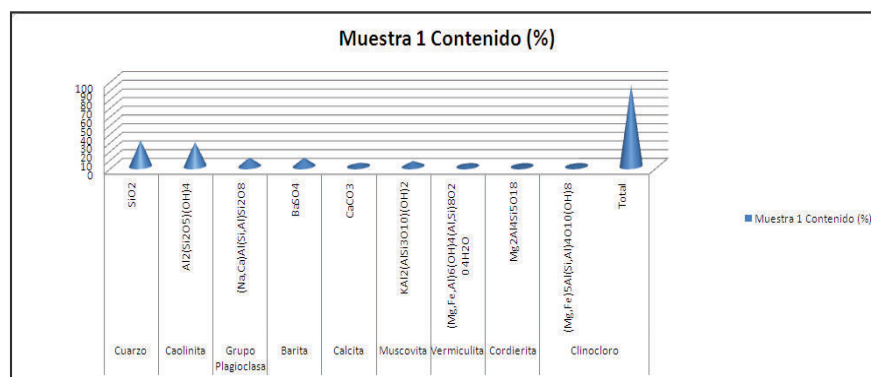


Figura 4.1 Porcentajes de composición mineralógica del lodo de perforación.

4.3 BLOQUE DE REFERENCIA

4.3.1 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS FÍSICOS Y MECÁNICOS

Los resultados de los ensayos realizados al bloque de referencia lo categorizó como tipo C, que de acuerdo a la norma INEN 638 será utilizado para paredes divisorias exteriores sin revestimiento. La resistencia a la compresión del bloque fue afectada por la presencia del cascajo con un 29.79%, agregado utilizado para alivianar el peso del bloque. La Tabla 4.2 Resultados de ensayos físicos y mecánicos al bloque de referencia muestra los datos de absorción, densidad, humedad y resistencia a la compresión.

Tabla 4.2 Resultados de los ensayos físicos y mecánicos al bloque de referencia a los 28 días de edad.

Resultado de ensayos físicos y mecánicos al bloque de referencia, edad 28 días	
Parámetros	Valor
Absorción	12 %
Densidad	1730.4 Kg/m ³
Humedad	10.34 %
Compresión	3.5 Mpa
Tipo de Bloque	C

4.4 BLOQUE PATRÓN

4.4.1 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS FÍSICOS Y MECÁNICOS

Los ensayos físicos y mecánicos aplicados al bloque patrón elaborado bajo la norma INEN 639, a los 28 días de edad y que se muestran en la Tabla 4.3, se puede

concluir que, el bloque patrón corresponde a la clase A según la norma INEN 638, debido a que la resistencia a la compresión es 6,7 Mpa. Este bloque fue realizado solo con los agregados indicados en la norma INEN 639, estos es: cemento, arena, ripio y agua.

Tabla 4.3 Resultados de parámetros físicos y mecánicos del bloque patrón a los 28 días de edad.

Bloque patrón, edad 28 días.	
Parámetros	Valor
Humedad	38.2 %
Absorción	14.2 %
Densidad	1833.7 Kg/m ³
Compresión	6,7 Mpa
Tipo	A

4.5 BLOQUES CON ENMIENDAS DE LODOS DE PERFORACIÓN

4.5.1 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS FÍSICOS Y MECÁNICOS

Se realizaron los ensayos de absorción, densidad, humedad y resistencia, a la edad de 28 días, La Tabla 4.4 Resultados de ensayos a los bloques con enmiendas de lodo de perforación, indica que el bloque al 80% de lodo de perforación obtuvo la más baja resistencia y se ubicó como tipo D, para uso en paredes divisorias interiores con o sin revestimiento, y el bloque al 30% – 30% de cascajo y lodo de perforación tipo B, para paredes interiores de carga con o sin revestimiento.

La mejor opción fue el bloque al 60% de lodo de perforación bloque clase C, con una resistencia a la compresión de 3,6 Mpa y absorción 11,9%, ya que éste tiene similares valores de resistencia a la compresión que los del bloque de referencia y los del bloque patrón.

Tabla 4.4 Resultados de ensayos a los bloques con enmiendas de lodo de perforación.

ENSAYOS	BR	BPA	B 30%	B 60%	B 80%
ABSORCIÓN (%)	12,0	14,2	11,3	11,9	10,9
DENSIDAD (Kg/m ³)	1730,4	1833,7	1908,6	1829,6	1891,8
COMPRESIÓN (Mpa)	3,5	6,7	5,4	3,6	2,5
HUMEDAD (%)	36,6	38,2	37,1	37,9	37,0
CLASE DE BLOQUE	C	A	B	C	D

La Figura 4.2 presenta la resistencia a la compresión del bloque patrón y los bloques con enmiendas de lodo de perforación al 30, 60 y 80%, se puede apreciar que la resistencia disminuye conforme se incrementa el porcentaje de lodo de perforación en el mortero; el bloque B8 obtuvo una compresión de 2,5 Mpa, la más baja, cuando el porcentaje del lodo utilizado fue de 80%. Según este parámetro la norma INEN 643, categoriza a los bloques B30, B60 Y B 80 como tipo B, C y D respectivamente; siendo el de menor calidad el que contiene más lodo de perforación.

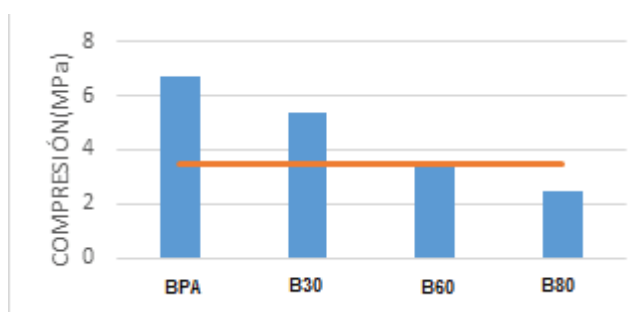


Figura 4.2 Resistencia a la compresión del bloque patrón (BPA) y bloques con enmiendas de lodo de perforación al 30, 60 y 80%.

La Figura 4.3 presenta la resistencia a la compresión del bloque patrón (BPA), bloque de referencia y los bloques con enmiendas de lodo al 30, 60 y 80%. , se puede observar que la absorción se mantendrá constante entre un rango de 10 a 14 %, siempre siendo la máxima en el BPA cercana al 15%, porque no tiene lodo de

perforación, los demás bloques se encuentran bajo norma INEN 642, esto es que la absorción no supere el 15%, si este rango es superado el material no se puede utilizar para la construcción. En este aspecto la mejor opción resulto ser el bloque que contiene el 80% de lodo de perforación con un 10.9% de absorción.

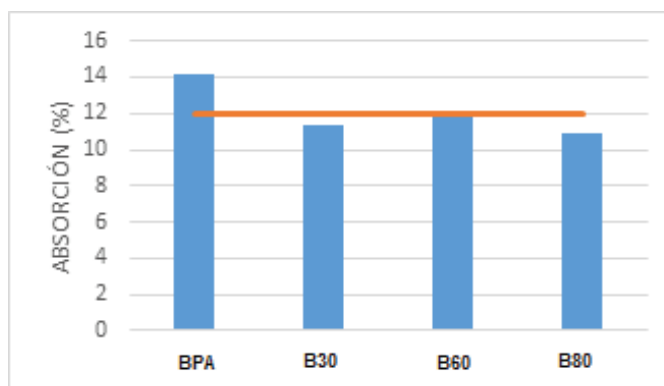


Figura 4.3 Porcentaje de absorción del bloque patrón (BPA) y bloques con enmiendas de lodo al 30, 60 y 80%.

La Figura 4.4 presenta la densidad del bloque patrón y bloques con enmiendas de lodo de perforación al 30, 60 y 80%, la densidad máxima es de 1908,6 Kg/m³ que corresponde al bloque clase B y la mínima es de 1730,4 Kg/m³ que corresponde al bloque C, según la norma INEN 638 la clasificación de acuerdo a la densidad de los bloques, recaen en el rango de 1680 a 2000 (Kg/m³) tipo liviano, por tanto todos los bloques con enmiendas de lodo de perforación cumplen este parámetro.

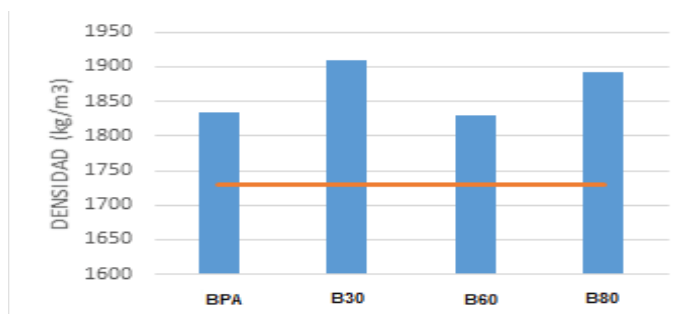


Figura 4.4 Densidad del bloque patrón (BPA) y con enmiendas de lodo del 30, 60 y 80%.

El contenido de humedad resultante para los bloques ensayados está referido al porcentaje de absorción máxima de cada clase de bloque. A diferencia de las pruebas anteriores, esta cualidad de los bloques depende directamente con las condiciones de almacenamiento de los bloques. Es así que la humedad en laboratorio del BR es de 36,6, del BPA 38,2, del B30 es 37,1 del B60 es 37,9 y del B80 37,0.

4.5.2 ENSAYO DE TOXICIDAD (TCLP) DEL BLOQUE ELABORADO CON EL LODO DE PERFORACIÓN

El análisis TCLP, muestra que el bloque de lodo de perforación al 80%, retiene una concentración en mg/l de metales pesados, mínima por lo que no presenta amenazas para la salud de las personas y el medio ambiente.

Los resultados obtenidos de la prueba TCLP realizado al bloque elaborado con el 80% de lodo de perforación, se muestra en la Tabla 4.5 concentración de arsénico, bario y vanadio, e indica que las concentraciones son muy inferiores a los límites permisibles dictados por organismos internacionales como la EPA y en el CFR (Code of Federal Regulations), de los Estados Unidos de América. El reporte de resultados de los ensayos realizados en el Laboratorio de Química Ambiental de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Central del Ecuador se encuentra en el Anexo 17.

Tabla 4.5 Concentración de arsénico, bario y vanadio en el lixiviado de la prueba de toxicidad TCLP del bloque con el 80% de lodo de perforación.

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADO	LIMITE PERMISIBLE NORMA EPA 1311
ARSÉNICO (As)	mg/L	0.0014	5.0
BARIO (Ba)	mg/L	<0.2	100.0
VANADIO (V)	mg/L	<0.83	1.0

4.6 DETERMINACIÓN DE LA VIABILIDAD DEL PROYECTO

4.6.1 ANÁLISIS COSTO BENEFICIO

Como parte de esta investigación se realizó un análisis costo/ beneficio del proyecto, el cual tiene como prioridad la reutilización del lodo de perforación como un agregado, para la elaboración de bloques.

Dado que el lodo de perforación tiene su origen en la explotación petrolera, misma que produce grandes cantidades de este desecho, el análisis se enfocara en la implementación de un sitio para la elaboración de los bloques en el oriente ecuatoriano, específicamente en la ciudad del Coca.

Tomando en cuenta este detalle, se realizaron las consultas pertinentes de costos del terreno, para la implantación de sitio de acopio, secado del lodo de perforación, almacenamiento de agregados, instalación de equipos como la mezcladora, la prensa, los moldes, área de elaboración y acopio del bloque elaborado. La Tabla 4.6 muestra los costos del proyecto de bloquera a implementar.

Tabla 4.6 Costo del proyecto de bloquera

COSTO	USD
COSTO DEL ESTUDIO	4000
COMPRA DE TERRENO	5000
MEZCLADORA	5000
BLOQUERA	10000
CONSTRUCCION DE CELDA	700
CONTRUCCION DE OFICINA	1500
GEOMEMBRANA	1250
TOTAL	23450

Los costos de los agregados y materiales que actualmente se encuentran en el mercado, de acuerdo al propietario de la bloquera, donde se elaboraron los bloques, son los mostrados en la Tabla 4.7.

La adquisición del lodo de perforación es un desecho que requerirá únicamente de costos de transporte hacia el sitio de acopio, una ventaja para este emprendimiento es que las empresas de servicios petroleros estarían dispuestas a pagar un costo por m³, un valor aproximado de 100 USD, para que terceros se puedan llevar el lodo de perforación y así evitar el proceso de confinamiento.

Tabla 4.7 Costos de operación, materiales y transporte

COSTO MENSUAL DE OPERACIÓN (USD)			
DETALLE	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
PERSONAL	2	375	750
ARENA	2	120	240
RIPIO	2	110	220
CEMENTO	10	8,5	85
AGUA	1	10	10
TRANSPORTE DEL LODO	1	200	200
TOTAL			1505

La cantidad máxima va directamente relacionada con la demanda del bloque, que por obvias razones al inicio del proyecto no sería muy demandado, produciendo un aproximado de 500 bloques/semanales con la dosificación de 60% de lodo de perforación.

Dentro de los beneficios que se espera obtener, está la venta de los bloques a un valor de 38 usd/u. Y por una cantidad de 500 bloques, el cual nos da el valor por tonelada de \$ 190.00, este valor al igual que los costos sufre un incremento por la inflación mensual.

Además, de reducir el costo del transporte ya que la idea es transportar directamente sin intermediarios.

Analizando el rendimiento del proyecto tomando en cuenta los factores antes detallados se obtiene un rendimiento del 2,82%, detallado en la Tabla 4.8 que muestra el cálculo de rendimiento del proyecto, estableciendo que para las condiciones económicas actuales es un rendimiento aceptable, lo que indica que se pueda invertir en el proyecto.

Tabla 4.8 Calculo de rendimiento

$r = rf + \beta * (rm - rf) + \text{riesgo país} + \text{inflación.}$
rf= tasa de libre riesgo (3%)
β = medidas de riesgo sistemático (0,95%)
rm= tasa de rentabilidad de mercado
Riesgo país = (6,8%)
Inflación =(2,5%)
$r = 3 + 0,95 * (0,18 - 3) + RP + 2,5$
$r = 3 + 0,95 * (-2,82) + 2,5$
$r = 2,82\%$

Cabe aclarar que al realizar el cálculo del rendimiento no se tomó en cuenta el factor riesgo país ya que no se va a solicitar dinero al extranjero para la ejecución de este proyecto.

Al producir los bloques con ripio y arena, los costos son mayores a los beneficios, esto se debe a los valores de los materiales tal como lo indica La Tabla 4.9 análisis costo y beneficio del agregado grueso (chispa #7 y 8), por lo que al elaborar los bloques con el lodo de perforación, se reduciría considerablemente los costos, así mismo estar a la expectativa que la inflación se mantenga en un valor fijo por algunos meses, lo que significaría que los precios se mantengan estables y poder generar una utilidad rentable.

Tabla 4.9 Tabla análisis costo beneficio del agregado grueso, para la elaboración del bloque.

PERIODO FISCAL 2017 AGREGADO GRUESO (#8 Y #7)												
Proyecto Bloques Chispa #8	ene-17	feb-17	mar-17	abr-17	may-17	jun-17	ago-17	sep-17	oct-17	nov-17	dic-17	TOTAL
Costo	159,31	163,45	167,24	170,22	172,99	175,75	181,06	183,4	185,81	188,25	190,71	2.116,73
Beneficio	143,55	142,29	150,7	153,38	155,88	158,36	163,15	165,3	167,44	169,63	171,85	1.907,38
Total Neto	15,76	16,17	16,54	16,84	17,11	17,38	17,91	18,14	18,38	18,62	18,86	209,35
Proyecto Bloques Chispa #7	ene-17	feb-17	mar-17	abr-17	may-17	jun-17	ago-17	sep-17	oct-17	nov-17	dic-17	TOTAL
Costo	159,93	164,09	167,89	170,88	173,67	176,43	181,76	184,1	186,54	188,98	191,45	2.124,95
Beneficio	150,36	154,27	157,85	160,65	163,27	165,87	170,88	173,1	175,37	177,67	180	1.997,78
Total Neto	9,57	9,82	10,05	10,23	10,39	10,56	10,88	11,02	11,16	11,31	11,46	127,17

FUENTE: Estadísticas Banco Central del Ecuador.

Con estos aspectos, sin duda la utilización del lodo de perforación es una alternativa viable y barata para el mercado de la construcción, además de que no afecta a la salud de las personas y al medio ambiente.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Debido a que el lodo de perforación por su origen y características no podría reemplazar totalmente a ninguno de los materiales normalmente utilizados, en la elaboración de bloques, se le consideró como un agregado más junto a la arena, ripio, cemento y agua.
- Del lote de bloques elaborados en base a las proporciones de material planteados, se aprecia, que todos cumplieron la norma INEN 643, los bloques con el 30% de lodo de perforación presentaron mejor resistencia a la compresión y absorción, mientras que los bloques con el 80% de lodo de perforación presentaron menor resistencia a la compresión y menor absorción.
- Los porcentajes de prueba de los bloques ensayados, se seleccionaron mediante ensayos de laboratorio, utilizando previamente conocimiento empíricos, y posteriormente tablas ACI, metodología para cálculo de hormigones, resultando una mezcla modelo del 30%, y en base a esta se experimentó con el 60 y 80%, estableciéndose la relación que: a más lodo menor resistencia a la compresión y a menor cantidad de lodo mayor resistencia a la compresión
- Previo a la utilización el lodo de perforación, este debió ser sometido a ensayos químicos como el TCLP para determinar el grado de toxicidad y el contenido de arcilla, debido a que altas concentraciones interfieren negativamente en consistencia del hormigón. Los resultados fueron positivos

ya que las concentraciones de arcilla no mostraron ser significativas, lo que evito tener que utilizar aditivos para estabilizar el lodo en el mortero.

- La cantidad de lodo de perforación para la experimentación en esta investigación, fue mínima debido a las estrictas normas de seguridad de la EP PETROAMAZONAS, distancia a las celdas de disposición final, las condiciones climáticas rigurosas en la región amazónica y desventajas logísticas y económicas a la hora de realizar el proceso de muestreo.
- Inexistencia de lineamientos técnicos específicos en la normativa ambiental nacional, referente a las características de los sitios destinados para las celdas de confinamiento; (ubicación, dimensiones, profundidad, sistemas de tratamiento de lixiviados); que regulen, controlen y prevengan la contaminación, degradación de los ecosistemas, y la pérdida de biodiversidad en la amazonia ecuatoriana.
- El lodo de perforación es una opción viable para la elaboración del bloque, debido a que reducirá los costos, por la disminución de otros agregados como la arena y el ripio que son los de mayor valor en el mercado.
- La norma técnica INEN, no establece los porcentajes de los materiales y agregados para la elaboración de un bloque, lo que permitió realizar una dosificación ejemplo para las futuras investigaciones.

5.2 RECOMENDACIONES

- El lodo de perforación antes de ser usado debe ser secado y pulverizado, esto facilitará su adherencia y mezclado, con los otros agregados que forman parte de la mezcla y hará más fácil su trabajabilidad.

- Es aconsejable realizar los ensayos de TCLP, para determinar si existe presencia de metales pesados, de ser posible realizar el ensayo al lodo de perforación in situ y posteriormente al producto final de reutilización.
- Para obtener un bloque de calidad, deberán escogerse materiales de calidad, a través de ensayos a cada agregado, tal como lo establece la norma INEN 639.
- Continuar con investigaciones en este campo, y tratar de incluir nuevos métodos tecnológicos, en lo que al tratamiento de lodos de perforación se refiere, con la finalidad de acelerar los procesos de transporte, acopio, secado y utilización del lodo de perforación, de modo que se pueda reducir tiempos, costos e impactos negativos al ser humano y medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

- Instituto Americano del Petróleo. (2001). Procedimiento estándar para las pruebas de fluidos de perforación. Texas, Estados Unidos de Norteamérica.
- ACI 211, A. C. (2007). Diseño de Mezclas de Concreto.
- Aguilar, C., Muñoz, M., & Loyola, O. (2005). Uso de hormigón reciclado para la fabricación de hormigones.
- Ambiente, M. d. (2012). Acuerdo Ministerial No. 142. *Listado Nacional de Sustancias Químicas Peligrosas Desechos Peligroso y Especiales*. Quito.
- ASTM C128, 1. (2010). Método de ensayo normalizado para determinar la densidad, densidad relativa y absorción de agregados finos.
- Baroid. (1992). *Baroid Industrial Drilling Products, Drilling Fluids Seminar*.
- Bravo, E. (2007). *Los impactos de la explotación petrolera en ecosistemas tropicales y la biodiversidad*. Ecuador Acción Ecológica.
- Daryl, C., & Sonny, E. (2013). *Fundamentos de fluidos de perforación*.
- ECAPETROL, E. D. (2012). Química de lodos de perforación.
- ECUADOR, E. P. (Julio de 2015). *EP PETROECUADOR/ EMPRESA PUBLICA DE HIDROCARBUROS DEL ECUADOR*. Obtenido de <http://www.eppetroecuador.ec/>
- Espinosa , G. (2007). *Gestión y Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental*. Santiago.
- Gonzales, A. (2007). *Departamento de ingeniería de obras civiles*. Santiago.
- Google Earth. (15 de Noviembre de 2015). Ecuador.
- Holcim Ecuador, H. E. (2015). Manual de Fabricación de cemento. 20.
- Hughes, I. B. (1998). *Manual de Fluidos de Perforación de Baker Hughes Incorporated*.
- Incógnita, T. (2014). Efectos de la actividad petrolera en la amazonía ecuatoriana. 24.
- INEN 151, S. E. (2010). Cemento Hidráulico definiciones de términos. Quito, Pichincha.
- INEN 2380, S. E. (2011). Cemento Hidráulico, requisitos de desempeño para cementos hidráulicos. Quito, Pichincha.

- INEN 638, S. E. (1993). Bloques huecos de hormigón, definiciones, clasificación y condiciones generales. Quito, Pichincha.
- INEN 639, S. E. (1993). Bloques Huecos de Hormigón, muestreo, inspección y recepción. Quito, Pichincha.
- INEN 643, S. E. (2014). Bloques Huecos de Hormigón. Quito, Pichincha.
- INEN 696, S. E. (2011). Áridos análisis granulométrico en los áridos finos y gruesos. Quito, Pichincha.
- INEN 857, S. E. (2010). Árido determinación de la densidad, densidad relativa y absorción de árido grueso. Quito, Pichincha.
- INEN 858, S. E. (2010). Determinación de la masa unitaria y el porcentaje de vacíos. Quito, Pichincha.
- INEN 862, S. E. (2011). Áridos para hormigón, determinación del contenido de humedad. Quito, Pichincha.
- INEN 872, S. E. (1982). Áridos para hormigón requisitos. Quito.
- Leonard, S., & Stegemann, J. (2010). Stabilization/solidification of petroleum drill cutting. *Journal of Hazardous Materials*.
- Liendo, F. (2010). Reuso de ripios encapsulados en obras asociadas en perforación. En PDVSA.
- Michael, D., Philip, L., Jeffrey, C., & Environment Resources Management. (2012). *Hazardous Waste Management*. 2nd edition.
- Montoya, H., Pino, C., & Valdés, G. (2005). *Reutilización de residuos del hormigón*.
- Moreno, H., & Varela, J. (1985). Geología, volcanismo y sedimentos piroclásticos cuaternarios de la región central.
- Nicolalde, S. (2008). *Utilización de escorias y polvos de acería en la producción de bloques y adoquines*.
- Oilfield Glossary, S. O. (2013). *The Oilfield Glossary*. Obtenido de <http://www.glossary.oilfield.slb.com/>
- Poon, C. S., Kou, S. C., & Lam, L. (2002). Use of recycled aggregates in molded concrete bricks and blocks. *Construction and Building Materials*.
- Pullaguari, A. (2010). *Diseño de bloques en base a Polietileno - Tereftalato (plástico reciclado)*.
- RAHOE, D. N. (2001). Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador. Quito, Pichincha.

- Rakshvir, M., & Barai, S. V. (2006). Studies on recycled aggregates-based concrete. *Waste Management and Research*.
- Reyes, R. (enero de 2013). Diseño conceptual de un Sistema Experto Informático, como herramienta de apoyo en el proceso de elaboración de nuevas leyes, procedimientos, normas y reglamentos en el Ecuador. Ecuador.
- Rivero, C., & Sánchez, M. (2011). Efectos de riego de perforación petrolera en base agua como sobre el crecimiento de la soya.
- Roddie, B., Skadsheim, A., Runciman, D., & Kjeilun, G. (1999). UKOOA Drill cuttings initiative research and development.
- Rojas, S. (2014). *Reutilización de los rios de perforación en base agua como material de construcción*. Quito.
- Sanchez, M., & Alaejos, P. (2006). *Influencia del árido reciclado en las propiedades del hormigón estructural cemento y hormigón*.
- SLN, S. y. (2015). *Informes de volumen de lodos y rios de perforación*.
- Topcu, I. B., & Sengel, S. (1995). Using waste concrete as aggregates produced with waste concrete aggregate. *Cement and Concrete Research*.

ANEXOS

ANEXO 1

DESCRIPCIÓN DE LA NORMATIVA

CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR

PREÁMBULO

NOSOTRAS Y NOSOTROS, el pueblo soberano del Ecuador RECONOCIENDO nuestras raíces milenarias, forjadas por mujeres y hombres de distintos pueblos, CELEBRANDO a la naturaleza, la Pacha Mama, de la que somos parte y que es vital para nuestra existencia, INVOCANDO el nombre de Dios y reconociendo nuestras diversas formas de religiosidad y espiritualidad, APELANDO a la sabiduría de todas las culturas que nos enriquecen como sociedad, COMO HEREDEROS de las luchas sociales de liberación frente a todas las formas de dominación y colonialismo, Y con un profundo compromiso con el presente y el futuro.

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, ripios y desechos de perforación en superficie que contienen, (VI), Vanadio, Bario, Mercurio, Níquel como tóxicos.

Por tal razón, es obligación de las operadoras caracterizar los ripios 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 ripios 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 con 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 respectiva norma técnica 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, principios de minimización, reúso, clasificación, transformación y reciclaje de los residuos sólidos” y el “Fomento a la investigación

del 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 micros encapsulados.

ANEXO 2

PROTOCOLO DE MUESTREO DE SUELOS CONTAMINADOS

INTRODUCCIÓN

Los métodos de muestreo a suelo para análisis de éstos compuestos tienen como propósito brindar certidumbre en las acciones de caracterización, evaluación y posterior remediación.

MARCO REFRENCIAL

Norma Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SS-2003 – Establece los Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación.

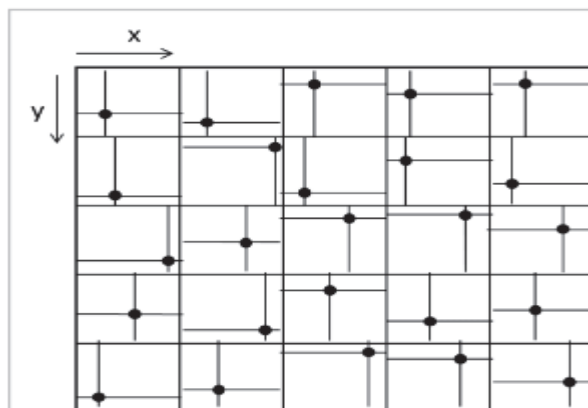
OBJETIVO

Establecer criterios para la caracterización y determinación de concentraciones de remediación de suelos contaminados.

PLAN DE MUESTREO

- 1.- Determinación del sitio donde se va a efectuar el muestreo.- El sitio denominado área de celdas para la disposición final de la EP PETROAMAZONAS, bloque 6, campo Auca Sur.
- 2.- Tipo y número de muestras que se va a coleccionar: el tipo de muestra “suelo contaminado”, y se tomara aproximadamente 55 Kg.

3.- Método de muestreo que será utilizado para la colecta de muestras: se realizó un muestro aleatorio, realizando un movimiento y mezcla del lodo a una profundidad de 1,50 cm y la capacidad de la cuchara es de 1 m³.



4.- Fecha en que se realizará la colecta de muestras: 16, 17 y 18 de octubre del 2015.

5.- Áreas y coordenadas de los puntos de muestreo:

Celdas (zona 18m) WGS 84 ZONA 18 S	X	Y
Celda 5	291420,00	9963070,00
Celda 18	291488,00	9963192,00
Celda 22	291559,00	9963125,00
Celda 30	291521,00	9963025,00

6.- Preservación de las muestras, cuidados para el almacenaje y traslado de los recipientes que contienen las muestras.

- Las muestras serán empacadas y transportadas con los cuidados respectivos, para luego durante un tiempo secarlas a temperaturas normales y pulverizarlas.

EQUIPOS Y MATERIALES DE MUESTREO

EQUIPOS PARA MUESTREO	APLICACIÓN	OBSERVACIONES
Cuchara o cucharones	Se utiliza en el muestreo de suelos hasta 1,50 cm de profundidad, capacidad 1m ³ .	Este tipo de muestreo se aplica en muestreos someros en áreas abiertas (fondos o paredes de fosas).
Fundas de plástico	Se utilizó cuatro fundas de 5 Kg.	Transparentes, son fundas de mayor resistencia.
Libreta de campo	2 libretas de campo	Recolección de información in situ.
Marcadores y esferos	2 marcadores y 2 esferos	Registro de datos
Etiquetas	4 etiquetas	Identificación de la muestra
Cámara fotográfica y gps.	1 cámara y 1 GPS.	Captura del muestreo realizado.
Guantes de nitrilo	2 pares de guantes	Seguridad en caso de presencia de lixiviación.
Sacos de yute	3 para el empacado y transporte.	Para transportar la muestra.

MANEJO Y CONTROL DE MUESTRAS

- Colecta de Muestra: se recolecto 55 Kg de lodo de perforación en la celda No. 18, Código: COCAAK048. Nombre muestra: MS01-11-05-15.
- Descontaminación de Equipo de Muestreo: los muestreos se hicieron con equipos nuevos.

- Traslado de Muestras y Cadena de Custodia: se realizó la respectiva cadena de custodia
- Libreta y Formatos de Campo: fueron recolectados los datos y procesados posteriormente.

ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LABORATORIO

- Los ensayos físicos, químicos y mecánicos se realizarán en los laboratorios de la Escuela Politécnica Nacional, mientras que el análisis TCLP, fue realizado por la empresa contratista en los laboratorios ambientales GRUNTEC.

ANEXO 3

RETRO ESCABADORA DOOSSAN SY365H

Recolección de la muestra, área de confinamiento EP PETROAMAZONAS,
lodo de perforación menor a 15 días.



RETRO ESCABADORA HIUNDAY 220

Recolección de la muestra, área de confinamiento EP PETROAMAZONAS,
lodo de perforación tiempo de confinamiento 90 días.



ANEXO 4

CADENA CUSTODIA DE LA MUESTRAS “SCH01”

ANEXO 5

**REPORTE ANÁLISIS TCLP CORTE DE PERFORACIÓN
“MS01-11-2015”**

ANEXO 6

REGISTRO FOTOGRAFICO

Foto. 1, Ing. Casamen obteniendo muestra



Foto. 2, Lodo confinado, saturado.



Foto. 3, Ing. Pozo obteniendo una muestra.



Foto. 3, Empacado en saco de yute



Foto. 5, Cuchara obteniendo muestra



Foto. 6, Celda limitación horizontal



ANEXO 7

**INFORMES DE LOS ENSAYOS GRANULOMETRIA,
DENSIDADES, PESO ESPECÍFICO, HUMEDAD,
ABSORCIÓN (CEMENTO, ARENA, RIPIO y CASCAJO)**

ANEXO 8

PROCEDIMIENTOS PARA CADA ENSAYO

GRANULOMETRÍA AGREGADOS GRUESOS

La granulometría de un agregado determina cuantitativamente la distribución del tamaño de las partículas, por medio de tamices de aberturas ordenadas progresivamente en forma decreciente de arriba hacia abajo, con estos resultados se puede determinar si el material cumple con la distribución granulométrica de las partículas estipulada en la norma NTE INEN 872, la cual busca que las partículas ocupen el mayor volumen posible en el hormigón o en este caso en los bloques, y reducir el contenido de vacíos en la mezcla, requerimientos importantes para obtener un bloque de buena calidad y lo más económico posible, ya que reduce el contenido de pasta de cemento.

El ensayo para determinar la distribución granulométrica de las partículas del agregado grueso, se realizó siguiendo la norma NTE INEN 696 – ASTM C 136, cuyo procedimiento consiste en seleccionar la muestra de acuerdo a la norma NTE INEN 695 – ASTM D75 y secar al horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$, en un promedio de 18 a 24 horas.

La muestra se la obtiene por cuarteo, hasta obtener una masa de 2 Kg, según la norma NTE INEN 696, para agregados que tengan un tamaño máximo nominal de 12,5 mm. Escoger y ordenar en forma descendente los tamices necesarios y adecuados de la Serie de Tyler, de forma que cumplan con la gradación del árido a ensayarse. Las diferentes gradaciones se pueden obtener en la Tabla 5.2, que corresponde a la Tabla 3 de la norma NTE INEN 872.

Colocar la muestra por la parte superior del juego de tamices y agitar el conjunto por un intervalo de tiempo de 5 a 10 minutos.

Pesar la masa retenida en cada uno de los tamices y bandeja de fondo, cuidando que el peso total, después del ensayo, no difiera en $\pm 3\%$ del peso inicial de la muestra.

1. Muestra para análisis de granulometría agregado grueso



PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

El peso específico de un agregado relaciona el peso y el volumen del material, cuando éste se encuentre en una condición específica: seca, natural o superficie saturada seca. La condición superficie saturada seca, quiere decir que los poros de las partículas se encuentren llenos de agua pero sin considerar agua en su superficie exterior.

Por otro lado, la absorción del agua determina el cambio de peso de un agregado, debido a la cantidad de agua absorbida por los poros de las partículas al estar sumergida agua durante el tiempo necesario para alcanzar la condición de saturación, y compararla con el peso del material en condición seca. El procedimiento a seguir se encuentra el descrito en la norma NTE INEN 857 o ASTM C 127, y corresponde al que se describe a continuación:

Tomar la muestra de grava según lo indicado en la norma NTE INEN 695, lavarla para retirar el polvo fino, determinar el peso de la masa mínima, 2000 g según indica la norma en la Tabla 5.5, y que corresponde a la Tabla 1 de la norma NTE INEN 857, y sumergir en agua durante $24h \pm 4h$.

Retirar la muestra del agua, y colocarla sobre un paño, para eliminar toda lámina visible de agua en la superficie de las partículas, evitando la evaporación del agua de

los poros, determinar el peso de la muestra en condición saturada superficialmente seca.

Para determinar el volumen, colocar la muestra en una canastilla, y sumergirla en agua a $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, agitar para eliminar todo el aire atrapado y obtener su peso sumergido. Previamente, se debe obtener el dato del peso de la canastilla vacía sumergida.

Sacar la muestra del agua y poner a secar en el horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Finalmente, dejar enfriar y determinar su peso en estado seco.

2. Sumergiendo la muestra en agua para realizar la prueba.



DENSIDADES APARENTES

El peso volumétrico unitario de un agregado relaciona el peso neto y el volumen del material que éste ocupa en un recipiente estándar de masa y volumen conocidos, expresado en Kg/m^3 ; dichas densidades son utilizadas en las conversiones de volumen a masa, para el diseño de dosificaciones de hormigón en peso. Este valor es dependiente de la compactación, es decir de su condición de estado suelto o estado compactado.

Además esta relación indica la cantidad de pasta requerida para llenar los espacios vacíos entre partículas de los agregados y paredes del molde; esto significa que, si en un agregado el peso volumétrico disminuye, se incrementan los espacios vacíos para ser llenados con la pasta, lo que afecta el costo y el comportamiento del hormigón en el tiempo, esto último reflejado en el aumento de la fluencia y la retracción del material.

Esta propiedad es de suma importancia ya que un mal cálculo del peso volumétrico puede generar costos excesivos, material defectuoso o que no cumpla con los requisitos técnicos especificados en la obra. En un agregado con tamaño máximo nominal de 125 mm o 5 pulgadas no es aplicable realizar este método de ensayo.

DENSIDAD APARENTE SUELTA

Se define como la relación entre el peso y el volumen que ocupa el agregado cuando se vierte en un recipiente sin apisonamiento alguno y evitando inducir vibraciones.

Así, se puede describir el procedimiento detallado en la norma NTE INEN 858:

- Obtener la muestra y reducirla por cuarteo (NTE INEN 2566) hasta un tamaño aproximado a un 125 a 200% de la cantidad requerida para el ensayo.
- Secar la muestra en un horno a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta obtener una masa constante.
- Dejar enfriar la muestra hasta que sea manipulable.
- De acuerdo al tamaño máximo nominal del agregado escoger el molde con la capacidad nominal correspondiente, según la tabla 5.7, esto en el caso de agregado grueso.
- Determinar el volumen del recipiente, previamente calibrado, para esto se miden las dimensiones del recipiente, como son: largo, ancho y altura, o diámetro y altura.
- Pesar y registrar el molde vacío
- Con ayuda de una pala o cucharón colocar el agregado dentro del recipiente con la única compactación que obtenga el agregado al caer desde la pala a

una altura no mayor a 50 mm por encima del borde superior del molde procurando evitar, tanto como sea posible, las vibraciones y segregación de las partículas.

- Con la varilla, enrasar la superficie y con la brocha limpiar el material excedente en los bordes.
- Determinar y registrar el peso del molde más agregado suelto, teniendo cuidado en no provocar vibraciones excesivas en este proceso.

3. Llenando el cilindro para realizar densidades.



DENSIDAD APARENTE COMPACTADA

Viene dada por la relación de la masa por unidad de volumen del árido cuando éste se vierte en un recipiente, y a la vez es compactado bajo condiciones específicas.

Enseguida se describen los pasos a seguir para determinar la densidad aparente compactada de agregado grueso, explicados en la norma NTE INEN 858.

- Obtener la muestra y reducirla (NTE INEN 2566).
- Secar la muestra en un horno a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta obtener una masa constante.
- Dejar enfriar la muestra hasta que sea manipulable.
- De acuerdo al tamaño máximo nominal del agregado escoger el molde con la capacidad nominal correspondiente, según la tabla 5.7, para áridos gruesos.

- Determinar el volumen del recipiente, para esto se miden las dimensiones del recipiente, como son, altura y diámetro, o largo, ancho y altura.
- Pesar el molde vacío y registrar.
- Llenar el recipiente hasta un tercio del volumen, nivelar la superficie con los dedos y compactar con 25 golpes de la barra compactadora distribuidos uniformemente en toda la superficie. Cuidando no golpear el fondo. La barra de compactación será de 16 mm de diámetro, 60 cm de largo y puntas redondeadas
- Llenar y compactar el segundo tercio, como se indica en el paso anterior, evitando que la barra de compactación atraviese la primera capa de material.
- En la última capa, llenar hasta rebosar y compactar de la manera antes indicada; con la barra engrasar la superficie y con la brocha limpiar el material excedente en los bordes, y rellenar los espacios más grandes que se aprecien en la superficie.
- Determinar y registrar el peso del molde más agregado compactado.
- Realizar por lo menos dos veces el ensayo, para obtener valores representativos de densidad.

CONTENIDO DE HUMEDAD

Los áridos pueden llegar a absorber agua que, en algunos casos, al ser mezclada químicamente con los minerales del árido se convierte en agua no evaporable, pero otra parte puede quedar como agua libre, por esta razón se necesita conocer si el agregado, en condiciones naturales, aporta o no agua libre a la mezcla para los bloques, y si lo hace, se debe determinar cuál es esa cantidad y así realizar la corrección adecuada en el diseño.

El ensayo para la caracterización de esta propiedad, es relativamente sencillo, sin embargo de gran influencia en la relación agua/cemento dentro del diseño del hormigón. Por ejemplo, si el material al momento de realizar una mezcla para los bloques, sea éste arena o grava, se encuentra completamente saturado, la relación agua/cemento aumentará, así, consecuentemente se obtendrá un asentamiento

mayor y una disminución en la resistencia de diseño. Del mismo modo, si el material se encuentra seco, éste absorberá el agua necesaria para saturarse, reduciendo la cantidad de agua para hidratar el cemento, produciendo pastas demasiado secas, acelerando su fraguado y disminuyendo su trabajabilidad y resistencia.

El contenido de humedad en un material se define y determina como el porcentaje de agua evaporable por secado, ya sea ésta agua superficial o agua contenida en los poros abiertos del agregado.

El procedimiento correspondiente a este ensayo, fue realizado según indica la norma NTE INEN 862, y para esto primero se debe obtener una muestra según indica la norma NTE INEN 695, excepto por el tamaño de la muestra, que no tiene que ser menor a la indicada en la Tabla 5.9.

Se debe proteger la muestra ante una posible pérdida de humedad antes de pesarla. Pesar el recipiente metálico y colocar la cantidad de muestra requerida en él y determinar el peso del recipiente más muestra húmeda.

Secar en el horno de temperatura controlada a 110 °C, por un intervalo de tiempo de 24 ± 3 horas. Luego de este tiempo dejar enfriar a temperatura ambiente y determinar el peso del recipiente con el material seco. Cuando las partículas de un agregado son mayores de 50 mm, puede ser que necesiten un mayor tiempo de secado.

4. Pesando la muestra seca para verificar la cantidad de humedad en el material.



GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO.

El proceso utilizado para determinar la distribución granulométrica de las partículas del agregado fino es el mismo que para el agregado grueso, bajo las Normas NTE INEN 696 y ASTM C 136, en las cuales especifica de la siguiente manera:

- Obtener la muestra representativa y colocarla en el horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$, en un promedio de 18 a 24 horas.
- Enfriar y pesar la masa requerida; para el agregado fino, la norma indica que la masa mínima para realizar el ensayo es de 300 gramos.
- Armar en forma descendente los tamices correspondientes a la serie de Tyler, para agregados finos y colocar la muestra por la parte superior del conjunto.
- Acoplar la serie en la máquina tamizadora, encenderla por un intervalo de tiempo de 5 a 10 minutos. Por último, se debe pesar el material retenido en cada tamiz y la bandeja de fondo, cuidando que el peso total, después del ensayo, no difiera en $\pm 3\%$ del peso inicial de la muestra.

5. Bandejas para realizar granulometría de agregado fino.



DETERMINACIÓN DE DENSIDADES

- Llenar el picnómetro de agua hasta la marca de aforo, determinar y anotar su peso y temperatura.
- Una vez que se obtiene el agregado en condición SSS, pesar 500 gr.
- En el mismo picnómetro vacío, con ayuda del embudo introducir los 500 gr de arena en SSS y adicionar agua hasta aproximadamente un 90% de su capacidad.
- Eliminar las burbujas de aire atrapado en la muestra más agua, ya sea, por agitación manual del picnómetro, o aplicándole vacío por medio de una bomba.
- Inmediatamente después de eliminar todas las burbujas de aire, llenar de agua hasta la marca de aforo evitando introducir aire, y si es necesario corregir la temperatura del agua y arena en el picnómetro a aproximadamente $23,0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- Luego de pesar el picnómetro con agua y arena, vaciar el árido fino en un recipiente previamente pesado.
- Poner a secar en el horno a una temperatura constante de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- Finalmente, luego de 24 horas sacar del horno el recipiente con la muestra seca, dejar enfriar por alrededor de una hora, y pesar.

6. Extrayendo el aire retenido en la muestra



CONTENIDO ORGÁNICO EN ARENA

Un requisito importante que debe cumplir un agregado fino es que debe estar libre de impurezas orgánicas. Esto debido a que la materia orgánica, si se encuentra en cantidades excesivas en el material, causa un retardo en las reacciones químicas de hidratación del cemento durante el tiempo de fraguado, y consecuentemente afecta el desarrollo de la resistencia y en su durabilidad. Se considera materia orgánica a los tejidos animales y/o vegetales que fueron formados por carbono, nitrógeno y agua, apareciendo en las arenas en forma de humus o arcilla orgánica. Para determinar si un agregado fino tiene una cantidad tolerable de impurezas orgánicas, se empleará el método de colorimetría detallado en la norma NTE INEN 855.

En resumen, la prueba consiste en previamente diluir tres partes en masa del reactivo hidróxido de sodio en 97 partes de agua. Se debe obtener una muestra de aproximadamente 450 gramos de material. Luego, con un embudo, introducir en una

botella de vidrio, normalizada, todo el material o hasta los 130 ml y añadir la solución de hidróxido de sodio, hasta que el volumen del agregado fino y del líquido sean aproximadamente 200 ml. Cerrar la botella, agitar vigorosamente y dejar en reposo durante 24 horas, luego de las cuales definir el color del líquido sobrenadante de la muestra de ensayo con ayuda del comparador de color normalizado de la escala de Gardner. Cuando la muestra produce un color igual o más oscuro del color N°3 del comparador, se considera que el material contiene impurezas orgánicas perjudiciales, y la arena no se considera apta para la fabricación de hormigones.

7. Verificando por colorimetría el contenido orgánico en la arena



CEMENTO

El cemento es sin duda el componente más influyente en la fabricación de toda clase de hormigones, por tal razón se debe tener cuidado en la selección y en la determinación de sus características y propiedades físico-mecánicas. Al combinar el cemento con el agua se forma una pasta de cemento, cuya función principal es cubrir toda la superficie de los agregados gruesos y finos para aglutinarlos, además de llenar los vacíos existentes entre ellos.

El valor de la densidad del cemento se emplea principalmente para calcular los pesos y volúmenes en una mezcla, esta característica está relacionada con la calidad y grado de contaminación del mismo, por lo que se deben realizar los ensayos correspondientes, para garantizar dicha condición.

DENSIDAD REAL

El peso específico o densidad real del cemento se define como la relación entre el peso y volumen que ocupan las partículas sin considerar el aire que existe entre ellas. Este valor se encuentra alrededor de 3.10 g/cm^3 , para Cemento Portland puro. La determinación del valor de la densidad se lo realizará mediante el método del Frasco de Le Chatelier, que se encuentra descrito en la Norma NTE INEN 156; y que se detalla a continuación:

Introducir una cantidad suficiente de reactivo, gasolina o kerosene, en el frasco de tal manera que no sobrepase el nivel del cuello inferior entre las marcas 0 cm^3 y 1 cm^3 , sumergir el frasco en forma vertical en agua para evitar variaciones de temperatura mayores a $\pm 0.2 \text{ }^\circ\text{C}$ y tomar las primeras lecturas de volumen y peso inicial.

Pesar 64 gramos de cemento e introducirlos al frasco, evitando salpicaduras y que éste se adhiera a las paredes interiores sobre el nivel del líquido. Después de que todo el cemento esté dentro, colocar el tapón en el frasco y hacerlo rodar sobre una superficie lisa en posición inclinada, con el fin de eliminar el aire atrapado, y tomar las lecturas de volumen y peso del frasco con el reactivo y cemento.

8. Picnómetro para determinar la densidad del cemento



DENSIDADES APARENTES

Como ya es de conocimiento general la densidad se define como la relación de masa sobre volumen, en el caso del cemento es el peso de las partículas de cemento por

unidad de volumen, esta propiedad puede variar significativamente dependiendo del nivel de conservación y almacenamiento que se le proporcione, por esta razón se hace relevante el cálculo de la densidad suelta y compactada.

DENSIDAD SUELTA

Al igual que en los agregados o en cualquier material, la densidad suelta del cemento relaciona el peso y volumen que ocupa en un recipiente de dimensiones y peso conocidos, pero sin aplicar sobre el material ningún tipo de compactación o vibración. El procedimiento a seguir es el siguiente:

Pesar y dimensionar el diámetro y altura del molde, con ayuda de una espátula llenar el molde hasta que desborde la superficie superior; con la misma espátula enrasar el recipiente evitando producir vibraciones. Limpiar cemento derramado en el exterior del molde y determinar el peso del recipiente con el cemento.

ROTURA POR COMPRESIÓN

Este ensayo es sin duda el más requerido en cualquier tipo de bloque para controlar el crecimiento de la resistencia a través del tiempo, y determinar la aceptación o rechazo del diseño de ese bloque.

Procedimiento:

- 1.- Sacar los bloques de la condición de curado al que fueron sometidos, procurando no perder humedad hasta el momento del ensayo.
- 2.- Retira la humedad superficial que se encuentre en el bloque con ayuda de una toalla o dejándola airear por unos minutos.
- 3.- Medir las dimensiones del bloque, pesar y refrendar los bloques según la norma UNE 83506 o ASTM C 617.
- 4.- Coloca cuidadosamente el bloque en el plato inferior de la máquina de ensayo, girar suavemente con la mano el plato móvil hasta que se efectúe un asiento uniforme.

A continuación, se aplicará la carga de forma continua y sin variaciones bruscas que ocasionen cargas de impacto, la velocidad de aplicación de carga será de 2.5 ± 1.0 N/mm²/s, hasta que la probeta llegue a su carga última, que es cuando la máquina de ensayo se detiene automáticamente.

9. Ensayo de resistencia a la compresión a los bloques



ANEXO 9

INFORME DE LOS ENSAYOS DIMENSIONES, ABSORCIÓN, DENSIDAD, RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y HUMEDAD DEL BLOQUE REFERENCIA

ANEXO 10

PROTOCOLO PARA PREPARAR LA MUESTRA PARA ANALISIS MINERALOGICO POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X MUESTRA MS1-A

1. Recepción de la muestra codificada en el laboratorio como, Arcilla MS1-A.



2. Cuarteo para obtener una muestra representativa de 100 g



3. Pulverización de 100g de muestra en un molino de platos



4. Separación de fragmentos de materia orgánica presente en la muestra.



5. Colocación de la muestra en el porta muestras, previamente lípido con alcohol.

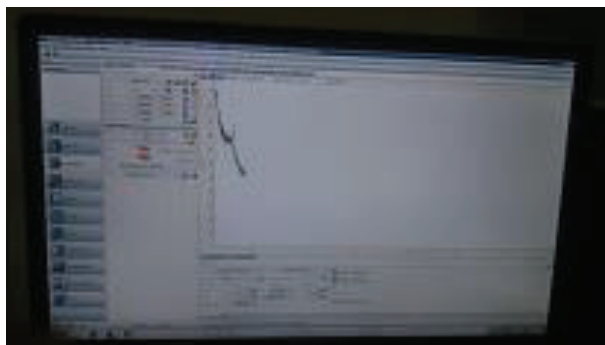




6. Inserción del porta muestras en el difractómetro.



7. Análisis y obtención del Difractograma.



ANEXO 11

INFORME DE RESULTADOS OBTENIDOS EN EL DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

ANEXO 12

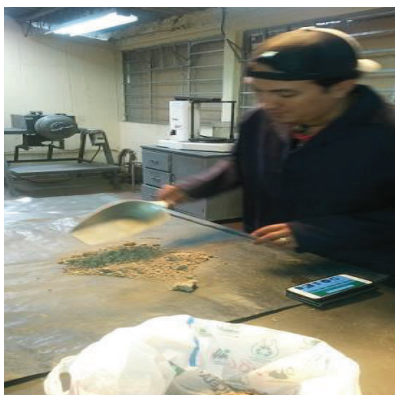
PROCESO DE SECADO DEL LODO DE PERFORACIÓN



Lodo granulometría 5cm – 1 cm
Secado natural.



Lodo granulometría 7cm – 5cm
Secado Natural.



Separación manual de impurezas



Lodo pulverizado

ANEXO 13

MÉTODO DE ENSAYO EN BASE A CILINDROS DE METAL

Para ensayos de resistencia a compresión se utilizan probetas cilíndricas con una altura igual a dos veces su diámetro, o probetas cúbicas generalmente de 150 mm por lado, 150 mm de diámetro y 300 mm de Altura. Un ensayo debe ser el promedio de tres probetas hechas de la misma muestra de hormigón y ensayadas a 28 días o a la edad establecida para la determinación de la resistencia del hormigón a compresión ($f'c$) o a tracción por flexión (MR).



Probetas cilíndricas

Las muestras de hormigón a utilizarse para las probetas de ensayos de resistencia, deben tomarse de acuerdo con la norma ASTM C 172 (INEN 1763) Norma para Muestrear Hormigón Fresco. Se deben tomar muestras compuestas en un intervalo que no exceda de 15 minutos entre la primera y la última porción de la muestra. Deben ser obtenidas en dos o más intervalos regulares, cerca de la porción media de la amasada. En ningún caso debe ser tomada al iniciar la descarga de la amasada ni en la porción final. La muestra debe tener no menos de 28 litros (dm^3).

De las muestras de hormigón obtenidas y como paso previo a preparar las probetas, debe determinarse su Revenimiento o Asentamiento, su Temperatura y su Contenido de Aire, anotando los valores correspondientes para cada ensayo.



Mezcla de hormigón (probetas)



Cilindros completados

Preparación de Especímenes o Probetas de Ensayo. Las probetas para ensayos de resistencia deben prepararse y curarse de acuerdo con lo que indica la norma ASTM C 31M Norma para Preparar y Curar Especímenes de Ensayo de Hormigón en el

Campo. Es importante que el ensayo de asentamiento se inicie dentro de los 5 minutos posteriores de completar el muestreo y la preparación de los especímenes dentro de los 15 minutos posteriores a la toma de muestra del hormigón.



Ruptura de moldes

Luego de 48 horas de su elaboración, las probetas pueden ser sacadas de sus moldes para iniciar su curado final,



Curado de moldes

Las probetas cilíndricas deben ensayarse de acuerdo con la norma ASTM C 39M (INEN 1573) Método de Ensayo de Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Hormigón. Para efectuar la rotura por compresión en especímenes cilíndricos a las edades especificadas, deben cumplirse con las tolerancias indicadas en la tabla N°3, ASTM C 39M:

Ensayo de cilindro 1 (2,49 kN/s)
0,27 Mpa/s, 3días



Ensayo de cilindro 2 (2,20 kN/s)
0,23 Mpa/s, 3 días.



Resultado de ensayo de resistencia a la compresión



CUADRO DE RESULTADOS DE LOS MOLDES

Variación en el diámetro del cilindro	2%	
Verticalidad del eje	0,5°	
Tiempo de rotura		
Edad	tolerancia	
24 horas	± 0,5 Horas	
3 días	2 horas	
7 días	6 horas	
28 días	20 horas	
90 días	2 días	
Velocidad de aplicación de carga		
Diámetro (mm)	MPa/s	kN/s
150	0,20 a 0,30	3,53 a 5,30
100		1,57 a 2,36

ANEXO 14

CONSTRUCCIÓN DE LOS BLOUES CON EL LODO DE PERFORACIÓN

Elaboración

La elaboración de bloques de concreto depende del tipo de equipo de producción y de los procesos de curado, almacenamiento y despacho. Los equipos deben ser los adecuados en tamaño, tecnología y costos para el medio que se va a suministrar o el proyecto que se va a construir. Adicionalmente se debe cuidar lo siguiente:

Pasos:

1.- Adquirir los agregados necesarios para construir el bloque:

Cemento



Ripio



Arena



Lodo de perforación



2.- Ubicación de los materiales en la mezcladora,



Acopio de material con las dosificaciones



Colación del material en la mezcladora



Mezclado de material



Se añade el lodo de perforación de 2cm – 1/8pulg



Se añade el lodo pulverizado

3.- Se añade el agua a la mezcla seca



Mezcla humedecida al 60%

4.- Colocar la mezcla en la prensadora con moldes de 5 bloques, se espera 2 min y se saca los bloques hechos.



Lote de bloques desde la izquierda
Bloque BPA, B30, B60 y B80



Diferencia de color entre los bloques
normales y los bloques con Lodo.



Se puede ver que el bloque al 80% tiene una coloración más café que las otras dosificaciones. Obviamente por que este tiene más lodo de perforación que los otros.

CURADO Y REFRENDADO DE BLOQUES CON LODOS DE PERFORACIÓN

Bloques colocados en agua (28 días)



Bloques refrendados para ensayo (24 horas)



ANEXO 15

**REPORTE DE RESULTADOS DE LOS BLOQUES
ELABORADOS CON LODO DE PERFORACIÓN (30%,
60%, 80%)**

ANEXO 16

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO TCLP DEL BLOQUE AL 80% DE LODO DE PERFORACIÓN

- 1.- Se extrae una muestra del bloque, en este caso solo se realizó la prueba al bloque de 80% de lodo de perforación, debido a que este tiene más presencia del lodo de perforación.
- 2.- En el Departamento de Metalurgia Extractiva se prepara el lixiviado con las muestras de los bloques al 30, 60 y 80%.

Muestras extraídas de los bloques



Lixiviado para el análisis TCLP.



Determinación de arsénico, bario y vanadio

Posterior al tratamiento de la muestra de bloque (lixiviación). Los lixiviados son filtrados para ser inyectados a un equipo de absorción atómica (AA), donde los elementos son determinados empleando sus respectivas curvas de calibración.

ANEXO 17

**REPORTE DE RESULTADOS DEL ENSAYO TCLP ANÁLISIS
TOXICO A LA MUESTRA DEL BLOQUE 80%**