



UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO

MAESTRÍA EN CONSTRUCCIONES, PROGRAMA ESPECIAL DE TITULACIÓN

BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA CON AGREGADOS DE RESIDUOS DE
CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN COMO SUSTITUCIÓN DE LOS AGREGADOS
TRADICIONALES EN LA CIUDAD DE SARAGURO, LOJA, ECUADOR

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE
“MAGÍSTER EN CONSTRUCCIONES”

AUTOR: ARQ. PABLO JAVIER MEJÍA PACHECO

CC: 0102963667

DIRECTOR: ARQ. JUAN PABLO CARVALLO OCHOA, Msc.

CC: 0103789772

ECUADOR, CUENCA 2018



RESUMEN

El Proyecto de investigación aborda dos paradigmas, por un lado, el retorno a la construcción con tierra y por el otro, el cierre de ciclos de vida de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) como una alternativa a disminuir el uso de agregados vírgenes.

Se plantea, por lo tanto, la elaboración de un bloque de tierra comprimida, estabilizado con cemento (BTC), que incorpore agregados de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) como una alternativa viable y sostenible para la construcción, contribuyendo a cerrar ciclos de vida de ciertos materiales de construcción y constituya una medida paliativa a la sobre explotación de canteras y a la reducción del volumen de residuos de construcción y demolición a ser vertidos en el ambiente.

Para la investigación se consideran varias dosificaciones con un contenido de suelo que varía entre el 25% y 50 %, con un contenido de RCD que varía entre un 45% y 70%, luego se los compara con bloques elaborados en las mismas dosificaciones pero que usan agregados vírgenes. Los BTC elaborados con RCD excedieron los requerimientos de la NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC5324.

Palabras clave

Construcción con tierra, BTC, bloques de tierra comprimida, bloques comprimidos estabilizados, residuos de construcción y demolición, RCD.



ABSTRACT

The research project addresses two paradigms, on one hand, the return to construction with earth and on the other, the recycling of construction and demolition debris C&DD as an alternative to decrease the use of virgin aggregates.

Therefore, the elaboration of a block of compressed earth, stabilized with cement, incorporating aggregates of C&DD and that constitutes a viable and sustainable alternative for the construction. That it complies with the physical and resistance characteristics required by the applicable regulations, which also contribute to closing the life cycles of certain construction materials and constitutes a palliative measure to the over exploitation of quarries and the reduction of the volume of construction and demolition waste to be discharged into the environment.

For the investigation, several dosages with a soil content varying between 25% and 50%, with an RCD content varying between 45% and 70%, are then considered, then compared with blocks made in the same dosages but use virgin aggregates and establish the characteristics through physical and mechanical tests.

Keywords

Earthen construction, CEB, compressed earthen block, stabilized compressed block, Construction and demolition waste, Debris, C&DD

**INDICE DE CONTENIDOS**

| | |
|--|------|
| Resumen y palabras clave | ii |
| Abstract and Keywords | iii |
| Índice de Contenidos | iv |
| Autorización para publicación | vii |
| Cláusula de propiedad intelectual | viii |
| | |
| Introducción a la investigación | 1 |
| Planteamiento del problema | 2 |
| Justificación | 3 |
| Hipótesis | 4 |
| Objetivo general | 5 |
| Objetivos específicos | 5 |
| | |
| Metodología | 6 |
| | |
| Capítulo 1 Antecedentes y Estado del Arte | |
| | |
| 1.1 La Construcción: Análisis mundial y local desde una perspectiva económica, social y ambiental..... | 11 |
| 1.2 La explotación de recursos y la generación de residuos | 13 |
| 1.3 Sostenibilidad y Sustentabilidad..... | 14 |
| 1.4 Estado de la explotación de recursos | 17 |
| 1.5 La generación de RCD | 18 |
| 1.5.1 Aproximación | 18 |
| 1.5.2 Consideraciones para facilitar la gestión de los residuos | 19 |
| 1.5.2.1 Separación en la fuente | 19 |
| 1.5.2.2 Control de escombros | 20 |
| 1.5.2.3 Control de suelo útil resultado de la fase cimentación y excavaciones | |
| 1.5.2.4 Control de residuos de concreto, morteros, estructuras y mamposterías | 20 |
| 1.5.2.5 Control de residuos de instalaciones | 21 |
| 1.5.2.6 Agua y limpieza de la obra | 21 |
| 1.6 La construcción con tierra | 22 |
| 1.6.1 Aproximación histórica | 22 |
| 1.6.2 La tierra como material de construcción | 23 |
| 1.6.3 Acerca de la construcción con tierra | 24 |
| 1.6.3.1 Tapial | 28 |
| 1.6.3.2 Adobe | 30 |
| 1.6.3.3 Bloques de tierra comprimida BTC | 32 |
| 1.6.3.3.1 Tipos de máquinas | 35 |
| 1.6.3.3.2 Propiedades de la mezcla | 37 |
| 1.6.3.3.3 Proceso de fabricación | 38 |
| 1.6.3.3.4 Dimensiones del bloque | 39 |
| 1.6.3.4 Bloques de Tierra Comprimida con RCD | 40 |
| 1.6.4.1 Estabilizadores | 42 |



| | |
|---|-----------|
| 1.6.4.2 Estabilización mecánica | 43 |
| 1.6.4.3 Estabilización química con cemento | 44 |
| 1.6.5 Durabilidad | 45 |
| 1.7 Área geográfica de estudio | 47 |
| 1.7.1 RCD en Saraguro | 49 |
| 1.8 Normativas | 49 |
| 1.8.1 Aspectos relevantes de las Normativas | 54 |
| 1.8.1.1 Estabilización | 54 |
| 1.8.1.2 Selección de suelos | 54 |
| 1.8.1.3 Requisitos de los productos | 54 |
| 1.8.1.4 Ensayos | 54 |
| 1.9 Ensayos | 55 |
| 1.9.1 Análisis mecánico de los componentes mediante cribado..... | 55 |
| 1.9.2 Ensayo de contenido de materia orgánica | 57 |
| 1.9.3 Ensayo de contenido de humedad | 58 |
| 1.9.4 Ensayo de consistencia de Suelo | 59 |
| 1.9.5 Ensayo de Absorción y Capilaridad | 61 |
| 1.9.6 Ensayo de Abrasión | 63 |
| 1.9.7 Ensayo de Resistencia a la compresión seca | 65 |
| Capítulo 2 BTC con agregados de RCD | 67 |
| 2.1 Bloques de tierra comprimida BTC con adición de residuos de construcción y demolición | 68 |
| 2.1.1 Preparación | 68 |
| 2.1.2 Elaboración | 70 |
| Capítulo 3 Ensayos Físicos y Mecánicos | 76 |
| 3.1 Ensayo de composición granulométrica mediante cribado | 77 |
| 3.1.1 Composición granulométrica del suelo..... | 77 |
| 3.1.2 Composición granulométrica de la arena de cantera | 78 |
| 3.1.3 Composición granulométrica de los RCD | 79 |
| 3.1.4 Análisis de los resultados | 80 |
| 3.2 Ensayo de contenido de humedad en áridos..... | 81 |
| 3.2.1 Ensayo de contenido de humedad del suelo | 81 |
| 3.2.2 Ensayo de contenido de humedad de la arena | 81 |
| 3.2.3 Análisis de los resultados | 81 |
| 3.3 Ensayo de consistencia del suelo, límites de Atterberg | 82 |
| 3.3.1 Análisis de los resultados..... | 83 |
| 3.4 Ensayos mecánicos y físicos a las probetas | 85 |
| 3.4.1 Ensayos mecánicos y físicos..... | 85 |
| 3.4.1.1 Ensayo de absorción y capilaridad | 85 |
| 3.4.1.2 Análisis de los resultados | 86 |
| 3.4.2 Ensayo de Abrasión | 87 |
| 3.4.2.2 Análisis de los resultados..... | 88 |
| 3.4.3 Ensayo de Resistencia a la compresión seca..... | 88 |
| 3.4.3.1 Ensayo de compresión 45% RCD..... | 89 |
| 3.4.3.2 Ensayo de compresión 50% RCD..... | 90 |
| 3.4.3.3 Ensayo de compresión 60% RCD..... | 91 |



| | |
|--|------------|
| 3.4.3.4 Ensayo de compresión 70% RCD..... | 92 |
| 3.4.4 Análisis de resultados generales | 93 |
| 3.5 Resultados finales | 95 |
| | |
| Capitulo 4 Conclusiones | 96 |
| | |
| Conclusiones | 96 |
| Recomendaciones | 99 |
| Bibliografía | 100 |
| Anexos | 106 |



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

PABLO JAVIER MEJÍA PACHECO en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA CON AGREGADOS DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN COMO SUSTITUCIÓN DE LOS AGREGADOS TRADICIONALES EN LA CIUDAD DE SARAGURO, LOJA, ECUADOR", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 17 de Enero del 2018

PABLO JAVIER MEJÍA PACHECO

C.J: 0102963667



Ciáusula de Propiedad Intelectual

PABLO JAVIER MEJÍA PACHECO, autor/a del trabajo de titulación "BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA CON AGREGADOS DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN COMO SUSTITUCIÓN DE LOS AGREGADOS TRADICIONALES EN LA CIUDAD DE SARAGURO, LOJA, ECUADOR certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 17 de Enero del 2018



PABLO JAVIER MEJÍA PACHECO

C.I: 0102963667



UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO
MAESTRÍA EN CONSTRUCCIONES, Programa Especial de Titulación



INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

La construcción como actividad inherente al ser humano, está presente desde los inicios de los tiempos, tras la necesidad de satisfacer sus deseos de albergue y resguardo propio y de los suyos.

El proceso constructivo desde el crepúsculo de la humanidad, hace referencia a la acción de levantar y erguir el primer elemento vertical posible, para que de éste se desarrolle una cubierta simple para cobijo, hasta llegar al sistema constructivo más complejo que podamos nombrar, resultado de las condiciones de vida actuales, a citar: rascacielos, fábricas, puentes, plantas nucleares, autopistas, puertos aéreos y marítimos, bunkers, laboratorios de última generación, túneles y hoteles submarinos, islas artificiales y más construcciones de tipo especial, existentes únicamente en la ficción de los pensadores más audaces a mediados del siglo anterior.

Las obras arquitectónicas y de ingeniería en la actualidad, han rebasado los límites establecidos, haciendo uso de materiales muy interesantes y novedosos gracias al avance vertiginoso de la ciencia y la investigación, logrando la interacción entre la energía y el confort, la materialidad y el diseño, la tecnología con la artesanía y demás pares disímiles hasta hace pocas décadas.

La construcción como actividad llamada a solucionar necesidades habitacionales y de ocupación de la sociedad, se constituye como fuente importante de recursos económicos para diversos sectores sociodemográficos que intervienen directa e indirectamente. Se estima que más de 110 millones de habitantes a nivel mundial están directamente vinculados con esta actividad, sin contar con el sector de la población que provee de servicios, ventas, logística, transporte y afines ([UNEP] United Nations Environment Programme, 2008).

Luego de entender la importancia de esta actividad socioeconómica a nivel global, podemos dimensionar la magnitud del volumen de personas, recursos y materiales que están en constante extracción, producción y movimiento hasta la concreción del proyecto. Sin embargo, como toda actividad de producción, posee una parte muy importante que ha recibido una singular atención desde hace un par de décadas y ésta es la generación de residuos (Aldana y Serpell, 2012).



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En un mundo globalizado y con una trayectoria hacia la tecnificación y producción masiva, quedó rezagada por mucho tiempo e incluso hasta la actualidad la responsabilidad hacia el ambiente y el ecosistema, con acciones que han ido en agresivo debilitamiento de las fuentes de recursos naturales por diversos aspectos; sobreexplotación, desperdicio, contaminación, etcétera.

La producción masiva de materiales de construcción, implica la explotación de recursos naturales con índices de regeneración más lentos que los de extracción, y esto en el caso de ser renovables. La situación se vuelve aún más crítica cuando se habla de recursos no renovables. Una vez producidos y usados en obra, los materiales generan una cantidad apreciable de residuos, que dependiendo del entorno en el que se producen se estiman entre un 15 al 30% del volumen total de desperdicios sólidos (Aldana y Serpell, 2012); (Vásquez Hernández, Botero y Carvajal Arango, 2015).

La disposición de tales residuos de construcción y demolición de obras que ya no son necesarias o que han cumplido su vida útil, se convierten en un tema sujeto a un análisis intenso, ahora ya no es solamente una actividad de carácter residual de la construcción, sino además es un tema de importancia ambiental.

Los lugares para la disposición de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) cada vez son más escasos y lejanos que, sumado a la falta de control, son vertidos en áreas que no son aptas para tal fin, generando problemas ambientales, sociales y geográficos adicionales.

Tras el aumento de la conciencia en la necesidad de proteger el ambiente, desde diversos sectores proactivos de la sociedad, surgen los criterios de cerrar ciclos de vida de los materiales de construcción, como medida paliativa al problema del volumen de residuos a ser depositados en lugares autorizados y no autorizados; además de contribuir a disminuir la explotación de materiales vírgenes para la elaboración de materiales de segunda generación, entendiéndolos como materiales que incorporan en su fabricación a otros que son producto de la reutilización y reciclaje de los que ya culminaron su vida útil.



LA CONSTRUCCIÓN CON TIERRA – aproximación

La tierra “*per se*”, material existente en abundantes cantidades desde inicios de las culturas más primitivas, ha constituido una alternativa importante y viable para la fabricación desde; utensilios de cocina hasta viviendas de diversas tipologías arquitectónicas, que han significado la solución directa de las necesidades humanas. Su importancia como material de construcción radica en la abundancia, variedad, baja cantidad de energía para su procesamiento, fácil manejo, plasticidad y su capacidad de volverse a usar en estado físico-químico natural.

El uso de la tierra como alternativa para la construcción sustentable, va más allá de la investigación y la técnica debido a su armonía con el ambiente y lo que llama más aún la atención es que la mayor parte de la construcción con tierra está concentrada en países menos desarrollados, aunque puede ser encontrada en países de la Unión Europea (Pacheco Torgal, 2014); (Garzón y Martins, 2007).

Existe incremento en el interés alrededor de este sector, a nivel de investigación y proyectos tendientes a mejorar las técnicas tradicionales de construcción con tierra, sin perder expresión y temporalidad en la arquitectura. Situación que ha hecho meritoria la implementación de normativas, tratados y manuales para la construcción con tierra (Minke, 2005); (Bestraten, Hormías y Altemir, 2011).

JUSTIFICACIÓN

BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA, BTC

Los BTC, son bloques elaborados de una masa de tierra, que tienen agregados y adiciones, para mejorar sus propiedades físicas y cumplir con las normas establecidas por regulaciones, que varían de acuerdo al entorno en donde se ubican.

Gracias a la nobleza y plasticidad de la masa elaborada para la fabricación de los BTC, se pueden obtener una gran variedad de formas y tamaños, que facilita la combinación de sistemas constructivos, haciendo que este tipo de mampostería incluso se vuelva estructural (Barros e Imhoff, 2010).



Cada vez son más las propuestas del uso de este tipo de material de construcción; debido a la viabilidad de fabricación, bajo índice de uso de energía para su fabricación y transformación, facilidad en la puesta a punto en obra para la construcción de diversas soluciones habitacionales y ocupación que además de ser económicas requieren bajo nivel de preparación en la mano de obra para su elaboración, manejo y utilización e inclusive, se logra la combinación con técnicas de construcción tradicionales de las localidades.

BTC + RCD

Ya se estableció previamente la problemática de los RCD y las ventajas de los BTC, surge por lo tanto la posibilidad de combinar estos grandes temas como una alternativa sustentable y amigable con el ambiente para la construcción, que aborda el retorno a la tierra como material de construcción y además incorpora el cierre del ciclo de vida de los RCD como agregados del BTC. Intentando encontrar un material que constituya una alternativa en la construcción contemporánea, que cumpla las exigencias de las normativas técnicas y que además signifique una opción para solucionar la problemática de los residuos de construcción y demolición. (Mansour, Jelidi, Cherif y Jabrallah, 2016)

HIPÓTESIS

Los Bloques de Tierra Comprimida (BTC) elaborados con agregados de Residuos de Construcción y Demolición (RCD), producto de la trituración de hormigón; cumplen con las exigencias físico-mecánicas: Ensayo a la Compresión y absorción, para posibilitar su uso en la construcción.



OBJETIVO GENERAL

Elaborar un prototipo de Bloque de Tierra Comprimida (BTC) con suelos de la ciudad de Saraguro, provincia de Loja, con agregados de Residuos de Construcción y Demolición (RCD), en sustitución de agregados vírgenes, que cumplan los requerimientos y estándares mecánicos para su utilización como mampuestos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1-Establecer componentes primarios y secundarios presentes en el área geográfica de estudio, idóneos para la elaboración de BTC, en función de las experiencias obtenidas en otras localidades e identificación de la normativa aplicable.
- 2-Analizar dosificaciones de mezclas para BTC con RCD para establecer comportamientos frente a los ensayos físicos y mecánicos (compresión y absorción), recopilación, tabulación e interpretación de datos.
- 3- Desarrollar un prototipo de BTC con agregados de RCD, en las dosificaciones que presenten mejor comportamiento durante los ensayos, que cumplan con las exigencias físico-mecánicas establecidas en la NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC 5324 para este tipo de material.



METODOLOGÍA

El Proyecto de investigación es de carácter experimental, cuantitativo. Desarrollado mediante la elaboración controlada de probetas para ser sometidas a ensayos físicos y mecánicos (compresión y absorción) en laboratorio, para determinar su comportamiento, obtención de datos, análisis estadístico e interpretación de resultados. El proyecto de investigación está basado en el estudio “Fabricación de bloques de tierra comprimida con adición de residuos de construcción y demolición como reemplazo del agregado pétreo convencional”(Vásquez *et al.*, 2015).

La primera parte de la investigación consiste en una valoración y análisis de la bibliografía y literatura acerca de la construcción con tierra, Residuos de Construcción y Demolición. Como punto de partida, fue preciso la revisión de normativas vigentes para la fabricación de los BTC. Ecuador no cuenta con normativa para este proceso, por lo tanto, el presente estudio estará fundamentado en la NTC, NORMA TECNICA COLOMBIANA 5324 “BLOQUES DE SUELO CEMENTO PARA MUROS Y DIVISIONES. DEFINICIONES. ESPECIFICACIONES. METODOS DE ENSAYO. CONDICIONES DE ENTREGA” debido a la similitud de condiciones técnicas, geográficas, materiales y especificaciones normadas. Tras análisis de la información se define el método idóneo para la elaboración de los BTCs para el presente estudio, que consiste en la utilización de cemento portland tipo IP como estabilizador de suelos y el poder de compactación de 19 MPa de una prensa hidráulica, específica para esta labor. Toda la elaboración del acervo documental será realizada en las inmediaciones de la Universidad de Cuenca y oficinas del investigador.

Se determina componentes primarios y secundarios presentes en el área geográfica de estudio para la elaboración de los BTC en función de las experiencias obtenidas en otras localidades y en función de las normas ASSHTO, ASTM y NTC, en archivos, libros, artículos científicos.

- Establecer el acervo documental de materiales, procesos de fabricación y revisión de normativas.
- Definir el método de elaboración a usar para los BTC que serán tema de investigación.



La segunda parte consiste en el análisis del objeto de la investigación, a través de planteamiento de respuestas al problema, señalando el procedimiento experimental. Es decir: cómo medir y en qué orden y consideraciones tener para realizar las mediciones. Una vez determinadas estas etapas se procede a diseñar el experimento mediante los siguientes pasos: determinar los componentes, los equipos y materias primas, acoplar los componentes, puesta en marcha del experimento, recopilación de datos y comprobar precisión.

Dentro de esta etapa de carácter totalmente experimental, se procede a la elaboración de las probetas que van a aportar con los datos estadísticos, que constituyen la base de la presente investigación en función de lo requerido por la NTC 5324.

Una vez establecidos los parámetros para la elaboración de los BTCs, se procede a la selección de las diferentes mezclas y dosificaciones a usar. En base a experiencias similares. Se toman las dosificaciones apropiadas para las mezclas a ensayar. Se identificará porcentajes de humedad de los suelos, la composición granulométrica de los agregados, mediante ensayos de laboratorio (Vásquez Hernández, Botero y Carvajal Arango 2015).

Los RCD a usar serán los residuos generados por los laboratorios de Ingeniería, Arquitectura de la Universidad de Cuenca y laboratorios privados para tener un acercamiento directo a los métodos de elaboración y calidad de los hormigones. Una vez elaboradas las probetas, se hará el curado y preparación para los ensayos mecánicos (compresión y absorción). Los BTCs serán revisados y preparados para los ensayos mecánicos según lo establece la norma NTC 5324. Se procederá a realizar los ensayos físico-mecánicos de resistencia a la compresión y ensayo de absorción. Registrados los datos obtenidos tras los ensayos, se procederá al análisis y tabulación de datos para establecer resultados de la investigación. Por el carácter experimental del segundo capítulo, se llevará a cabo principalmente en los laboratorios de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Cuenca y en las inmediaciones de la fábrica ECOLadrillos Ecuador.

- Definir proporciones de materiales a usar en las dosificaciones para la elaboración de las probetas.



- Preparación de mezclas, moldeado, control del proceso de fabricación y curado.
- Ensayos mecánicos a las probetas (compresión y absorción).

La tercera y última fase de investigación consiste en el desarrollo del BTC con agregados de RCD luego de realizados los ensayos a las probetas, tabulados los datos obtenidos y analizados, se procede a la elaboración del Bloque de Tierra Comprimida, mismo que ha demostrado cumplir con las exigencias de normativas y estándares para este tipo de material. Posteriormente se procederá a la recopilación de toda la información y datos para proceder con la elaboración de un documento final que encapsule la presente investigación para ser entregado a la Dirección de Post grados de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Cuenca.

- Fabricación del BTC con mejores características según resultados de ensayos.
- Evaluación general del proceso y resumen.
- Redacción del documento.
- Entrega del documento impreso.

DISEÑO DE LOS PROCEDIMIENTOS

- Se realizó el análisis y clasificación del suelo a utilizar proveniente del movimiento de tierras para una cancha de fútbol de la ciudad de Saraguro mediante los ensayos de granulometría, límites de Atterberg, contenido orgánico, contenido de humedad basado en el *Manual de Construcción con Tierra* (Minke, 2005), *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (Das, 1985), la *Norma Técnica Colombiana NTC 5324* y la *American Society for Testing Materials (ASTM)* Los mismos ensayos para la arena tradicional y para los RCD.
- Se usa un molde de acero templado de 14cm x 29cm con una altura de 7cm por la similitud en dimensiones de los mampuestos cerámicos tradicionales y porque representan las dimensiones de fabricación más comunes con una tolerancia de ± 3 mm, como lo dicta la NTC 5324



- La norma NTC 5324 requiere 3 probetas por ensayo. Se realizarán dos ensayos (compresión y absorción) en 6 dosificaciones, son necesarias 36 probetas. Con el propósito de lograr mayor espectro estadístico y datos, se elaboraron un total de 128 BTC en 6 dosificaciones, con una carga de compresión al momento de la fabricación de 19 MPa en la prensa hidráulica, para ser ensayadas en laboratorio.
- Se procede a los ensayos físicos y mecánicos observando la norma NTC 5324 en laboratorios de las Facultades de Arquitectura e Ingeniería de la Universidad de Cuenca, para establecer comportamientos.
- Registro de datos obtenidos en laboratorio para su análisis y establecer comportamientos y conclusiones.

CAPÍTULO PRIMERO

ESTADO DEL ARTE



ANTECEDENTES

1.1 LA CONSTRUCCIÓN. – Análisis Mundial y Local desde una perspectiva económica, social y ambiental

La construcción es una actividad intrínseca al ser humano desde las más antiguas civilizaciones como método a través del cual se logra cobijo y refugio. El avance en la tecnología de fabricación de materiales, sistemas constructivos, la comunicación y la evolución de las culturas provoca que la construcción tenga un rol cada vez más importante dentro de la sociedad, permitiendo desarrollar arquitectura impensable hasta hace apenas un par de décadas atrás (Pacheco y Labrincha, 2013).

La sistematización en la fabricación de materiales y procesos constructivos frenan las expresiones culturales de la arquitectura vernácula, que expresaba con vehemencia características sociales, culturales y tradiciones de las localidades en donde surgieron. La facilidad y disponibilidad de la información a nivel mundial agiliza la globalización, provocando que procesos constructivos ajenos a ciertas zonas geográficas del mundo, ahora constituyan un método común dentro de prácticas constructivas locales relegando al pasado sistemas constructivos locales que han trascendido en el tiempo tras siglos de haber sido mejorados mediante prueba y error, hasta llegar a las técnicas artesanales idóneas para solucionar necesidades de habitación y ocupación.(Mattone, 2007)

A simple vista no se evidencian repercusiones. Sin embargo, desde la perspectiva cultural, surge la interrogante: ¿Qué sucede con la identidad cultural? ¿Qué sucede con la armonía ambiental alcanzada a través del tiempo en las técnicas constructivas tradicionales?, esa identidad que a través de los procesos constructivos locales y tipologías arquitectónicas nos decían claramente en qué lugar del mundo nos encontrábamos.(Rotondaro, 2007)

Por lo tanto, resulta necesario, desde una visión totalitaria de la construcción y su avance hacia el futuro, se estudie la evolución de las técnicas tradicionales de las culturas en donde se desarrollan los procesos constructivos, para mejorar la calidad de las edificaciones, sin quitar seguridad y confort, pero además sin perder de vista



el equilibrio que debe existir entre la arquitectura, la construcción y el ambiente. (Baca, 2007).

El siglo XXI representa el marco perfecto para abordar la construcción desde una visión totalitaria; que permita a su vez continuar el desarrollo e investigación de prácticas tradicionales, para mejorar su calidad y mantener los rasgos culturales locales propios de la población en donde se la lleva a cabo (Barbeta, 2002).

Desde el punto de vista económico, La necesidad de complementar las soluciones habitacionales y de ocupación, con infraestructuras estratégicas de industria, transporte, educación, equipamientos sociales, civiles, gubernamentales y militares, hacen que la construcción “*per se*”, despliegue un abanico inmenso de posibilidades a desarrollar; en las que intervienen directa e indirectamente actores social-demográficos de varios sectores de esta actividad. Constituyéndose como un motor importante de la economía de más de 110 millones de personas a nivel mundial que se encuentran vinculadas directamente con esta actividad, sin contar con los actores vinculados indirectamente que también son parte y se benefician de esta actividad económica. De la población económicamente activa en el Ecuador a marzo del 2016, el 6.30% se encuentra directamente vinculada al sector de la construcción, sin contar con participantes indirectos tales como proveedores de servicios, comerciantes, servicios profesionales, transporte y demás ([INEC] Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2016); ([CES] Consejo Económico y Social, 2016); ([UNEP] United Nations Environment Programme, 2008).

La importancia económica y social de la construcción como generadora de remuneración y bienestar de sus actores, debe ser evaluada desde la perspectiva ambiental, pues resulta imperativo el compromiso de esta industria hacia el ambiente y los daños que junto a otras industrias están provocando, arriesgando el futuro de las próximas generaciones con acciones que podrían provocar cambios irreversibles en el ambiente de no emprender acciones inmediatas, para detener su deterioro y no llegar al punto de no retorno (Ghosh, Haldar, Chatterjee y Ghosh, 2016).



1.2 LA EXPLOTACIÓN DE RECURSOS Y LA GENERACIÓN DE RESIDUOS

El análisis hacia la construcción tiene que ser más extenso, debido a la magnitud global de esta actividad debido a que demanda recursos para su desarrollo y además genera desperdicios.

Para solventar la actividad de la construcción es necesaria la extracción de recursos naturales para a su vez elaborar los diferentes materiales inmersos en esta actividad.

Se estima que para abastecer la industria de la manufactura de materiales de construcción se necesitan aproximadamente el 40% de las materias primas a nivel mundial; cantidad aproximada a 3000 millones de Toneladas anuales de las cuales el 17% implica agua potable, el 70% de madera y utiliza el 20% de la energía mundial durante el proceso de construcción, hasta un 10% de los suelos cultivables y consumidor de materiales pétreos, catalogados como no renovables (Vásquez, Botero y Carvajal, 2015).

Las emisiones de gases invernadero generados durante la manufactura y elaboración de los materiales de construcción, se estiman en 1.8 billones de toneladas métricas hasta el 2004, con un ritmo de crecimiento elevado y la generación del 30% de los residuos sólidos globales (Vásquez, Botero y Carvajal, 2015).

Desde el punto de vista de la generación de residuos en la construcción, localmente el reciclaje es muy bajo y la gestión es casi nula. De ahí la importancia de sugerir para investigaciones posteriores, una metodología para clasificar los desechos, que permita disponer de volúmenes específicos de residuos que fomenten su re inserción en los procesos constructivos (Ghosh, Haldar, Chatterjee y Ghosh, 2016).

Si a través de clasificar y organizar los residuos desde los puntos de generación, como ya se lo realiza en los desechos domésticos, podríamos contar con residuos agrupados para emprender nuevos programas de aplicación y re inserción en la manufactura de materiales de segunda generación, es decir nuevos materiales de construcción, que en lugar de utilizar todo el porcentaje de materias primas vírgenes, haga uso de una buena parte o si es posible en su totalidad, materias primas resultantes de los residuos de construcción y demolición de materiales de primera



generación, y que cumplan con los estándares y normativas que se encuentran vigentes en los medios en donde se desarrollan estos procesos (Serrano y Pérez, 2009); (Gaggino, 2004).

Mediante la adopción de estos criterios, es bastante probable que se pueda contribuir a disminuir la cantidad de desechos vertidos en el planeta, bajar el índice de huella ecológica dejada tras la elaboración de materiales de primera generación y además disminuir el consumo de energía necesarias para la extracción, transporte, fabricación, uso, demolición y vertido de desechos.

Durante el presente trabajo de investigación, enfocaremos nuestra atención a los residuos de hormigón, uno de los materiales con mayores volúmenes de producción y uso en la construcción.

1.3 SOSTENIBILIDAD Y SUSTENTABILIDAD

Desde la cumbre de la Tierra, celebrada en Río de Janeiro, Brasil 1992, surgió en las Américas el concepto de desarrollo sostenible y el pensamiento de que el desarrollo económico debe ir a la par con la protección del ambiente y el progreso social. Desde ahí hasta la fecha el tema ha sido tratado por científicos, civiles, organizaciones y regímenes, al momento de negociar y suscribir acuerdos, más resulta desalentador que todo el discurso sigue siendo una retórica repetitiva para conseguir concesos en lugar de acciones (Heinrich Boll Foundation, 2005).

América sufre de: gran injusticia social que crece cada día, degradación ambiental, lento crecimiento económico que aumenta la brecha entre clases sociales como resultado de políticas centradas en la liberalización del comercio y mercados.

La importancia del tema radica en fomentar iniciativas de investigación académica local, que permitan abordar seriamente la sostenibilidad y aporten significativamente con alternativas viables y tangibles a técnicas constructivas globalizadas, faltas de identidad local y de responsabilidad ambiental.

Resulta imprescindible abordar el tema de la sostenibilidad dentro de la construcción, debido al alto impacto ambiental que genera durante todos los procesos que involucran la extracción, transporte, fabricación, uso y mantenimiento, demolición y vertido.



Hasta ahora se ha manejado un ciclo de vida abierto, unidireccional que va desde la extracción, fabricación, transporte, construcción, uso y mantenimiento, demolición hasta el vertido, lo que implica que, al término de la vida útil de un material, éste se convierte en residuo, deshecho, basura a ser dispuesta en vertederos Fig. 1

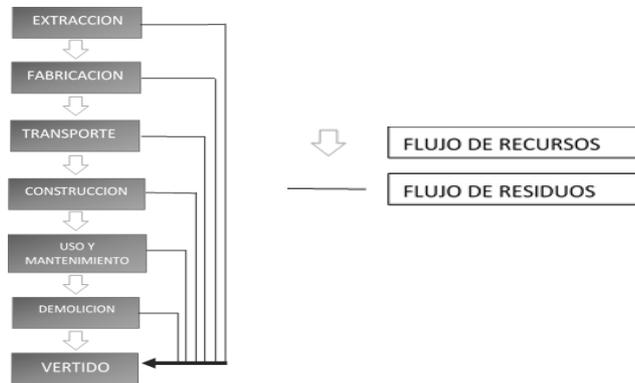


Figura 1. Flujo de recursos y residuos en secuencia lineal (Autor, 2017)

Por lo tanto, la sostenibilidad desde el aspecto físico promueve el cierre de ciclo de vida de los materiales para evitar los desperdicios y residuos generados al final de la vida útil del material, ciclo que se ve impedido por el sistema empleado en la manufactura actual, propio del sistema utilizado desde la revolución industrial.

El concepto de cierre de ciclo de vida consiste en tratar de reducir al mínimo la generación de desechos o mejor aún, la eliminación del concepto de residuo, mediante la anulación de las fases de extracción y vertido haciendo uso de dos nuevos conceptos; la Deconstrucción y el Reciclaje. Fig. 2

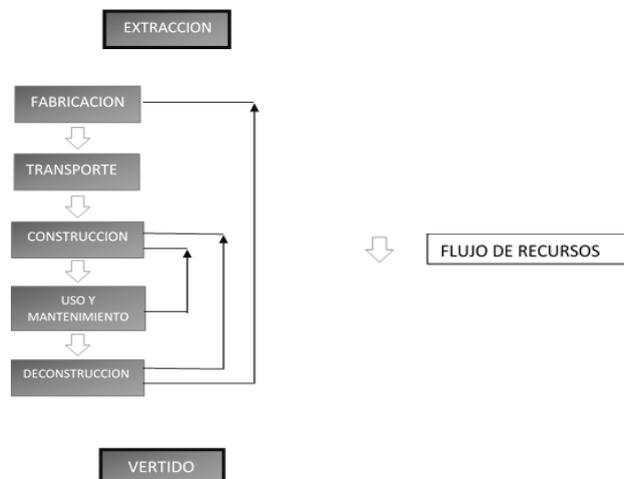


Figura 2. Flujo continuo de recursos y residuos (Autor, 2017)



Actualmente a pesar del avance tecnológico y de producción, el ciclo de secuencia lineal se ha mantenido, circunstancia que permite que los índices de extracción y explotación sean mucho más altos de los que el ecosistema lo permite, por la regeneración y renovación. ([PNUMA] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2001).

El caso de los recursos no renovables la velocidad del consumo, es mayor a la de generación de recursos del planeta. Es una clara demostración de patrones de producción ineficientes, al igual que el consumo ineficiente, adicionalmente, la producción de residuos es mayor a la capacidad de asimilación del ambiente. El sistema de producción de los materiales de construcción debe estar dirigido hacia el cierre de ciclos de vida y ciclos continuos, además de incorporar criterios nuevos para el uso y consumo, como ejemplo: el concepto de consumo sostenible que propone cambiar los patrones de consumo ineficiente por otros más a tono con el desarrollo sostenible, para así apuntalar el criterio de cierre de ciclos de vida en los materiales (Carrizosa, 2000); (UNESCO-PNUMA, 2002).

Otro factor fundamental dentro de lo sustentable y lo sostenible es la emisión de CO² para la fabricación de los materiales estandarizados.

Como un ejemplo en la tabla 1, se procede a citar un estudio realizado en México, para la construcción de una vivienda de interés social de 60.20 m², en el que se utilizan los siguientes materiales:

Tabla 1. Cantidades de insumos en promedio en viviendas de interés social. (Roux y Espuna, 2012)

| Material | Cantidad | Emisiones de CO ₂ /Un | Total de emisiones |
|-------------------|----------------------|----------------------------------|--------------------|
| Concreto | 11,60 m ³ | 0,25 Ton/m ³ | 2,90 Ton |
| Acero | 0,73 Ton | 2,80 Ton / Ton | 2,04 Ton |
| Cemento | 2,00 Ton | 0,00041 Ton/Ton | 0,00082 Ton |
| Block de Concreto | 1127,00 Pzas. | 0,000693 Ton/Pza | 0,78101 Ton |
| TOTAL | | | 5,72183 Ton |

Para una sola vivienda de interés social, de 60.20 m² se liberaron al ambiente 5.72 Ton de CO² y esta cantidad no considera las emisiones de materiales usados en menor cantidad, como accesorios, cobre, plásticos, vidrio, etc.



Se entiende entonces la relevancia del retorno hacia la construcción con tierra como una alternativa óptima y comprometida con el ambiente y del BTC con RCD como una opción real para disminuir la contaminación y sobreexplotación de canteras.

Si existe un avance en la tecnología y producción, debe existir evolución en la sociedad, que genere cambios en sus criterios de consumo y uso de los materiales de construcción, para tener políticas de producción y uso de materiales que sean acordes con la actualidad, que planteen con seriedad la disminución de la huella ecológica y que no sean analizadas únicamente desde la perspectiva económica sino además de ello, se replanteen su rol con el planeta y los cambios ambientales inminentes de continuar con las mismas tendencias.

1.4 ESTADO DE LA EXPLOTACIÓN DE RECURSOS

El crecimiento poblacional demanda mayor número de procesos constructivos. Mientras mayor es la demanda de la construcción, mayor es la demanda de materiales e incrementa a su vez la demanda de recursos renovables y no renovables, al igual que incrementa la logística y transporte necesarios para la producción masiva, hecho que provoca la sobre explotación de canteras existentes y la continua búsqueda de nuevas canteras y fuentes de recursos para la obtención de materias primas vírgenes.

Las fuentes de recursos y canteras explotadas en su mayoría no son renovables y las nuevas cada vez se encuentran más distantes de los centros de acopio y puntos de manufactura.

Para el inicio de funcionamiento de una cantera, la capa vegetal que cubre la fuente de recursos es retirada hasta llegar a los estratos geológicos que se buscan. Si consideramos que a través de los diferentes estratos circulan aguas subterráneas, entendemos entonces que ya estamos realizando una alteración al curso normal de los flujos naturales, por lo tanto, ese cauce será redireccionado provocando erosión y filtración a capas geológicas, que podrían facilitar los desprendimientos y activar planos de fallas (Vásquez, Botero y Carvajal, 2015).

Como resultado del agotamiento de la cantera, la capa vegetal tiene una recuperación muy lenta y por el cambio del perfil geológico es improbable que esos terrenos se vuelvan urbanizables, razón por la cual servirían para vertederos o



rellenos sanitarios, provocando nuevamente cambios en las fuentes hídricas para asentamientos poblacionales cercanos.

Por lo tanto, la extracción de materiales vírgenes resulta una suerte de exterminio de los recursos, especialmente de los no renovables; repitiendo este proceso una y otra vez, hasta terminar las reservas que pudiesen existir hasta encontrar nuevas fuentes.

1.5 LA GENERACIÓN DE RCD

1.5.1 APROXIMACIÓN

1 Producto de la construcción, se generan residuos compuestos generalmente por tierra, concreto, hierro, mampuestos, cerámica, vidrio, pinturas, madera. Los porcentajes son variables y dependen de la fase en la que se encuentra el proyecto y la actividad de la que provengan.(Wu, Yu, Shen, y Liu, 2014); (Serrano y Pérez, 2009).

Ante la falta de prácticas adecuadas, no existe el planeamiento correcto de las obras y esto acrecienta el volumen de desperdicios, aumentando el riesgo de ser destinados a sitios no autorizados, modificando el paisaje y contaminando suelos y aguas subterráneas (Castano, Misle, Lasso, Gómez, y Ocampo, 2013).

Debemos entender los RCD como áridos o agregados finos y gruesos para materiales de segunda generación, apoyándose en las investigaciones que se están desarrollando a nivel mundial, como una opción para la construcción hacia un sendero sostenible y responsable. Aunque ello implique el cambio de pensamiento y la educación ambiental que se debe implantar en los participantes de la construcción, para manejar un sistema de clasificación que permita y facilite la gestión y reciclaje de los residuos o de ser posible se los reutilice en el mismo proyecto, e incluso se vuelva una actividad económica atractiva para ciertos grupos y sectores de la sociedad; ejemplo de ello es la recolección del metal, cartón y papel, actividades que ya se las realiza como una fuente de ingresos para numerosas familias, que no disponen de una fuente fija de ingresos. (Castano, 2013).

Es imprescindible orientar el desarrollo de la construcción hacia un consumo sostenible y la reducción en los índices de generación de escombros, a través de políticas simples a implantarse como norma en los proyectos.



Se podría considerar, por ejemplo:

- Equipos y herramientas adecuados para cada trabajo o actividad,
- Uso de materiales normalizados y dimensiones ajustadas a la línea arquitectónica.
- Espacio de trabajo iluminado, ventilado y de fácil acceso.
- Provisión de materiales mediante sistemas mecanizados.
- Programación de rutas de abastecimiento de materiales.
- Normas de salud ocupacional y seguridad industrial para el manejo adecuado de los materiales.

1.5.2 CONSIDERACIONES PARA FACILITAR LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS

1.5.2.1 SUELO ÚTIL RESULTADO DE LA FASE CIMENTACIÓN Y EXCAVACIONES.

G. Minke en su manual de construcción asegura que el 70% de los suelos son aptos para la construcción, entonces el material resultante de la excavación en fase de cimentación podría representar una fuente de recursos para la construcción con tierra. Es importante entonces mantener los suelos sin contaminar con otros residuos que pudiesen alterar las características propias del suelo, tales como: aceites, grasas, calcáreos, orgánicos o evitar acumularlos de manera que incremente su contenido de humedad que pueda afectar las partículas cohesivas.

1.5.2.2 SEPARACIÓN DE RESIDUOS EN LA FUENTE

Para conseguir un mejor aprovechamiento de los materiales recuperados y mejor calidad de los residuos, se necesitan ciertas prácticas que permitan separar los residuos en la fuente, de esta manera se obtienen grupos específicos de residuos. El Catálogo Europeo de Desperdicios (EWC) clasifica los RCD en 8 categorías: 1) concreto, ladrillo y cerámicos; 2) madera, vidrio y plástico; 3) mezclas bituminosas, carbón y alquitranes; 4) metales y aleaciones; 5) suelo, piedras y áridos; 6) materiales aislantes y asbestos; 7) yesos y calcáreos; 8) varios. Dependiendo de la nación europea, las categorías se extienden hasta un total de 13 situación que facilita la cuantificación y búsqueda de posibles aplicaciones para cerrar los ciclos de vida y



además establecer la composición de cada grupo (Butera, Christensen y Astrup, 2015); (Ghosh, Haldar, Chatterjee y Ghosh, 2016).

Importante:

- Vigilar el proceso de separación de los residuos para evitar que se contaminen o mezclen con otros residuos.
- Constancia en la separación de los residuos para asegurar su pureza y fomentar su reutilización.
- Evitar acumulación de los residuos no reciclables o reutilizables, destinándolos a sitios autorizados para su disposición final.

1.5.2.3 CONTROL DE ESCOMBROS

Se identifican 5 causas más comunes para la generación de residuos y escombros: (Ghosh, Haldar, Chatterjee y Ghosh, 2016)

- Cortes sueltos de cerámicos y placas de yeso.
- Daños de materiales debido a manipulación o almacenaje inadecuados.
- Errores en adquisición y sobrante de materiales.
- Correcciones de obra por errores, mano de obra defectuosa o procesos constructivos inadecuados.
- Uso ineficiente de materiales o usos temporales de vallas publicitarias, cerramientos provisionales.

Es importante que desde el inicio de la obra se haga un seguimiento de los residuos y se designe un espacio especialmente dedicado a éstos para que no interrumpen las demás actividades y que tampoco se contaminen.

Se debe establecer la ubicación para los receptáculos de los residuos y su ruta de evacuación hacia escombreras y vertederos. Involucrar activamente a los actores de la obra para que conozcan del proceso y aseguren su éxito, pues especialmente de ellos depende la mayor o menor grado de contaminación de los residuos.



1.5.2.4 CONTROL DE RESIDUOS DE CONCRETO, MORTEROS, ESTRUCTURAS Y MAMPOSTERÍAS.

Durante la fase estructural de la edificación es muy común contar con desperdicios de concreto y morteros, acero, madera, plástico, desmoldantes grasos. Por lo tanto, es imperativo el almacenaje selectivo de los materiales que se puedan reciclar. En medida de lo posible separar los residuos de mampuestos de los morteros.

Debido a que localmente no se cuenta con un método de clasificación de RCD, es muy difícil cuantificar los volúmenes de los componentes en los residuos. Diversos estudios asignan porcentajes a los componentes en función de los rubros a demoler de acuerdo a su grado de participación, pero hacen hincapié en que los porcentajes son aplicables únicamente para su entorno, debido a los sistemas constructivos que utilizan (Ghosh, Haldar, Chatterjee y Ghosh, 2016).

Sin embargo, de los 5 grupos mayores que estudian: 1) cementicios y concretos; 2) mamposterías; 3) enlucidos; 4) calcáreos; 5) acero, los que registran mayor cantidad de residuos son 1) cementicios y concretos, 5) acero 2) Mamposterías.

1.5.2.5 RESIDUOS DE INSTALACIONES

Los residuos en esta etapa se producen en menores cantidades; tuberías metálicas y plásticas, cables, alambres, pegantes y envases. Son mucho más fáciles de entregarlos a recicladores locales e incluso son muy apetecidos por la presencia del cobre.

1.5.2.6 AGUA Y LIMPIEZA DE LA OBRA

Las aguas residuales deberían ser usadas nuevamente para la elaboración de concretos o morteros y los lodos utilizados como agregado fino. Esta situación de evidencia ya localmente, las productoras de hormigón locales cuentan con decantadores para reutilizar el agua de lavado de maquinaria, la que luego de un ligero tratamiento es agregada a los hormigones que producen.

La limpieza de la obra debe ser diaria para facilitar la recuperación de los materiales y evitar la contaminación.



1.6 LA CONSTRUCCIÓN CON TIERRA

1.6.1 APROXIMACIÓN HISTÓRICA

El uso de la tierra como material para la construcción, es tan antiguo como la historia de la humanidad. Se cuentan con vestigios del uso del barro como técnica de construcción de hace más de 9000 años, adobes moldeados a mano desde hace 8000 años en Jericó; moldes y utensilios de hace 5000 años en Sumeria y Perú. En Europa y Asia se pueden encontrar edificaciones hechas en el VII y VI a.C. En Grecia se conservan muros elaborados con bloques de arcilla secada al sol desde el siglo IV d.C. (Minke, 2005); (Vásquez, 2015).

En África está en plena vigencia la construcción con tierra cruda y cocida, al igual que en países de bajo desarrollo, tal es el caso que construcciones relativamente nuevas han seguido las técnicas constructivas antiguas en países como Egipto y Costa de Marfil.

En América la construcción con tierra se encuentra muy vigente desde la época precolombina hasta la actualidad, especialmente en los países andinos y luego de la conquista española, las técnicas constructivas sufren una especie de fusión con las traídas por los invasores hispanos, dando paso así a técnicas como el bahareque y el tapial (Sánchez, 2007).

Como se puede observar en la figura 3, gran parte de la población mundial hace uso de la construcción con tierra como sistema constructivo apto para la fabricación de su vivienda.



Figura 3. Esquema estimativo de arquitectura en tierra (CRAterra, 2012)



Las técnicas de construcción con tierra, quedaron relegadas a estratos poblacionales de bajos recursos que no fueron capaces de asimilar los métodos constructivos modernos con materiales estandarizados a nivel mundial.

La construcción con tierra se fundamenta en el uso del adobe, el tapial, el bahareque, el suelo cemento, el empañetado con tierra y otras técnicas más o menos difundidas dependiendo de la ubicación geográfica.

En la Fig. 4 observamos un ejemplo de arquitectura en tierra, la ciudad de Orion, que se ha mantenido en el tiempo, conservando su espíritu y presencia cultural.



Figura 4. Ciudad de Orion, Marruecos. (López, 2013)

La Fig. 5 muestra los Tolous de Hakka, China, edificaciones circulares de un par de siglos, resueltas hasta en 4 plantas, en las que habitan numerosas familias y a las que el tiempo no ha afectado sustancialmente.



Figura 5. Los Tulous de Hakka, Chuxi, China. (Wakan, 2013)

1.6.2 LA TIERRA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

En la mayoría de climas no húmedos del planeta, la tierra ha sido considerada el material de construcción natural más antiguo, predominante y abundante, no solamente por estas cualidades sino además por que brinda las prestaciones de confort del hormigón, ladrillo y sílicocalcáreos. Consiste en respuestas lógicas a necesidades locales y condicionantes mediante recursos disponibles en el entorno.



Respuestas tangibles conseguidas por prueba y error a través de milenios, selección de materia prima, elaboración, almacenaje, accesorios, aparejos, elementos que juntos forman un sistema constructivo sujeto a la lógica de optimización de recursos, criterios que han trascendido por generaciones sucesivas. Fig. 6, La mezquita de Djenné, Tombuctu, un ejemplo de arquitectura religiosa en tierra. (Baca, 2007).



Figura 6. Mezquita de Djenné, Malí, Tomboctu. (UNESCO, 2012)



Figura 7. Chan Chan, Perú. (UNESCO, 2012)

En la fig. 7, la ciudad de Chan Chan, Perú, hace 600 años la ciudad más grande de América, y la ciudad en tierra más grande del mundo.

La UNESCO y World Heritage Earthen Architecture Programme WHEAP, elaboran un catálogo de las estructuras y edificaciones patrimoniales de la humanidad alrededor del mundo en el 2012, con ejemplos importantes de la validez de la construcción en Tierra y de lo logrado hace siglos. (UNESCO, 2012).



La facilidad de extracción la hace tan disponible para plantear su uso en los proyectos habitacionales, tal es así que en inicios de obra ya se puede encontrar la tierra fruto de excavaciones para la cimentación. El avance en la investigación de este material de construcción lo presenta como válido no solamente para el autoconstrucción sino además como interesante para la construcción industrializada actual.

Actualmente podemos nombrar ejemplos contemporáneos de arquitectura trabajada en tierra; a citar; la comuna de Villefontaine consta de una aldea de 65 viviendas elaboradas en tierra cocida "Village Terre", se desarrolla en 2.2 Hectáreas constituyéndose como un ejemplo en desarrollo sostenible. Ver Figura 8 (Vásquez *et al.*, 2015).



Figura 8. Village Terre, Villefontaine, Francia. (Villefontaine, 2017)

CENTRO CULTURAL Nk'Mip, Canadá

El centro cultural del desierto canadiense Nk'Mip, Fig. 9, otra muestra de la contemporaneidad de la construcción en tierra, utiliza la técnica del tapial, combinando un sistema de muros portantes con estructura de madera para cubiertas.

Ubicado en el único desierto de Canadá, proyectado para mostrar la cultura de la tribu OKAR.



Figuras 9. Nk'Mip, Centro Cultural, Canadá. (Plataforma Arquitectura, 2006)



1.6.3 ACERCA DE LA COSTRUCCIÓN CON BARRO; *CONOCIMIENTOS NECESARIOS PARA LA CONSTRUCCIÓN CON TIERRA*

Como definición de barro, podemos decir que: es la mezcla de arcilla, limos, arena, agregados y agua. Debemos acotar ciertas ventajas de la construcción con Barro:

- La fuente de materia prima es ilimitada.
- Los procesos de producción son muy sencillos, no precisan cocción que implica el uso de energía térmica.
- El lugar de extracción puede ser el mismo del proyecto, reduciendo emisiones y huella ecológica.
- El consumo de agua en la elaboración del Tapial y BTC es bastante baja, porque utiliza la humedad propia del terreno.
- Los suelos producto del movimiento y excavaciones, son inmediatamente triturados y reutilizados en el mismo proyecto.
- La demolición de un elemento de tierra no necesita la cantidad de energía que se requiere para otros materiales de construcción, y es muy fácil ponerla nuevamente en obra.
- El uso de estabilizadores como cal o cemento en porcentaje respecto al peso total es tan bajo que no representa peligro alguno para el ambiente (Bestraten *et al.*, 2011)

El uso del barro en la construcción presenta ciertas características que lo diferencia del uso de materiales estandarizados (Cagnon, Aubert, Coutand, y Magniont, 2014):

- Su composición varía de acuerdo a su localización geográfica, en cantidades y porcentajes de arcillas, limos, arena y agregados. No existe formulación específica, resulta necesario un diagnóstico del tipo de suelo para establecer las características y modificaciones a su composición mineralógica y granulométrica, mediante aditivos, estabilizadores o agregados.
- Contracción al secarse. - Para la fase de amasado y preparación el barro necesita agua para activar la capacidad aglomerante de la arcilla, al secarse la masa pierde agua por la evaporación y está sujeto a fisuras con una



retracción lineal entre el 3% - 12% para morteros y adobes, y del 0.4% - 2% en técnicas como el tapial o bloques comprimidos. Para disminuir esta patología se debe mejorar la composición granulométrica. (Aubert y Gasc Barbier, 2012)

- No es un material impermeable. - Necesita ser protegido de la lluvia y las heladas, especialmente en estado húmedo. Se puede recurrir a aleros, impermeabilizantes superficiales, tratamientos de superficies.
- El barro regula la humedad ambiental. - Tiene la capacidad de absorción y desorción de humedad más rápido y en mayor cantidad que otros materiales de construcción; regula y estabiliza el clima interior y puede absorber aumentos súbitos de Humedad Relativa (HR) hasta 30 veces más que los ladrillos cocidos, dentro de un lapso de 48hrs.
- Es un acumulador de energía térmica. - Como otros materiales densos, tiene la capacidad de almacenar calor, lo que resulta ideal para zonas geográficas con grandes fluctuaciones de temperatura entre 0° y 20°, o donde se necesita acumular calor de manera pasiva y sostenible.
- Economiza materiales de construcción y costos de transporte. - Esta condición aplica si la tierra resultante del proceso de excavación de los cimientos es utilizada directamente en sitio, pudiéndola modificar sus características en caso de ser necesario, mediante la adición de arcillas, agregados, estabilizantes o aditivos.
- Es apropiado para la Autoconstrucción. - La gran ventaja de este material de construcción radica en la poca necesidad de mano de obra calificada o preparada, basta con la presencia de una persona con el conocimiento y experiencia, para guiar a los colaboradores que haciendo uso de herramientas sencillas y económicas pueden realizar los trabajos sin mayor inconveniente. Como acotación, las técnicas constructivas con barro demandan mayor cantidad de mano de obra que las técnicas industrializadas.
- Preserva la madera y otros materiales de construcción orgánicos. - Debido a su alta capilaridad y bajo equilibrio de humedad que varía entre el 0.4% al 6% en peso, el barro mantiene secos los elementos de madera cuando entran en contacto. Insectos y hongos tampoco pueden atacar la madera puesto que necesitan un mínimo de humedad entre el 14% al 18% y los hongos precisan humedades mayores al 20%.



1.6.3.1 TAPIAL

Esta técnica consiste en construir muros con tierra arcillosa, compactada a golpes y empleando un encofrado deslizante para contenerla. El tapial es una técnica constructiva tradicional. El encofrado suele ser de madera unido por un travesaño Fig. 10, se vierte tierra en capas de 10 o 15 cm, y es compactada mediante apisonado, posteriormente se corre el encofrado a otra posición para continuar el muro.

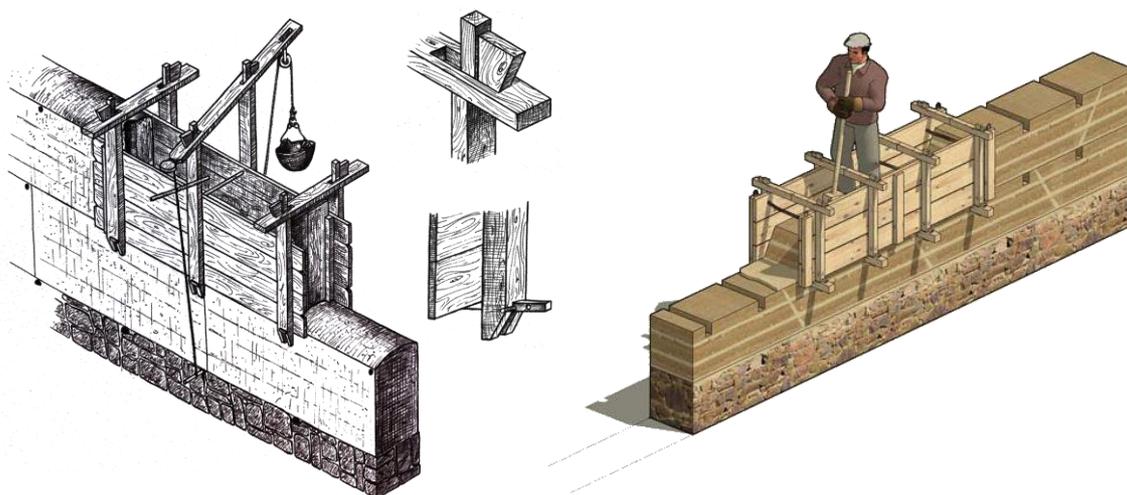


Figura 10. Técnicas de construcción para tapial. Fuente: (Valencia, 2014).

En ocasiones se le añaden a la tierra aditivos como paja o crin de caballo para estabilizarlo, pequeñas piedras o elementos de madera dispuestos transversalmente en el interior de los muros para que aumente la resistencia manteniendo la elasticidad de la construcción sin añadir peso.

Debido a que el tapial tiende a absorber agua, a menudo es conveniente disponer la tapia sobre un basamento de piedra para evitar la degradación rápida en esa zona clave para la estabilidad.

Ventajas:

- Excelente Comportamiento Térmico debido a un bajo índice de conductividad calórica.
- Excelente Aislamiento Acústico, ya que un acabado rugoso mejora aún la absorción acústica.
- Aislamiento a Radiaciones Electromagnéticas, pues la tierra cruda aísla las ondas electro-magnéticas de alta frecuencia y por tanto los posibles efectos negativos sobre el cuerpo humano.



- Incombustibilidad contra el Fuego, por no ser afectado por el fuego el material.
- Económico y Ecológico, ya que generalmente se extrae la tierra cruda del lugar, minimizando el costo de adquisición y transporte de materiales. Al no precisar transformación, no requiere gasto de energía.
- Excelente equilibrio de intercambio de humedad interior – exterior, proporcionando un interior saludable y benéfico al ser humano.
- En relación a lo que nos interesa, la utilización de materiales locales poco manufacturados facilita la reducción de emisiones de CO², reduce la dependencia material y energética del exterior, recupera los sistemas constructivos tradicionales basados en la gestión de recursos existentes en el medio y permite la reducción de costos de obra.
- En general, todos los sistemas de tierra aseguran la optimización de los recursos naturales mediante una baja carga tecnológica, y ayudan a regular el intercambio de vapor de agua y calor entre el interior y el exterior, favorecen el estado de confort interior de la vivienda.



Figura 11. Arquitectura en tapial. Fuente: (Criativa, 2017)

La Fig. 11 muestra un ejemplo de arquitectura doméstica en Tapial, y su resolución en exteriores e interiores, combinado con otros materiales como madera y piedra.

Patologías:

- Las edificaciones realizadas en tapial generalmente son vulnerables en zonas sísmicas, no cuentan con condiciones de sismo resistencia adecuadas.



- Los principales agentes que causan lesiones son: el agua, la temperatura y el viento. El agua afecta fundamentalmente a las superficies expuestas a la intemperie, a su coronación que no suele estar protegida y a las juntas. La ascensión del agua por capilaridad es muy baja en la tapia endurecida, no sobrepasando nunca valores aproximados de 40 cm. Sin embargo, es más sensible al salpiqueo de aguas lluvias y a los ciclos hielo-deshielo en zonas de climas fríos y húmedos.
- Resiste mal a la tracción, por lo que existe la presencia de fisuras.
- El arrastre de sales higroscópicas de los morteros del zócalo de apoyo, o existentes en la propia tierra, puede provocar la aparición de eflorescencias en la superficie, produciendo pérdida del material en el plano exterior y posterior caída del revestimiento exterior de protección.

Aunque actualmente ha caído en desuso, fue un sistema de construcción difundido en zonas donde escaseaba el material pétreo. Buenos ejemplos de este tipo de arquitectura en tapial son gran parte de la Gran Muralla China, la Alhambra de Granada, entre otros.

1.6.3.2 ADOBE

El adobe, una pieza para construcción hecha de una masa de barro (arcilla y arena), mezclado a veces con paja, moldeada en forma de ladrillo y secada al sol; con ellos se construyen diversos tipos de elementos constructivos, como paredes, muros y arcos. Fig. 12. La técnica de elaborarlos y su uso están extendidos por todo el mundo.



Figura 12. Fabricación de adobes. Fuente: (ECYT-AR, 2014)



La construcción con adobes presenta la ventaja de su similitud formal, constructiva y estética con el ladrillo de tierra cocido.

En caso de disponer de mano de obra, especializada o no, esta técnica es muy adecuada en función de los procesos de fabricación que permiten la integración de gran cantidad de personas durante el pisado y moldeado, aunque se debe tener en cuenta el control durante la producción para minimizar la variación de dimensiones e irregularidades en las piezas.

El proceso también depende de las áreas de pisado, secado y acopio, que influyen en la continuidad de producción mientras se espera que se sequen las piezas anteriores. Por lo tanto, esta técnica requiere cierta previsión de infraestructura para contar con superficies horizontales y limpias, y zonas protegidas para evitar que el agua de lluvia afecte a la producción.

Fallas comunes en las construcciones con adobes pueden ser reducidas mediante los controles de la tierra y los estabilizadores, el dimensionado adecuado de las piezas y los muros, el dimensionado adecuado de la estructura, tanto de la cimentación como del muro portante, o las vigas, pilares y la protección frente a la lluvia y a la humedad natural del terreno.

Ventajas:

Algunas de las ventajas de este tipo de construcción son:

- Mayor plasticidad de formas que las otras técnicas; la posibilidad de realizar bóvedas, cúpulas, plantas circulares e irregulares.
- Ejecución más simple que la tierra encofrada, menos tecnicismo, menos cantidad de mano de obra.
- Rapidez de ejecución de obra una vez dispuesto el material.
- Realización de aberturas e instalación de trabajos de carpintería en forma más simple que en el tapial.
- Rapidez de acabado por el revoque, ya que el secado se realiza antes de la construcción de los muros.



Patologías e inconvenientes:

- Las patologías son muy similares a las que se presentan en los muros de tapial
- Algunos inconvenientes en los adobes: menos homogeneidad que el tapial, necesidad de un buen revoque, caso contrario los mampuestos se erosionan. Necesidad de una superficie importante para el secado de los bloques. Necesidad de clima seco para la preparación, fragilidad del mampuesto, riesgo de roturas.

1.6.3.3 BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA BTC

Los bloques de tierra comprimida o BTC son bloques elaborados con tierra cruda en forma de ladrillo a los que se les ha aplicado una compresión que permita cohesionar de mejor manera las partículas de los componentes.

La construcción con BTC, por múltiples ventajas, como: bajo consumo de energía para su elaboración, no genera contaminación y principalmente se puede hacer uso del propio suelo donde se emplaza el proyecto.(Pacheco y Jalali, 2012)

Los BTC y Bloques de suelo cemento BSC, suelen usar aditivos y estabilizadores para controlar la presencia de la arcilla generalmente se los fabrican con la tierra producto de la cimentación y excavaciones. En caso de ser necesario se modifica su granulometría o adiciona estabilizadores como el cemento o cal para desarrollar las características particulares del producto. Se obtienen por compresión estática o dinámica del suelo en estado húmedo, seguido de un desmolde inmediato. Generalmente instalados con juntas de mortero que sirven para la construcción de muros y divisiones.” (Jaramillo, Plata, y Ríos, 2014), (Nagaraj, Sravan, Arun, y Jagadish, 2014), (Roux & Espuna, 2012).

Existen diversos formatos para los bloques, siendo los más comunes el de 7.5 x 15 x 29cm y el de 10x20x40cm., sin embargo, el tamaño depende del molde que vaya a ser utilizado y de la máquina que se disponga. Pueden ser usados en obras de albañilería, fachadas vistas y recubiertas, muros estructurales y de relleno, obras de mampostería y divisiones interiores.(Arteaga, Medina, y Gutierrez, 2011)



Dentro de un proceso artesanal se hace uso de una máquina que funciona mediante la acción y fuerza del operador, la CINVA RAM, difundida a nivel mundial inventada por el Ing. Raúl Ramírez en 1952, en el Centro Interamericano de Vivienda y planeamiento, con sede en Bogotá Colombia, con la que se llega a compresiones de hasta 7Mpa, dependiendo de la calibración. En el ámbito semi industrial, se pueden usar diversos modelos, dependiendo del país de origen. Prensas semiautomáticas que pueden fabricar una o dos unidades a la vez según el molde que utilicen (Martínez, 2012).

La preparación del suelo es muy sencilla, se realiza un tamizado para retirar las partículas y agregados de gran tamaño, para ser triturados si se trata de suelo o evitarlos en el caso de piedras. El diámetro máximo recomendado es de 5mm para lograr facilitar la cohesión y la compactación entre partículas.

La determinación de la composición del suelo para la fabricación de BTC a nivel semi industrial se la realiza mediante ensayos en laboratorio, mecánicos y físicos, que permitan establecer el tamaño efectivo, contenido de materia orgánica, contenido de humedad, índice de liquidez y plasticidad, clasificación del suelo. Sin embargo, para la elaboración de BTC artesanalmente, existen pruebas de campo, no tan exactas pero pueden realizarse en el sitio y en muy corto tiempo para determinar si la mezcla es aceptable para una aplicación específica (Minke, 2005); (Das, 1985)

1. *ENSAYO DEL OLOR* El barro puro no presenta olor, es inodoro, pero el contenido de materia orgánica en descomposición genera un olor a moho.
2. *ENSAYO DE LA MORDEDURA* Ligeramente se muerde la muestra, barros arenosos producen una sensación desagradable, los arcillosos producen una sensación pegajosa, suave o harinosa.
3. *ENSAYO DEL LAVADO* Se frota una muestra húmeda en las manos, si se sienten claramente las partículas significa que es arenoso o gravoso, si la muestra es pegajosa pero las manos se las puede limpiar frotándose una vez secas el barro es limoso. Si la muestra es pegajosa, pero para limpiar las manos hay que lavarlas, el barro es arcilloso.
4. *ENSAYO DEL CORTE* Se prepara una bola de barro, si al cortarla con un cuchillo la superficie de corte es brillante, el barro es arcilloso. Si la superficie es opaca, el barro es limoso.



5. *ENSAYO DE SEDIMENTACIÓN* Se necesita un frasco de vidrio transparente que facilite la visualización y que permita el movimiento de los contenidos. Se vierte dentro aproximadamente los dos tercios de su capacidad con agua, y luego aproximadamente una muestra de barro equivalente al tercio del frasco. Se tapa bien el frasco para evitar derrames y se lo agita vigorosamente, se deja en reposo 24 horas. Las partículas de mayor tamaño se precipitan con mayor rapidez hacia el fondo del envase por gravedad, mientras que las más finas permanecen en floculación por mayor tiempo y su precipitación toma más tiempo. La estratificación de las capas nos brinda una estimación de la proporción de los componentes, este ensayo no sirve para establecer proporcionalidades entre las capas de arcilla, limo, arena y grava.
6. *ENSAYO DE LA CAIDA DE LA BOLA* la muestra debe tener apenas la humedad suficiente como para formar una bola de 4 cm de diámetro. Se la deja caer desde una altura de 1.5 m sobre una superficie plana.
 - Si la bola se aplana ligeramente con pocas fisuras, significa alta capacidad aglutinante por alto contenido de arcilla, necesita arena,
 - La bola se aplana y fisura mayormente pero no se rompe, significa buena capacidad aglutinante.
 - La bola se fisura y disgrega parcialmente; pobre capacidad aglutinante pero su composición permite el uso en adobes o tierra apisonada.
 - La bola se disgrega completamente, capacidad aglutinante insuficiente, significa suelo no apto para la construcción.
7. *ENSAYO DE CONSISTENCIA* Se prepara una bola de 2 a 3 cm de diámetro, se la moldea a un rollo de 3 mm de diámetro, si el rollo se parte o fisura antes de alcanzar los 3 mm de diámetro se humecta la muestra hasta que el rollo haya alcanzado los 3 mm. Con esta mezcla se forma una bola nuevamente.
 - Si no es posible formarla entonces el contenido de arena es muy alto y el contenido de arcilla es muy bajo.
 - Si la bola se la puede deshacer con fuerza entre los dedos pulgar e índice, significa mucha arcilla y que requiere arena.
 - Si la bola se deshace fácilmente, significa poco contenido de arcilla.
 - Luego de determinar la aptitud del barro para su utilización en la elaboración de BTC, se lo puede mezclar con un estabilizador como



cemento o cal, variando entre un 5 y 8% dependiendo de la composición del suelo.

El molde se lo rellena en dos capas, equivalentes a la mitad de la altura del molde, asegurando la distribución homogénea del material y tratando de expulsar el aire que pueda quedar contenido, luego se aplica la compresión de la máquina y el desmolde de la unidad, se lo traslada hasta el sitio de curado y almacenaje.

1.6.3.3.1 TIPOS DE MÁQUINAS

Para el proceso de compactación existen diferentes tipos de máquinas, entre manuales, semi industriales y completamente industriales.

Respecto a la maquinaria manual Fig. 13, la mayoría es una variación de la CINVA RAM, inventada por el Ing. Raúl Ramírez, chileno, para el CENTRO INTERAMERICANO DE VIVIENDA (CIV), con sede en Bogotá, Colombia en la década de 1950, fue pensada para comunidades en las que se fomenta el autoconstrucción debido a su independencia energética, pues solamente hace falta la fuerza del operario, para la compactación del bloque mediante una palanca. Existen modelos para la fabricación de uno o dos bloques simultáneos y la forma del bloque depende de la infinidad de modelos de bloques que se pueden conseguir e inclusive fabricar. Son máquinas muy versátiles y económicas.



Figura 13. Máquina CINVA RAM con molde macizo o molde tipo LEGO.
(Papercrete, 2010)

En cuanto a máquinas semi industriales e industriales, existen en una gama muy variada de tamaños, producción, moldes, estáticas, transportables, auto recargables. Máquinas pensadas para el emprendimiento de pequeña y mediana empresa como una forma de crecimiento económico en sectores deprimidos de la sociedad. Con

fabricantes en varios países; Estados Unidos, China, Brasil, Alemania, Italia entre otros.



Figura 14. Prensas industriales para fabricación de BTC (Qingdao, 2017)

La versatilidad de los moldes es otro factor de gran importancia, pues existen varios tipos de ladrillos en cuanto a formas y tamaños, pero además se pueden fabricar bloques accesorios, para remates de esquinas, para conducción de instalaciones, para dinteles.



Figura 15. tipos de BTC. (Rocha, 2015)

Ventajas

- Unidades muy regulares en tamaño y peso.
- Producción en serie.
- Posibilidad de almacenaje inmediato.



- El potencial de fabricación en formas diversas.
- Permite disminuir el uso del material si el molde tiene agujeros.
- Puede tener cámara de aire que ayuda a la regulación térmica y acústica.
- Conserva todas las propiedades de la construcción en tierra.
- Es de fácil deconstrucción y reciclaje.
- No necesita cocción.
- Se pueden fabricar todo tipo de bloques accesorios para esquinas, acanalados, dinteles, etc.
- Disminución de fisuras en muros por la baja presencia de agua durante la fabricación.
- Mayor resistencia a la compresión que los adobes.
- Las posibilidades constructivas son similares a las realizadas con ladrillos cocidos.

Patologías

Dentro de las pocas patologías que se pueden presentar en los BTC:

- Precisa de tratamiento de superficies o impermeabilización para ser colocado en exteriores.
- Precisa de combinación con otros sistemas constructivos para mejorar su comportamiento sismoresistente.
- Se recomienda usar una cadena de hormigón para separarlo del suelo y así evitar humedad.

Como desventajas podemos acotar lo siguiente:

- La fabricación es más lenta que otros materiales estandarizados.
- El costo de producción se ve directamente afectado por las maquinarias que puedan ser adquiridas para la elaboración.

1.6.3.3.2 PROPIEDADES DE LA MEZCLA

Para el proceso de fabricación del BTC, se necesita que la tierra contenga humedad entre el 20 y 25 % y que presente una composición granulométrica fina con un diámetro máximo de partículas de 5 mm, en varios casos es necesario realizar la



estabilización del suelo mediante la adición de cal entre el 3 y 15% o cemento entre el 5 y 15%, los que agregan resistencia e impermeabilidad a la unidad producida.

Según investigaciones, mediante el tratamiento químico basado en la adición de aditivos como cal o cemento, se puede mejorar la resistencia a la compresión, alcanzando valores de hasta 75 Kg/cm². (Barbeta, 2002),(Aubert, Fabbri, Morel, y Maillard, 2013)

El uso del cemento o cal como estabilizantes, es recomendado para suelos lateríticos. La lateritia es un suelo propio de las regiones cálidas, con baja cantidad de sílice y alta cantidad de hierro y alúmina. También se recomiendan estabilizantes en suelos que tienen altos porcentajes de óxido de silicio o dióxido de silicio SiO₂ más conocido como sílice que está presente de manera natural en la arena, llamado también cuarzo. La alúmina, es el óxido de aluminio, junto con la sílice, son los componentes más importantes de las arcillas, aportando a su resistencia y aumento de temperatura de maduración, para mejorar las prestaciones de los BTC y su comportamiento frente a los requerimientos exigidos por las normativas aplicables, para ser considerado como un material de construcción. (Martínez, 2012), (Nagaraj et al., 2014).

También ha sido demostrado que mediante la adición de paja o fibras naturales incrementa la resistencia a la tracción hasta un 35%, que mejoran las características del suelo contra la acción el salitre, mejoran la resistencia a la abrasión y mejoran la resistencia a la compresión mediante el uso de emulsión asfáltica hasta el 10% en peso, cemento entre el 5% y 15% en peso, cal hidratada hasta el 15% en peso (Martínez, 2012), (Danso, Martinson, Ali y Williams, 2015), (Barbeta, 2002), (Kijjanapanich, Annachhatre, Esposito, van Hullebusch, y Lens, 2013)

1.6.3.3.3 PROCESO DE FABRICACIÓN

El concepto utilizado para la fabricación del BTC es muy sencillo, consiste en tener el suelo listo, un molde de la forma y tamaño que se quiere para el BTC, una tapa para el molde, accionada con una palanca para compactar el material dentro del molde y que a la vez expulsa el bloque desde el interior del molde una vez compactado.



Para este proceso, existen muchas variaciones, pero generalmente se cuenta con la CINVA RAM, Fig. 16 una máquina de acción manual, difundida ampliamente a nivel mundial, accionada por la fuerza del operador y la palanca de la máquina como multiplicador de esa fuerza para lograr una compresión al BTC de hasta 7Mpa, aproximadamente.

Si hablamos de una maquina manual que depende de la fuerza del operador, resulta conveniente la disponibilidad de varios operarios para evitar que el cansancio influya directamente en la calidad del bloque, pues como más adelante veremos, la presión ejercida por la máquina al BTC es directamente proporcional a la compactación del bloque, condición que aporta resistencia a la compresión.



Figura 16. Elaboración del BTC en la CINVA Ram
(Criativa, 2015)

1.6.3.3.4 DIMENSIONES DEL BLOQUE

Vienen dadas principalmente por la facilidad para tomarlos con una sola mano al momento de su colocación.

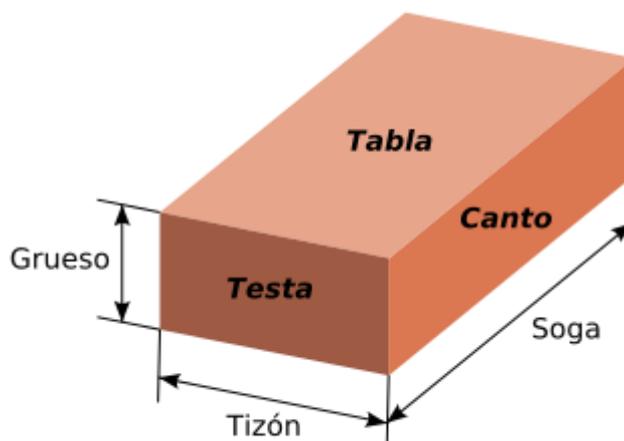


Figura 17. Nomenclatura de las superficies. (Autor, 2017)



En la Fig. 17 observamos los nombres de las superficies del bloque, llamando a la longitud como *soga*, al ancho como *tizón* y al alto se lo denomina *grueso*. Las diferentes caras del bloque reciben el nombre de *tabla*, que es la mayor superficie, *canto* y *testa*, la *soga* corresponde a dos veces el *tizón* más una *junta*, a la que se la considera de 1 cm. Generalmente se respeta la proporcionalidad del doble. Sin embargo, las dimensiones de los bloques pueden variar en función de los moldes utilizados, pero las medidas más comunes son de 7.5 x 15 x 29 cm, o 10 x 15 x 29, lo importante es que el bloque se pueda manejar con una sola mano.

Esta condición es muy importante para el momento de la elaboración, pues cuando el bloque está fresco y sale de la máquina se lo debe sujetar con cuidado por los bordes, para no dañar las aristas y poder ponerlo en posición para el curado, secado y almacenaje.

1.6.3.4 BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA BTC CON AGREGADOS DE RCD

Debido a la problemática de los residuos de construcción y demolición RCD, que implica la falta de cierre de ciclos de vida de los materiales, la alta huella ecológica debido a la producción de materiales estandarizados para que al final generen cantidades de residuos, (entre el 10% y 20%) dependiendo del contexto geográfico. Generalmente compuestos por grupos grandes pero no limitados a restos de: 1) Ladrillo cocido, 2) Yesos, empastes y pinturas, 3) restos de hormigón, 4) suelo, 5) no reciclables, 6) Metales 7) Vidrios y cerámicos (Ghosh *et al.*, 2016).

El reciclaje es una opción para disminuir el despilfarro de recursos y materias primas, la sobreexplotación de canteras y el abuso de la logística que conlleva.

Surge la propuesta de un material de construcción que involucre dos paradigmas completamente pertinentes: por un lado, la sostenibilidad y responsabilidad hacia un consumo sostenido de los materiales de construcción, sin que esto vaya en desmedro de la calidad, confort y economía y por otro lado el tema ambiental y el retorno a la construcción con tierra, que coadyuven a disminuir el impacto negativo que estamos provocando con la contaminación. Surge la idea en la unión de dos paradigmas para un resultado que permita una alternativa viable y tangible de la construcción. Por un lado, la exploración de alternativas para el retorno a la construcción con tierra y por otro la sostenibilidad y cierre de ciclos de vida de materiales de construcción.



Para el desarrollo de los BTC, que al igual que el adobe, hace uso de suelos, los cuales pueden contener altas cantidades de arcilla, también se puede hacer uso de ciertos modificadores y estabilizadores, tales como el Hidróxido de Calcio (cal), o el cemento portland tipo IP (Basha, Hashim, Mahmud, y Muntohar, 2005),(Adam y Agib, 2001),(Toirac, 2008).

Todos los suelos se componen de rocas desintegradas, materia orgánica descompuesta y sales minerales solubles. Los suelos son clasificados de acuerdo a los tamaños de las partículas por las que están formados bajo un sistema usado en la Ingeniería Civil. Este sistema de clasificación se basa en los componentes del suelo, considerando a los cuatro principales: grava, arena, limo y arcilla. (Adam y Agib, 2001).

Tabla 2. Clasificación de los componentes del suelo.
(Adam y Agib, 2001)

| COMPONENTE | | RANGOS DE DIAMETRO DE PARTÍCULAS (mm) |
|------------|--------|---------------------------------------|
| GRAVA | gruesa | 20,00 - 60,00 |
| | media | 6,00 - 20,00 |
| | finas | 2,00 - 6,00 |
| ARENA | gruesa | 0,60 - 2,00 |
| | media | 0,20 - 0,60 |
| | finas | 0,060 - 0,20 |
| LIMO | grueso | 0,20 - 0,60 |
| | medio | 0,006 - 0,020 |
| | fino | 0,002 - 0,006 |
| ARCILLA | | menos de 0,002 |

Dentro de los componentes del suelo, las arcillas se constituyen como los más importantes, puesto que son las que van a aportar a la cohesión de los demás componentes.

Para fabricar un BTC de buena calidad y durable, se requiere de un tipo de suelo que contenga entre el 50 y 70 % de grava fina y arena para formar el cuerpo del bloque, junto con el arcilla y limo entre 15 y 20% que serán los componentes que van a aglutinar a las demás partes y mantenerlas juntas bajo la acción del agua. El uso de un estabilizante apropiado como cemento portland tipo IP, hidróxido de calcio o emulsiones bitumínicas entre el 3 y el 15% es necesario para bajar la expansión linear que se produce cuando se agrega el agua al suelo.



1.6.4 TÉCNICAS DE ESTABILIZACIÓN DE LOS SUELOS

1.6.4.1 ESTABILIZADORES

El modificar las propiedades del suelo agregando otro material para mejorar la durabilidad, se llama Estabilización del Suelo, método que ha sido usado desde 1940 en adelante, principalmente para la construcción vial. (Cid, Mazarrón, y Cañas, 2012)

El principal componente del suelo que permite su uso como material de construcción debido a su capacidad aglutinante es la arcilla, porque provee de cohesión y adherencia a los demás componentes, sin embargo, por la capacidad de absorción de agua y pérdida de humedad, aumenta y pierde volumen, lo que incrementa la presencia de fisuras, que eventualmente en casos extremos termina en disgregación o desintegración. Para tener un suelo adecuado para la construcción, que sirva mejor y que sea más durable es necesario hacer uso de un material adicional para que la mezcla gane resistencia. Dentro de los métodos artesanales la paja, el estiércol animal, aceites naturales y extractos de plantas han sido usados como estabilizadores en muchas regiones, pero, aunque tienen la ventaja de ser de bajo costo, no son muy durables y necesitan mantenimiento o ser renovados después de una fuerte estación invernal o lluviosa. Surgen entonces, tras la investigación científica, nuevos métodos de estabilización de suelos, desarrollados tras la construcción vial. (Das, 1985), (Sitton y Story, 2016), (Cid-Falceto *et al.*, 2012).

Varios estabilizadores han sido probados, tales como: cemento portland, materiales bituminosos, yeso laminado, álcalis, hidróxido de calcio, cloruro de sodio, cloruro de calcio, compuestos de aluminio, silicatos, resinas, polímeros, y desperdicios agrícolas e industriales, Los más usados son: el cemento portland, la cal y materiales bituminosos por su bajo costo y disponibilidad. El uso del estabilizador adecuado mejora la resistencia a la compresión del suelo hasta el 500%, aumentando además la resistencia a la abrasión. (Adam y Agib, 2001).

Una buena resistencia a la abrasión se puede obtener:

- Incrementando la densidad del suelo.



- Adición de un estabilizador que influya en la cohesión de los componentes.

Cuando un suelo es estabilizado exitosamente uno o más de los siguientes efectos serán evidentes:

- Incremento de la resistencia y cohesión del suelo.
- Reducción de la permeabilidad del suelo.
- El suelo gana repelencia al agua.
- Incremento de la durabilidad del suelo.
- El suelo se encoge y expande en menor magnitud en condiciones de humedad.

1.6.4.2 ESTABILIZACIÓN MECÁNICA. –

Consiste en la aplicación de una carga de compactación al momento de elaborar del bloque para que mediante la compresión se disminuya en la mayor cantidad posible la presencia de vacíos para así incrementar la densidad del suelo. Los efectos principales son el incrementar la resistencia a la compresión y reducir la permeabilidad.(Riza y Rahman, 2014)

La capacidad de compresión del suelo depende en gran medida de: su composición, la humedad presente durante la compactación y la fuerza aplicada durante compresión. Para lograr mejores resultados, es conveniente trabajar en combinación con estabilizantes adicionales como cal o cemento, también en el tipo de prensas a utilizar para el moldeado. Por ejemplo, una máquina para producción artesanal CINVA ram ejerce una fuerza de compresión desde 2Mpa hasta 7MPa, pero si logramos elevar la fuerza a 10 Mpa, podemos disminuir la cantidad del estabilizador por temas de economía. Así en el caso del cemento se puede bajar el contenido entre el 4% y 6% en suelos con un índice de contracción de hasta 25 mm (Kinuthia, 2014).



1.6.4.3 ESTABILIZACIÓN QUÍMICA CON CEMENTO. –

La adición de agua hidrata al cemento Portland tipo IP, el más comercial y disponible. La reacción produce un gel cementicio independiente del suelo. Este gel se compone de hidratos de silicato de calcio, hidratos de aluminato de calcio y cal hidratada. Los dos primeros compuestos forman el grueso principal del gel de cemento, mientras que la cal, se deposita como una fase sólida cristalina separada.

El proceso de cementación da lugar a la deposición entre las partículas del suelo de un aglutinante insoluble capaz de incrustar las partículas del suelo en una matriz de gel cementicio. La penetración del gel en todo el proceso de hidratación del suelo depende del tiempo, la temperatura y el tipo de cemento. La cal liberada durante la hidratación del cemento reacciona adicionalmente con la fracción arcillosa formando enlaces cementicios adicionales.

Las mezclas suelo-cemento se deben compactar inmediatamente después de mezclar para no romper el gel recién creado y por lo tanto reducir el fortalecimiento. La función básica de la cementación es hacer que el suelo sea resistente al agua reduciendo el hinchamiento y aumentando su resistencia a la compresión. (Adam y Agib, 2001)

Respecto al proceso de cementación, penetración y aglutinado, varios factores deben ser considerados. Los procesos pueden variar en función del tipo de suelo, así el cemento es considerado como un buen estabilizador para suelos granulares, pero no lo es tanto para suelos arcillosos pues requiere una mayor cantidad de cemento, lo que influye directamente sobre los costos. El rango de cantidad de cemento para una buena estabilización de un suelo está entre el 3% y 18% del peso (Riza y Rahman, 2014).

La estabilización se la puede realizar con cal, materiales bituminosos, yeso, puzolanas y compuestos con alto contenido de nitrógeno que aporta a la cohesión de las partículas. Otros estabilizadores como paja, fibras naturales y orgánicas son usados, aunque no son estabilizadores activos sin embargo aportan al decremento de la reducción o encogimiento por pérdida de humedad del suelo, muy común entre los suelos con alto contenido de arcillas. (Aubert, Magniont, Tribout, y Bertron, 2016)



Existen vestigios de como los romanos y egipcios desarrollaron sistemas cementicios duales que hacían uso de ladrillos con paja y luego desarrollaron tecnologías en base a la calcinación del yeso para la obtención de la cal viva, y de ahí en adelante fue ampliamente usada, destacando los sistemas cementicios de arcilla – cal – puzolanas, luego descubrieron el uso de la ceniza volcánica lo que ayudó más aún a mejorar las argamasas. Las estructuras hechas con estos sistemas permanecen hasta ahora como prueba de su calidad.

Los ladrillos y bloques de tierra son materiales de construcción comunes para la vivienda, su historia es larga, al igual que las tecnologías para su fabricación y como el uso de materiales compuestos que hacen uso de fibras naturales como la paja para incrementar resistencia y para minimizar trizaduras y disgregación durante su vida útil. (Aubert y Gasc Barbier, 2012).

La selección de materiales para la elaboración de los bloques ha estado en función de la locación en la que se desarrollan los proyectos. La mayoría de comunidades han manejado con éxito el uso de las arcillas de diferentes plasticidades para lograr una cohesión básica entre las partículas. (Kinuthia, 2014)

Los factores que determinan la durabilidad de los bloques de tierra son muy parecidos a los factores del concreto y varían en un amplio rango sin embargo los más importantes son: estabilizante, agregados, aglomerante, agua, factores varios, (Kinuthia, 2014).

- ESTABILIZANTE

Uno de los factores que determinará la durabilidad del bloque durante su vida útil es el estabilizante, lo que requiere un análisis previo del tipo de suelo a utilizarse y su adecuada composición, para determinar si necesita estabilización o la adición de otros compuestos tales como:

- AGREGADOS

De manera similar al hormigón, los agregados juegan un rol muy importante en los elementos de suelo-cemento, por lo tanto, están llamados a cumplir los mismos roles que los agregados y áridos en el concreto, tanto como para dar volumen, así



como para lograr la cohesión entre partículas que lleven a buenas resistencias frente a los esfuerzos mecánicos y cargas.

La textura superficial de los agregados también requiere atención puesto que afecta directamente a la absorción de agua y a la integración de los aglomerantes con las demás partículas que conforman el BTC.

A mayor tamaño de partículas en los agregados, mayor será la necesidad de aglomerante, factor que se vuelve crítico en dosificaciones con contenido inferior al 5%, es importante entonces lograr una buena gradación de los agregados a usarse para un buen rendimiento y desempeño de los BTC. (Kinuthia, 2014)

- CEMENTO O AGLOMERANTE

Debido a que el cemento generalmente es fabricado bajo procesos muy estandarizados y controlados, resulta lógico y predecible el aporte a la durabilidad de los BTC cuando es usado en las cantidades correctas y apropiadas. Su costo comparado con el suelo, arena y agua es más elevado, entonces conviene mantenerlo en porcentajes menores al 10%. Lo que afecta a la durabilidad de los BTC es la cantidad de cemento mas no su calidad. Entonces el reto de los fabricantes de BTC radica en asegurar que el cemento sea usado de manera para poder lograr la durabilidad esperada de los mampuestos.

- AGUA

A excepción del agua de mar, la mayoría de fuentes de agua son aptas para los sistemas cementicios y sus aplicaciones, obviando la costosa purificación del agua antes de usar para la reacción con el cemento.

En realidad, es la cantidad de agua agregada a la mezcla lo que preocupa más que la calidad del agua, debido al conflicto que existe entre la cantidad necesaria para reaccionar con el cemento y la trabajabilidad de la mezcla.

Como sabemos, el exceso de agua dentro de mezclas en las que interviene el cemento va en proporción directamente inversa a la resistencia final a esfuerzos de carga y prestaciones mecánicas de los elementos elaborados.



- OTROS FACTORES

El exceso de limos y sales presentes en los materiales usados pueden ser un problema para la durabilidad, circunstancia que provoca decoloraciones, eflorescencias que podrían terminar en disgregaciones de las partículas de los BTC.

1.7 ÁREA GEOGRAFICA DE ESTUDIO

Saraguro, zona con un perfil montañoso antiguo, de volcanes inactivos, Su cabecera, Saraguro, pequeña ciudad en la provincia de Loja, Ecuador. Ubicada en un sector de la sierra austral a 2500 msnm. Fig. 17, con una tradición en la producción de ladrillos y elementos cocidos de arcilla para la construcción. Una temperatura anual promedio de 13 °C, y con un 60% de la población que habita en el sector rural.

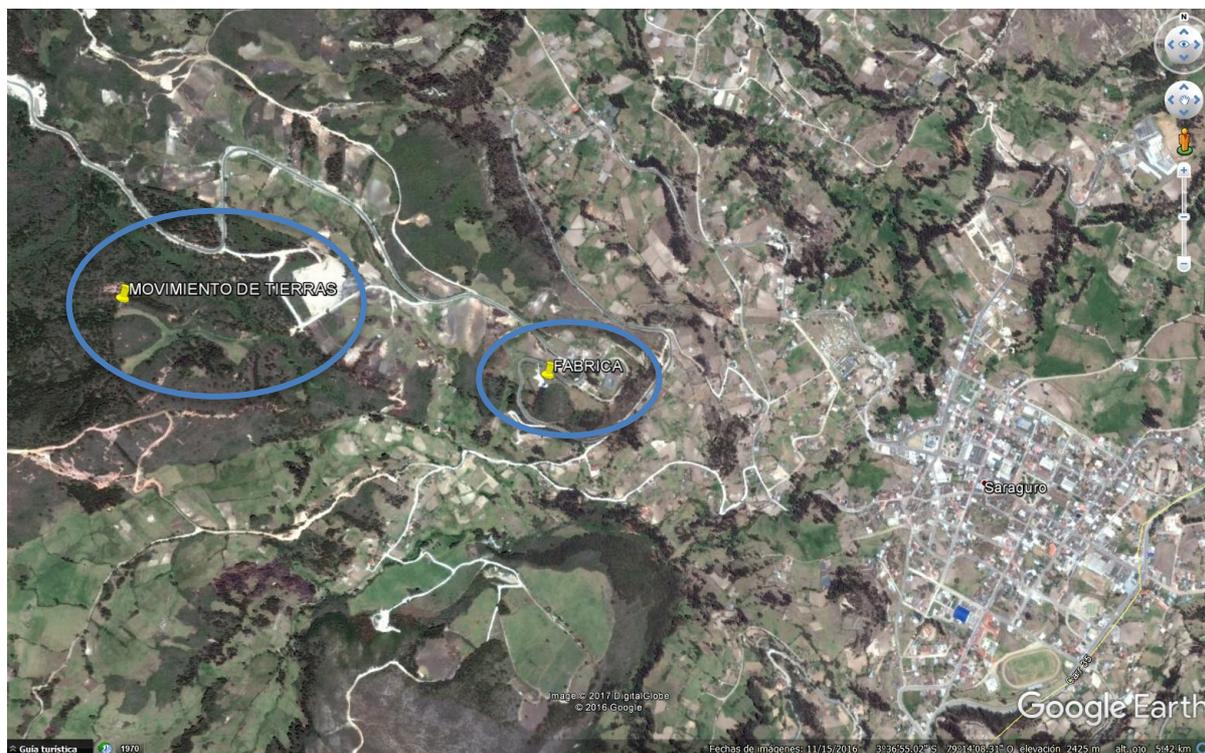


Figura 17. Imagen Satelital. (Google Earth, 2017)

Una zona rica en suelos con alto contenido de arcillas y depósitos estratigráficos de áridos formadas por rocas metamórficas, que datan desde la era Paleozoica junto con rocas de origen magmático intrusivas (granitos, granodioritas). Influenciada por el impacto de las canteras para la extracción de pétreos y arenas de mina. No cuenta con cursos acuíferos que signifiquen una fuente de pétreos de canto rodado o arena lavada. Las rocas meteorizadas ofrecen capas de suelo en diferentes colores como:



amarillo. Rojo. Negro, gris claro y oscuro; factor que depende de la oxidación y acumulación de la materia orgánica.

Los suelos cuentan con las siguientes características:

- Predominancia de arcillas entre 30 y 50%.
- El PH fluctúa entre neutro y alcalino (7 – 8).
- La cantidad de materia orgánica y de nitrógeno es media; la cantidad presente de fósforo es baja y el contenido de potasio es alta, especialmente en zonas altas.

Tabla 3. Catastro de áridos y pétreos en la ciudad de Saraguro. (autor,2017)

| CATASTRO DE ARIDOS Y PÉTREOS | | | | | | | |
|------------------------------|--------|----------------------------------|---|-----------------|---------------|-----------|-------------------|
| Nro. | Código | Rep. Legal | Nombre de Concesión o permisos de Minería Artesanal | Nro. de Cuerpos | Nro. De Fojas | Estado | Observación |
| 1 | 690441 | Medina María Romelia | CHACAPUTO | 1 | 001-059 | INSCRITA | PERMISO ARTESANAL |
| 2 | 690465 | Armijos Ordóñez Carlos Marcelo | ARMIZADA | 1 | 001-031 | INSCRITA | PERMISO ARTESANAL |
| 3 | 690767 | Contento Medina María Ines | CANICAPA III | 1 | 001-038 | INSCRITA | PERMISO ARTESANAL |
| 4 | 690768 | Japón Contento Ricardo Augusto | CANICAPA II | 1 | 001-036 | INSCRITA | PERMISO ARTESANAL |
| 5 | 690883 | Armijo Quezada Norman David | ARMIZADA III | 1 | 001-032 | INSCRITA | PERMISO ARTESANAL |
| 6 | 690891 | González Guamán Angel Leonardo | PALESTINA | 1 | 001-025 | INSCRITA | PERMISO ARTESANAL |
| 7 | 690912 | Silva Pachar Karen Andrea | ARMIZADA II | 1 | 001-024 | INSCRITA | PERMISO ARTESANAL |
| 8 | 690959 | Zhunaula Sosoranga Angel Rodrigo | Ntra. Sra. De las ANGUSTIAS | 1 | 001-025 | INSCRITA | PERMISO ARTESANAL |
| 9 | 690981 | Ochoa Japón Santiago | SANTIAGO | 1 | 001-015 | INSCRITA | PERMISO ARTESANAL |
| 10 | 690643 | Puchaicela Gualán Ramón Marcelo | RAMON | 1 | 001-051 | INSCRITA | PERMISO ARTESANAL |
| 11 | 690893 | Espinosa Pachar Xavier Fernando | ESPINOSA GOLDEN 3 | 1 | 001-028 | INSCRITA | PERMISO ARTESANAL |
| 12 | 601006 | Curillo Patino Jamileth Eulalia | JENIFFER 1 | 3 | 001-0268 | VIGENTE | CONCESIÓN |
| 13 | 600735 | Calle Picón Sara | SEÑOR DE LA BUENA ESPERANZA | 3 | 001-297 | VIGENTE | CONCESIÓN |
| 14 | 600934 | Tapia Savedra Raul Bolívar | JAVIER | 6 | 001-582 | VIGENTE | CONCESIÓN |
| 15 | 600575 | Ordóñez Espinosa Flora Luz | RAMOS HUAYCO | 6 | 001-803 | VIGENTE | CONCESIÓN |
| 16 | 601095 | Cabrera Gonzales Hilda Macrina | NUEVO PORVENIR | 1 | 001-153 | ARCHIVADA | CONCESIÓN |
| 17 | 601107 | Vacacela Lozano Angel Polivio | LOMA DE RAMOS | 3 | 001-306 | ARCHIVADA | CONCESIÓN |
| 18 | 601175 | Salinas Granda Victor Irrael | GERMAN JUNIOR | 3 | 001-306 | ARCHIVADA | CONCESIÓN |
| 19 | 601155 | Armijos Salinas Jorge Enrique | JA | 1 | 001-153 | ARCHIVADA | CONCESIÓN |

Casi el 45% del cantón está cubierto por suelos de clase VII, que significa: inapropiados para actividades agropecuarias, sin embargo, pueden albergar actividad



de explotación forestal con eventuales árboles frutales. Estos suelos se encuentran en zonas con pendientes sobre el 58% con usos mezclados entre forestales y silvopastoriles. Un 15% restante está ocupado por suelos no aptos para usos agropecuarios y forestales, con un 30% aproximadamente restante para cultivos intensivos. El porcentaje restante se cataloga como suelos de cultivo permanente, pastizal y forestal.

La extracción de áridos está muy poco regulada, es así que existe un único registro de canteras y minas denominado Catastro de Áridos y Pétreos. Tabla 3.

Bajo el análisis de la Tabla 3, de las 19 canteras autorizadas solamente 4 se encuentran vigentes, pero en la realidad, no necesariamente son las únicas en funcionamiento. Tampoco muestra que tipo de extracción es la que realiza cada una de las canteras registradas, ni las reservas aproximadas de material.

1.7.1 RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN EN SARAGURO.

La gestión de RCD en la ciudad de Saraguro es deficiente, pues hasta la última administración del GAD Municipal, los escombros fueron depositados en las riberas del río Sinincápac.

A partir de la presente administración se designa al relleno sanitario de Yucucápac para el vertido de RCD junto con los desechos comunes de la ciudad. Este relleno sanitario se encuentra ubicado a 10 Km del centro de la ciudad y el transporte de los residuos se lo realiza en volquetas.

Se evidencia el impacto ambiental producido en el área de estudio, pues en base a lo planteado anteriormente, advertimos los riesgos de la falta de gestión de RCD y de mezclarlos con los desechos tradicionales. Provocando contaminación de cursos acuíferos y topografía circundante.

1.8 NORMATIVAS

A pesar de la difusión de la tierra como material de construcción, la parte normativa se encuentra muy dispersa, a continuación, abordamos el panorama



normativo para la construcción con tierra cruda a nivel internacional, desarrollado por diferentes organismos de normalización o autoridades del ramo.

Existen alrededor de 55 documentos normativos localizados para la construcción con tierra alrededor del globo, que abordan todos los métodos de construcción en tierra cruda, sin embargo, por lo extenso del tema y los objetivos de la investigación Onos encasillaremos en los Bloques de Tierra Comprimida (Cid, Mazarrón, y Cañas, 2011).

Tabla 4. Normas alrededor del mundo, por contenidos (Cid et al., 2011)

| País Grupo | Norma Reglamento | REF. | EST. | Técnica | Campo de aplicación | Selección de suelos | Requisitos de productos | Ensayos | Fabricación | Construcción | Diseño |
|-----------------|--------------------|------|--|---|--|---------------------|-------------------------|---------|-------------|--------------|--------|
| Brasil1 | NBR 8491,1986. | 7 | X | Boque comprimido macizo | Condiciones exigibles para recibir los bloques | X | X | | | | |
| | NBR 8492,1986. | 8 | | | Ensayos de resistencia a compresión y absorción de agua para bloques | | | X | | | |
| | NBR 10832,1989. | 9 | | | Procedimiento de fabricación con prensa manual/hidráulica | X | | | X | | |
| | NBR 10833,1989. | 10 | | Boque comprimido macizo y perforado | | | X | | X | | |
| | NBR 10834,1994. | 11 | | Boque comprimido perforado sin función estructural. | Condiciones de recepción | X | X | | | | |
| | NBR 10835,1994. | 12 | | | Forma y dimensiones de los bloques | | X | | | | |
| | NBR 10836,1994. | 13 | | | Ensayos de resistencia a compresión y absorción de agua | | | X | | | |
| | NBR 12023,1992. | 14 | | Boques suelo- cemento | Procedimientos de ensayos | | | | X | | |
| | NBR 12024,1992. | 15 | | | | | | | X | | |
| | NBR 12025,1990. | 16 | | | | | | | X | | |
| | NBR 13554,1996. | 17 | | | | | | | X | | |
| NBR 13555,1996. | 18 | | | | | | X | | | | |
| | NBR 13553,1996. | 19 | Pared monolítica sin función estructural | Condiciones exigibles para los materiales para paredes monolíticas sin función estructural. | X | X | | | | | |
| Colombia 2 | NTC 5324,2004. | 20 | X | Bloques macizos de suelo-cemento para muros y divisiones. | Caracterización y métodos de ensayo de los bloques macizos suelo-cemento. | X | X | X | | | |
| EEUU 3 | NMAC, 14.7.4,2004. | 21 | | Adobe, Bloques de tierra comprimida y tapial | Reglamento de construcción | X | X | X | | X | |
| 4 | ASTM, E2392 M-10 | 22 | | Adobe, tapial | Guía para construcción de sistemas con tierras | X | | X | X | X | |
| España 5 | UNE 41410:2008 | 23 | | Bloques de tierra comprimida | Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo | X | X | X | | | |
| Francia 6 | XP P13-901,2001 | 24 | | Bloques de tierra comprimida | Terminología, dimensiones y métodos de ensayo | X | X | X | | | |
| India 7 | IS 2110:1980. | 25 | X | Pared in-situ de suelo-cemento | Especificaciones técnicas para paredes no mayores de 3,2m de altura y ancho 300mm muros de carga o >200mm particiones. | X | X | | | X | |
| | IS 1725:1982. | 26 | X | Bloques de tierra comprimidos y estabilizados | Requisitos y pruebas para bloques de Procedimientos de ensayos. | X | X | X | | | |
| | IS 13827:1993 | 27 | | Adobe, tapial | Directrices para la mejora de la resistencia sísmica de edificios de tierra | | X | | | X | |



Tabla 4. Normas alrededor del mundo, por contenidos (Cid *et al.*, 2011)

| País Grupo | Norma Reglamento | REF. | EST. | Técnica | Campo de aplicación | Selección de suelos | Requisitos de productos | Ensayos | Fabricación | Construcción | Diseño |
|--------------------|----------------------|------|-----------------------------------|--|---|---------------------|-------------------------|---------|-------------|--------------|--------|
| Kenya 8 | KS 02-1070:1,1999. | 30 | X | Bloques de suelo estabilizados con cemento o cal | Requisitos para construcción con este bloque | X | X | X | | | |
| Nueva Zelanda 9 | NZS 4297,1998. | 32 | | Adobe, bloque comprimido, tierra vertida, tapial | Diseño estructural y de durabilidad de las edificaciones de tierra | | | | | X | X |
| | NZS 4298,1998. | 33 | | | Caracterización de materiales y especificaciones de construcción para el uso de tierra cruda. Procedimientos de ensayos | X | X | X | X | X | |
| | NZS 4299,1999. | 34 | | Adobe, bloque comprimido, tapial | Requisitos de diseño y construcción para adobe, bloques comprimidos o tapial que no necesitan diseño específico. | | | | | X | X |
| Perú 10 | NTE E 0.80, 2000 | 35 | | Adobe | Requisitos para la construcción de adobe simple y adobe estabilizado | X | X | X | X | X | X |
| 11 | NTP E 331.201, 1979 | 36 | X | Adobe estabilizado con asfalto | Definiciones, condiciones generales y requisitos | | X | X | X | | |
| | NTP E 331.202, 1979. | 37 | | | Procedimientos de ensayo | X | | | | | |
| | NTP E 331.203, 1979. | 38 | | | Muestreo y recepción | | X | | | | |
| Regional África 12 | ARS 670, 1996 | 39 | | Bloques de tierra comprimida | Terminología BTC. | X | | | | | |
| | ARS 671, 1996 | 40 | | | Clasificar los BTC | | | | | | |
| | ARS 672, 1996 | 41 | | | Clasificación de morteros de tierra | | | | | | |
| | ARS 673, 1996 | 42 | | | Definir formas de albañería | | | | | | |
| | ARS 674, 1996 | 43 | | | Requisitos de BTC ordinarios | X | X | | | | |
| | ARS 675, 1996 | 44 | | | Requisitos aplicables a BTC vistos | X | X | | | | |
| | ARS 676, 1996 | 45 | | | Requisitos de morteros ordinarios | | X | | | | |
| | ARS 677, 1996 | 46 | | | Requisitos de morteros vistos | | X | X | | | |
| | ARS 678, 1996 | 47 | | | Requisitos para albañería revestida | | | | | X | X |
| | ARS 679, 1996 | 48 | | | Requisitos para albañería vista | | | | | X | X |
| | ARS 680, 1996 | 49 | | | Estado del arte fabricación BTC | X | | | | X | |
| | ARS 681, 1996 | 50 | | | Estado del arte para morteros tierra. | X | | | | X | |
| ARS 682, 1996 | 51 | | Estado del arte para construcción | | | | | | X | | |
| ARS 683, 1996 | 52 | | Pruebas requeridas | X | X | | | | | | |
| Sir Lanka 13 | SLS 1382-1:2009 | 53 | X | Bloques de tierra comprimida | Requerimientos | X | X | | | | |
| | SLS 1382-2:2009 | 54 | | Bloques de tierra comprimida | Metodos de ensayo | | | X | | | |
| | SLS 1382-3:2009 | 55 | | Bloques de tierra comprimida | Guía sobre producción, diseño y construcción | | | | X | X | X |
| Túnez 14 | NT 21.33:1996 | 56 | | Bloques de tierra comprimida | Especificaciones para BTC ordinarios, características geométricas, físico- químicas... | | X | X | | | |
| | NT 21.35:1996 | 57 | | | Definiciones y clasificación de BTC | | X | | | | |
| Zimbabue 15 | SAZS 724, 2001. | 61 | | Tapial | Guías para el diseño, construcción y ensayos para estructuras de tapial. | X | X | X | | X | X |

J. Cid, en su artículo “Las normativas de construcción con tierra en el mundo”, hace un análisis de las 55 normas, ubicándolas dentro de 15 grupos en función de parámetros tales como: el lugar de emisión y la entidad emisora. Tabla 4

Debido a la ausencia de normativa técnica aplicable a los BTC dentro del entorno de estudio, Ecuador, haremos referencia a:



- Norma Técnica Colombiana ICONTEC NTC 5324 *“BLOQUES DE SUELO CEMENTO PARA MUROS Y DIVISIONES. DEFINICIONES. ESPECIFICACIONES. METODOS DE ENSAYO, CONDICIONES DE ENTREGA”*, que a su vez es idéntica (IDT) a:
- Norma AFNOR XP P 13-901:2001 Blocs de Terre Comprimée Pour Murs et Cloisons. Definitions, Spécifications, Méthodes d’essai, Conditions de Reception.
- Norma Española AENOR UNE 41410 “Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo”. (Une 41410, 2008)
- NBR 10833 – Fabricação de tijolo e bloco de solo cimento com utilizacao de prensa manual ou hidráulica - Procedimento 2013. (ABNT, 2013)
- NBR 10834 – Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural. Especificação. 1994. (ABNT, 1994a)
- NBR 10835 – Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural – Forma e dimensões. Padronização. 1989
- NBR 10836 – Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural Determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Método de ensaio. 1994 (ABNT, 1994b)
- NBR 8492, TIJOLO MACICO DE SOLO-CIMENTO, Determinação da Resistencia a Compressão e da Absorcão d'Agua, Método de ensaio, 1984 (ABNT, 1984)

En función de las normativas disponibles, podemos acotar que tanto las normativas brasileñas como la colombiana hacen referencia al cemento como elemento de estabilización de suelos, mientras que la norma española permite la utilización de otros aglomerantes de origen vegetal ensayados en laboratorio.

Debemos resaltar, además, que los parámetros de medición en los diferentes ensayos y los procedimientos aplicables a los ensayos también varían en función de la normativa, tanto en magnitudes como en la manera de realizar los ensayos. Analizando la Tabla 5:



Tabla 5. Requisitos y criterios de las normas brasilera, colombiana y española. (Neves y Borges Faria, 2011)

| Norma | Brasileña | | Colombiana | | | | Española | | | | |
|--|--|-----------------------------|--|---------------------|------------------------------|------------------------|---|--------------------|------------------------------|---------------|------|
| | valor | condiciones | valor | | condiciones | | valor | condiciones | | | |
| dimensiones (L x E x h) (cm) | 20 x 9,5 x 5 23 x 11 x 5 (bloque macizo) | un solo sentido de prensado | 29,5 x 14 x 9,5 22 x 22 x 9,5 (bloque macizo) | | no informa sobre el prensado | | fabricante informa | | no informa sobre el prensado | | |
| | 39 x 9 x 14 39 x 14 x 14 39 x 19 x 14 (bloque con huecos) | sentido doble de prensado | | | | | | | | | |
| tierra | 100% ≤ 5 mm 10% a 50% ≤ 0,075 mm LL ≤ 45% IP ≤ 18% | | presenta diagrama de granulometría y límites (LL e IP) | | | | presenta diagrama de granulometría y límites (LL e IP) arcilla ≥ 10% materia orgánica ≤ 2% sales solubles ≤ 2% | | | | |
| estabilizante | cemento | | cemento | | | | cemento, cal, yeso y otros | | | | |
| resistencia a la compresión mínima (MPa) | 2,0 | húmeda | BSC20 2,0 1,0 | BSC40 4,0 2,0 | BSC60 6,0 3,0 | seca húmeda | | BTC1 1,3 | BTC2 3 | BTC3 5 | seca |
| | h ≤ 7 cm – bloque partido y unido h > 7 cm – bloque entero | | bloque partido y uniendo las dos partes | | | | bloque entero | | | | |
| resistencia a la abrasión mínima (cm ² /g) | no cita | | 2 | 5 | 7 | expuesto a la abrasión | | no cita | | | |
| capilaridad máx (g/cm ² xmin ^{1/2}) | no cita | | débil 20 | poco 40 | | pared externa | | fabricante informa | | pared externa | |
| absorción de agua máx (%) | 20% | obligatorio | no cita | | | | no cita | | | | |
| mojado y secado | no cita | | no cita | | | | sin grietas sin fragmentación | | condiciones severas | | |
| erosión | no cita | | no cita | | | | 0 ≤ D ≤ 10 | | | | |
| hielo y deshielo | no cita | | no cita | | | | fabricante informa | | | | |
| esfuerzo cortante | no cita | | no cita | | | | ensayo | | uso estructural | | |

En la Tabla 5, observamos la dificultad de comparación que existe para un mismo ensayo en las tres normativas, pues los parámetros y criterios cambian, es así que mientras la norma brasileña considera bloques huecos mayores o iguales a 7cm de altura, la norma colombiana considera bloques macizos de 9.5 cm de altura y la norma española permite que las dimensiones las proponga el fabricante.

Otra diferencia sustancial es, que las normas brasileña y colombiana permiten la división del bloque por la mitad, mientras que la española requiere el ensayo a compresión en la totalidad de la unidad.

Además de estas diferencias entre las normas, podemos resaltar la variación del estado de las probetas en el que se debe realizar los ensayos, en la norma brasileña la probeta debe estar húmeda, en la colombiana la probeta puede estar seca para unos valores, húmeda para otros valores, y en la española la probeta debe estar seca.

Por lo tanto, por la semejanza de condiciones de fabricación, de especificaciones técnicas, de características geográficas, se resuelve adoptar a la NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC 5324, como el eje rector para el desarrollo y evaluación del proyecto de investigación, que a su vez tiene correspondencia idéntica a la norma



francesa AFNOR XP P 13-901:2001 Blocs de Terre Comprimée Pour Murs et Cloisons. Definitions, Spécifications, Méthodes d'essai, Conditions de Reception.

1.8.1 ASPECTOS RELEVANTES DE LAS NORMATIVAS

1.8.1.1 ESTABILIZACIÓN

En las normas analizadas, se establece como opción el uso de agentes estabilizadores para mejorar las características mecánicas, de durabilidad, ya que existen suelos que pueden alcanzar comportamientos adecuados sin adiciones.

Los agentes estabilizantes de suelo más comunes son: el cemento, la cal no hidráulica e hidratada y emulsiones asfálticas en el caso del adobe. Las normas también enfocan su accionar a las cantidades del contenido de estabilizante, que puede llegar hasta un máximo del 15% de la masa en seco, dependiendo el uso que se le va a dar al mampuesto o sistema constructivo (Cid *et al.*, 2011).

1.8.1.2 SELECCIÓN DE SUELOS

La selección de los suelos en las diferentes normas viene dada por determinados ensayos empíricos e imprecisos, la mayoría no cuantificables o basados en pruebas preliminares. (Minke, 2005)

Las propiedades más citadas son la plasticidad y la textura y hacen referencia además al contenido de materia orgánica y sales. Sin embargo, a nivel técnico se recomiendan los diagramas de plasticidad o los límites de Atterberg, para la determinación del límite líquido ($\leq 45\%$) e índice plástico ($\leq 18\%$).

1.8.1.3 REQUISITOS DE LOS PRODUCTOS

Las especificaciones de las normas apuntan hacia la clasificación de los productos, dimensiones y medidas, formas geométricas mediante valores a cumplir en función de la normativa a seguir.

Los BTC usualmente serán clasificados por sus prestaciones mecánicas y resultados frente al esfuerzo de la compresión.

1.8.1.4 ENSAYOS

Debido a la difusión de la construcción con tierra y a la diversidad de entidades de normalización, los estándares son muy variados e inclusivos pues adoptan



metodologías de ensayo aplicables en otros campos y áreas como por ejemplo la preparación y clasificación de los suelos y los ensayos de los mampuestos cerámicos o ladrillos en el caso de absorción de humedad.

Dentro de los ensayos más citados están el de resistencia a la compresión, el de absorción, capilaridad y abrasión.

Se debe destacar la falta de uniformidad en cuanto a las exigencias para el ensayo de resistencia a la compresión, pues dependiendo de la normativa aplicada se desprende el método de ensayo: seco o húmedo, entero o dividido incluyendo un nuevo elemento a la ecuación que es el mortero de unión.

1.9 ENSAYOS

En este punto, se proceden a citar los ensayos y procedimientos a realizar en la investigación, para determinar la composición de los áridos y el comportamiento de los BTC según lo establecen las normas ASSHTO, ASTM, NTC 5324.

1.9.1 ANÁLISIS MECÁNICO DE LOS COMPONENTES MEDIANTE CRIBADO

El análisis mecánico de un árido, consiste en determinar los rangos de tamaño de las partículas que lo componen, expresado en porcentaje en relación al peso (o masa) seco total. El ensayo mediante cribado es el necesario para partículas mayores a 0.075 mm (Das, 1985).

El ensayo consiste en pasar una determinada cantidad de material seco a través de un conjunto de tamices normalizados que van de mayor apertura a menor, dispuestos uno sobre otro en un vibrador de mallas diseñado para este efecto, que combina movimientos oscilantes y vibratorios, lo que produce el movimiento de las partículas en el interior de los tamices para que se vayan quedando en el tamaño correspondiente.

Luego de 10 minutos de accionar la máquina se retiran los tamices, se extrae el material contenido en cada uno de ellos y se los pesa para determinar la cantidad en relación al total inicial.

En la figura 18 se observa el conjunto de tamices seleccionados en función de las normas ASSHTO y ASTM.



Figura 18. Tamices para ensayo de granulometría. (Autor. 2017)

Tabla 6. Dimensiones de partículas y listado de tamices ASSHTO a usar, (Autor, 2017)

| COMPONENTE | | RANGOS DE DIAMETRO DE PARTÍCULAS (mm) | # TAMIZ | mm |
|------------|--------|---------------------------------------|---------|-------|
| GRAVA | gruesa | 20,00 - 60,00 | 4 | 4,75 |
| | media | 6,00 - 20,00 | 8 | 2,36 |
| | finas | 2,00 - 6,00 | 16 | 1,18 |
| ARENA | gruesa | 0,60 - 2,00 | 20 | 0,85 |
| | media | 0,20 - 0,60 | 30 | 0,6 |
| | finas | 0,060 - 0,20 | 40 | 0,425 |
| LIMO | grueso | 0,20 - 0,60 | 50 | 0,3 |
| | medio | 0,006 - 0,020 | 100 | 0,15 |
| | fino | 0,002 - 0,006 | 200 | 0,075 |
| ARCILLA | | menos de 0,002 | FONDO | - |

Luego de establecidas las cantidades correspondiente a cada tamiz y su respectivo porcentaje en función de la masa total, se dibuja una curva aritmética de la cantidad de material retenido y la cantidad del material que pasa cada uno de los tamices. (Das, 1985).

Tabla 6. Listado de tamices a través de los cuales serán clasificados los áridos a usarse en la elaboración de los BTC y clasificación de partículas por su tamaño.

Ordenados por número con su equivalencia a la apertura de paso de la malla en mm



1.9.2 ENSAYO DE CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA

El ensayo determina de manera visual la composición de los áridos en cuanto a sus cantidades de agregados finos, gruesos y materia orgánica. Para ello se recurre a la decantación y precipitación de las partículas dentro de un medio líquido, para este caso se recurre al agua.

Se coloca dentro de probetas de cristal transparente con graduación de 1000 ml, una cantidad del material a examinar en un medio líquido; que consiste en una solución de agua con hidróxido de sodio (NaOH) al 3% con un volumen ligeramente mayor al volumen del árido (300ml). Como siguiente paso se agita vigorosamente la probeta de manera que se consiga mezclar todo el material con la solución. Se deja reposar por 24 hr para que luego por precipitación y decantación las partículas se depositen en el fondo de la probeta de cristal en forma de capas de acuerdo a su composición y el medio líquido que queda por sobre el material. Se observa y compara la coloración adoptada para reportar si el color del líquido sobre el material se asemeja con alguno de los colores de la carta de colores de Gardner.

Esta placa contiene cinco colores que van desde el N°1 que es el más claro al N°5 que es el más oscuro. Teniendo como color estándar al N° 3, de modo que de manera visual se determina cual es el color más cercano al líquido de la probeta.



Figura 19. Ensayo para contenido de materia orgánica. (Autor. 2017)

La norma ASTM C87 dicta que si el líquido presenta un color más oscuro que el N°3 de la carta, el árido puede resultar contraproducente para su uso y podría reducir de manera significativa la resistencia a la compresión en los elementos que se elaboren con este árido. Fig. 19



En la figura 19, observamos las probetas de cristal transparente, 250 gr de material y 300ml de Agua Potable. En el pequeño envase metálico el hidróxido de sodio en una cantidad de 15 gr equivalente al 3% del volumen del agua.

Como dicta la norma, ASTM C87, se prepara la solución y luego se vierte el árido, se agita vigorosamente y se deja en reposo por un lapso de 24h. Como podemos apreciar en la fig. 19, los líquidos que quedan sobre los áridos examinados, (suelo y arena) se asemejan a los colores N°1 y N°2 de la placa de colores de Gardner.

Por lo tanto, el suelo y la arena con los que se van a trabajar son elementos aptos para la fabricación de los BTC y no representan amenazas a las prestaciones mecánicas de los productos terminados. (Universidad Centroamericana, 1997)

1.9.3 ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO Y ARENA

Para elaborar este ensayo se procede a hacer uso de tres recipientes metálicos, se los ha pesado y se les agrega 40 gramos de suelo en estado natural fig. 20. Posteriormente se los coloca en el horno de convección, por 24 horas a 275 grados Fahrenheit, y se los vuelve a pesar para determinar la cantidad de agua evaporada.



Figura 20. Ensayo para contenido de humedad de suelo. Fuente: (Autor. 2017)

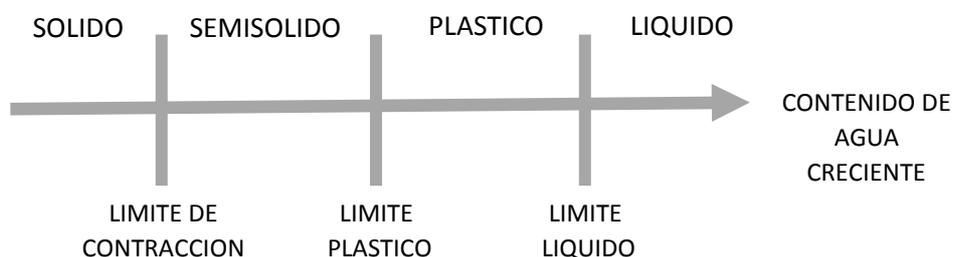
Procedemos de igual manera para establecer el contenido de humedad presente en la arena.

**Tabla 7.** Ejemplo de contenido de humedad del suelo. (Autor. 2017)

| ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD SUELO | | | | | | |
|--------------------------------------|-------------------|----------------------------|--------------------|------------------|---------------------|--------------|
| | PESO ENVASE gr | CANTIDAD DE MATERIAL gr | PESO INICIAL gr | PESO FINAL gr | CANTIDAD AGUA gr | % |
| ENVASE 1 | 6.30 | 40.00 | 46.30 | 36.80 | 9.50 | 23.75 |
| ENVASE 2 | 5.70 | 40.00 | 45.70 | 37.00 | 8.70 | 21.75 |
| ENVASE 3 | 5.90 | 40.00 | 45.90 | 36.90 | 9.00 | 22.50 |
| | | | | PROMEDIO | 9.07 | 22.67 |

1.9.4 ENSAYO DE CONSISTENCIA DEL SUELO

Cuando dentro de un suelo de grano fino se encuentran presentes minerales de arcilla, este puede cambiar de estado debido a la injerencia de humedad Fig 21. Según Albert Mauritz Atterberg, “a muy bajo contenido de agua, el suelo se comporta como un sólido frágil. Cuando el contenido de agua es muy alto, el suelo y el agua fluyen como un líquido”. (Das, 1985).

**Figura 21.** Límites de Atterberg. (Das, 1985)

LIMITE LIQUIDO (LL)

Para la ejecución de este ensayo se utiliza la máquina de Casagrande, un recipiente flexible de caucho, paleta, ranurador normado, jeringa para controlar la cantidad de agua, recipientes para las muestras.

El procedimiento consiste en colocar el suelo a ensayar, previamente tamizado a través del tamiz N°40, en forma de pasta. Haciendo uso del ranurador, se separa la masa mediante una ranura, la copa de la máquina cae una altura de 10mm previamente calibrada.



Se pretende determinar el contenido de agua necesario en porcentaje para que la ranura cierre una distancia de 12.7mm en el fondo central de la ranura. A este indicador se lo conoce como el límite líquido.

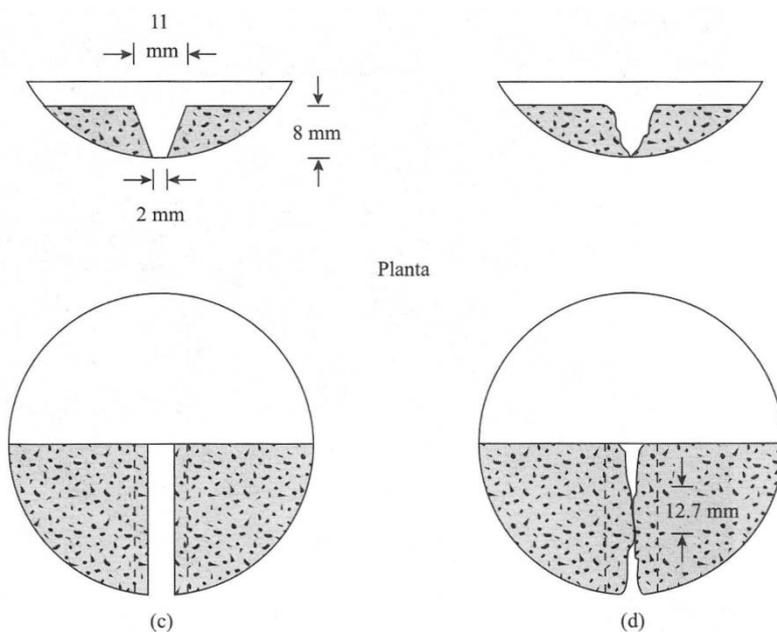


Figura 22. Ensayo Máquina de Casagrande. (Das, 1985)



Figura 23. Ensayo Máquina de Casagrande. (Autor. 2017)



El ensayo de Casagrande Fig. 22 se basa en que cada caída de la copa equivale a una resistencia cortante del suelo de 1g/cm^2 , (0.1Kn/m^2). Entonces el límite líquido en un suelo de grano fino corresponde a la cantidad de agua para que tenga una resistencia de aproximadamente 25g/cm^2 (2.5Kn/m^2). (Das, 1985)

LIMITE PLASTICO (PL)

El límite plástico consiste, en determinar la cantidad de agua necesaria para que la pasta al ser moldeada en forma de un rollo de 3.2mm de diámetro se rompa.

Paso seguido se toma una porción de 3 cm de largo del rollo y se determina la diferencia de peso entre húmedo y seco tras 24 h en el horno.

Se pretende determinar el Índice de Plasticidad (PI) que es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico. (Das, 1985)

$$PI = LL - PL$$

1.9.5 ENSAYO DE ABSORCIÓN Y CAPILARIDAD

El ensayo de capilaridad consiste en determinar la cantidad de agua que absorbe la probeta en un tiempo determinado. Según la Norma Técnica Colombiana NTC 5324, este tipo de bloques llevan una clasificación de Categoría S, que corresponden a bloques destinados a ser utilizados en un medio seco, teniendo una resistencia despreciable en compresión húmeda, el ensayo debe realizarse como mínimo en tres unidades enteras. La norma además categoriza según el coeficiente C_b de absorción de agua por capilaridad para los bloques a ser utilizados en muros exteriores, debiendo presentar valores por lo menos iguales a:

- Bloques débilmente capilares: $C_b \leq 20$
- Bloques poco capilares: $C_b \leq 40$

En donde:

$$C_b = \frac{100 M}{S \sqrt{t}} \quad C_b = \frac{100 (P_1 - P_0)}{S \sqrt{10}}$$



- Cb Coeficiente de capilaridad.
- M masa del agua absorbida durante el ensayo (gr).
- S Superficie de la cara sumergida (cm²).
- t Duración de la inmersión (min).

EQUIPOS

- Balanza para 25kg con precisión de 0.1g.
- Horno eléctrico HOBART a 110°C con + 5°C.
- Bandeja de metal y recipientes para agua potable.
- Pipeta para 10 ml con precisión de 0.1ml.
- Varillas para regulación de altura.
- Nivel.
- Cronómetro.

PROCEDIMIENTO

Se conservan los BTC en laboratorio por un lapso de 24 h previas, luego se realiza el pesaje de los bloques y la numeración.

Luego se los colocan en el horno en posición en la que van a ser dispuestos en la obra, de forma tal que las caras queden expuestas a la circulación del aire caliente dentro del horno de convección. Las probetas son mantenidas en el horno hasta que la diferencia de peso entre dos pesajes consecutivos sea menor al 0.1% de la masa inicial.

Se permite el enfriado de los bloques por un lapso de 6 h hasta que la variación de temperatura dentro del procedimiento no exceda los $\pm 3^{\circ}\text{C}$.

Mediante la balanza se establece el peso inicial en gramos.

Se coloca la probeta sobre las varillas dentro de la bandeja nivelada, de manera que quede sumergida en agua una altura de 5 mm. Fig. 23.

Con la pipeta se controla el aumento de agua para que mantenga el nivel debido a la absorción.



Luego de 10 min. se retira la probeta y se la limpia con un paño seco.

Como último paso se hace el pesaje del bloque en gramos para determinar el peso final



Figura 23. Ensayo de capilaridad. (Autor, 2017)

1.9.6 ENSAYO DE ABRASIÓN

Consiste en determinar la cantidad de material que pierde la probeta tras circunstancias normadas de fricción en un tiempo determinado.

La Norma Técnica Colombiana NTC 5324, no contempla la inclusión de bloques con perforación vertical para este ensayo. El proyecto de investigación tampoco plantea la inclusión de este ensayo dentro de los objetivos de la investigación, sin embargo, se procede a realizar la prueba para tener una idea más clara acerca de las características de los BTC obtenidos, este tipo de bloques llevan una clasificación de



Categoría A según la norma NTC 5324, que corresponden a bloques a ser expuestos a riesgos de abrasión resultantes de la actividad humana.

Los índices de resistencia a la abrasión están relacionados a la resistencia seca de los bloques para su clasificación bajo la misma norma. Ver Tabla 8.

Tabla 8. Clasificación de los BTC. (NTC 5324, 2017)

| Bloques Macizos | UNIDAD | BSC20 | BSC40 | BSC60 |
|------------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|
| Resistencia a la compresión seca | MPa | 2 | 4 | 6 |
| Coefficiente de abrasión mínima Ca | cm ² /g | 2 | 5 | 7 |

En donde:

$$Ca \text{ (cm}^2\text{/g)} = \frac{S}{m_0 - m_1}$$

- Ca Coeficiente de abrasión.
- m₀ masa antes del ensayo (gr).
- S Superficie de desprendimiento (cm²).
- m₁ masa luego del ensayo.

EQUIPOS

- Balanza OHAUS para 25kg con precisión de 0.1g.
- Cronómetro.
- Cepillo de metal con carga de 3000 g.
- Brocha 2".

PROCEDIMIENTO

Los bloques son mantenidos por 24 h previa al ensayo en un lugar cerrado y protegido de la humedad. Se realiza el pesaje de cada una de las probetas, tres por dosificación estableciendo así m₀. Luego se lo coloca sobre una superficie de trabajo plana.

El cepillo de metal será colocado sobre el bloque, de manera que la carga del cepillo sea perpendicular a la superficie de acción, luego se imprime un movimiento lineal al cepillo de manera que el período del movimiento de ida y venida sea dentro de 1 segundo. Se debe asegurar que por lo menos la mitad del cepillo siempre esté



en contacto con la superficie, sin aplicar fuerza vertical. El cepillado puede ser ejecutado en la cara de paramento o en el costado del bloque, y no puede exceder más de 2 mm del ancho del cepillo. Luego del ensayo, se limpia el material desprendido y se establece la diferencia de masa.

1.9.7 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION SECA

Consiste en determinar la magnitud de la carga máxima a compresión que puede tomar el bloque antes de su fracaso o rotura.

La NTC 5324, establece que los bloques sujetos de estudio pertenecen a la categoría S, que son bloques destinados a ser usados en un medio seco, teniendo una resistencia despreciable a la compresión húmeda. Como categoría adicional tenemos que los bloques están clasificados por la resistencia mínima a la compresión seca.

Tabla 9. Clasificación BTC por factor R. (NTC 5324. 2017)

| | UNIDAD | BSC20 | BSC40 | BSC60 |
|---|------------|----------|----------|----------|
| Resistencia mínima (R) a la compresión seca | MPa | 2 | 4 | 6 |

En donde:

$$R = \frac{C}{S_b \times 10}$$

- R Esfuerzo de rotura (MPa).
- C Carga de rotura del bloque (dN).
- S Sección mínima del bloque (cm²).

EQUIPOS

- Prensa hidráulica para ensayos de compresión.
- Balanza OHAUS con capacidad de 25 kg con precisión de 0.1 g.
- Horno de convección a 40°C + 5°C.
- Calibrador.
- Sierra circular con disco de diamante segmentado 10".



PROCEDIMIENTO

Como punto de partida, se colocan los bloques en el horno de convección para secarlos, hasta que la diferencia entre pesajes sea menor al 0.1 % de la masa inicial.

Luego de extraerlos del horno, se los permite la estabilización de temperatura al ambiente por un lapso de 2 horas. Se realiza el pesaje y medición de superficies de las unidades y las dimensiones efectivas.

Se los recorta transversalmente en dos partes iguales con la sierra circular para disminuir los posibles errores por alabeo de los bordes, propios del secado de los bloques elaborados con tierra. Se verifica el paralelismo de los bloques sobre la prensa para ensayo de materiales.

Se ajusta el centro de la probeta con el centro de carga de la prensa para asegurar la continuidad del esfuerzo de carga. Para esto se mide la equidistancia de los bordes de la probeta y la bandeja de la prensa. Se aplica la carga de manera continua y sin movimientos bruscos a una velocidad constante de 0.02 mm/s o también por el incremento de carga oscilante entre 0.15 MPa/s y 0.25 MPa/s hasta la rotura de la probeta.

Se registra la carga máxima soportada por la probeta durante el ensayo como se observa en la Fig. 24

Figura 24. BTC ensayados a compresión. (Autor, 2017)



CAPÍTULO SEGUNDO

BTC CON AGREGADOS DE RCD



2.1 BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA BTC CON ADICIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN RCD.

2.1.1 PREPARACIÓN Y ELABORACION

Para la preparación del BTC en la manera tradicional, muy pocas herramientas son utilizadas, y los materiales son muy simples; suelo, agua y estabilizador que en este caso es cemento Portland tipo IP y molde. Sin embargo, para efectos de investigación y aproximación a laboratorio seguiremos un proceso controlado y riguroso.

Se obtuvieron los RCD producto de la trituración de hormigones $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ del laboratorio de construcciones de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Cuenca y del laboratorio de pruebas de la Empresa Holcim S.A. de la ciudad de Cuenca, como una manera de aproximación a la Academia y a la Empresa Privada. Fig. 25.



Figura 25. Acopio de residuos de hormigón. (Autor. 2017)

Luego del acopio de los RCD y el triturado de hormigón en la trituradora de mandíbulas del Laboratorio de Construcciones de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Cuenca Fig. 26, se ha llegado hasta un tamaño máximo de 5 mm, granulometría adecuada para lograr homogeneidad en el cuerpo y composición del BTC.

Los materiales necesarios para la elaboración del BTC.

- 300 kg de suelo tamizado, obtenido del área geográfica de estudio.
- 100 lt de Agua Potable (H_2O).
- 300 kg de arena gruesa de mina de la localidad (cantera).
- 400 kg RCD $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ (triturado de hormigón), $\varnothing = 5 \text{ mm}$



Figura 26. Triturado de residuos (Autor. 2017)

En base al acervo documental generado con anterioridad y tomando en cuenta que se va a usar una prensa hidráulica, las dosificaciones planteadas cuentan con un 5% de cemento portland tipo IP como estabilizador.

Dado que el objetivo de la investigación es determinar el comportamiento de los BTC con RCD en reemplazo de los agregados tradicionales, se establece dos series de dosificaciones en similares porcentajes, Tabla 10, con la diferencia de que la una contiene arena de cantera de Saraguro (área geográfica de estudio), y la otra serie RCD de hormigones $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$. Las dosificaciones fueron elaboradas a una temperatura ambiental de 20.6°C con Humedad Relativa = 65.1%

Tabla 10. Dosificaciones en porcentajes de peso. (Autor, 2017)

| DOSIFICACIONES EN PORCENTAJES | | | | | | |
|-------------------------------|---------|---------|---------|--------|-----------|---------|
| TIPO | PESO kg | % SUELO | % ARENA | % RCD | % CEMENTO | AGUA ml |
| BTC 1 | 40 Kg | 50.00% | 45.00% | | 5.00% | |
| BTC 2 | 50 Kg | 45.00% | 50.00% | | 5.00% | |
| BTC 3 | 50 Kg | 35.00% | 60.00% | | 5.00% | |
| BTC 4 | 50 Kg | 25.00% | 70.00% | | 5.00% | |
| BTC + RCD 1 | 40 Kg | 50.00% | | 45.00% | 5.00% | 1600 ml |
| BTC + RCD 2 | 50 Kg | 45.00% | | 50.00% | 5.00% | 2180 ml |
| BTC + RCD 3 | 50 Kg | 35.00% | | 60.00% | 5.00% | 3610 ml |
| BTC + RCD 4 | 50 Kg | 25.00% | | 70.00% | 5.00% | 4100 ml |



2.1.2 ELABORACION

Las probetas para la investigación van a ser elaboradas en una nave semi industrial en la ciudad de Saraguro, Loja. Por lo tanto, los RCD han sido trasladados hasta allá para acoplarse a los materiales de la localidad.



Figura 27. Área geográfica de estudio. (Autor. 2017)

El suelo a usarse es el producto de un desbanque y movimiento de tierras para un estadio municipal Fig. 27, ubicado a aproximadamente 1 Km del punto de fabricación.

Previo a la elaboración del BTC se han realizado los ensayos de granulometría a los componentes (suelo, arena, y RCD).

Para garantizar la homogeneidad de la masa del BTC, todos los componentes han sido probados a través de un tamiz ECO PER 24-R de 5mm, para evitar partículas superiores a esta medida que puedan provocar puntos críticos o puntos de presión dentro del cuerpo del BTC.



Figura 28. Tamizado de los áridos. (Autor, 2017)

Una vez establecidos los componentes, se procede en fábrica a realizar las dosificaciones propuestas por peso. Fig 29. Uno a uno se va pesando los componentes para elaborar las dosificaciones, tomando como punto de partida las dosificaciones que contienen arena tradicional y luego replicarlas reemplazando la arena con RCD de Hormigón.



Figura 29. Tamizado de los áridos. (Autor, 2017)

Tabla 11. Tabla de dosificaciones en peso del componente. (Autor, 2017)

| COMPONENTES POR CANTIDADES kg | | | | | | |
|-------------------------------|---------------|----------|----------|--------|------------|---------|
| TIPO | PESO TOTAL kg | SUELO kg | ARENA kg | RCD kg | CEMENTO kg | AGUA ml |
| BTC 1 | 40 Kg | 20.00 | 18.00 | | 2.00 | |
| BTC 2 | 50 Kg | 22.50 | 25.00 | | 2.50 | |
| BTC 3 | 50 Kg | 17.50 | 30.00 | | 2.50 | |
| BTC 4 | 50 Kg | 12.50 | 35.00 | | 2.50 | |
| BTC + RCD 1 | 40 Kg | 20.00 | | 18.00 | 2.00 | 1600 ml |
| BTC + RCD 2 | 50 Kg | 22.50 | | 25.00 | 2.50 | 2180 ml |
| BTC + RCD 3 | 50 Kg | 17.50 | | 30.00 | 2.50 | 3610 ml |
| BTC + RCD 4 | 50 Kg | 12.50 | | 35.00 | 2.50 | 4100 ml |

Nótese la cantidad de agua en ml (Tabla 11) que son necesarios agregar a las dosificaciones elaboradas con RCD, debido a la ausencia de agua dentro de este material, humedad necesaria para que el cemento pueda hidratarse además de dar plasticidad suficiente a la masa para poder moldearla y compactarla.

Los componentes que se van pesando son colocados dentro de la mezcladora de tambor ECO-MIX FORCE-400, para garantizar una homogeneidad en la combinación de los componentes.



Figura 30. Mezclado de los áridos. Fuente (Autor, 2017)

El agua se agrega por rociado una vez controlada la plasticidad bajo los métodos de prueba de campo, que consiste en tomar una cantidad de material y aplastarlo dentro de la mano hasta que la masa permita que se marquen los canales que dejan los dedos luego de la fuerza ejercida y permaneciendo compacta Fig. 31. En el caso de que no se mantenga comprimida y se disgregue, significa poca humedad. Posteriormente se deja caer desde la altura de 1m. si la bola se disgrega parcialmente luego del golpe de la caída, significa que contiene la humedad necesaria para el moldeado y la reacción del cemento, caso contrario, si no se disgrega y se mantiene compacta significa demasiada humedad (Minke, 2005).



Prensa para BTC y ladrillos ecológicos

Modelo: ECO Premium 2700 CH-MA

Fuerza de compactación: 19 Mpa

Capacidad de prod. : hasta 120 u/h

Motor: 5CV, 220V trifásico

Figura 31. Prensa Electro-hidráulica para BTC. (Autor, 2017)

En la Fig. 31 observamos maquinaria de fabricación brasileña especialmente hecha para la fabricación de ladrillos de todo tipo y su producción semi industrial.

Una vez mezclados los componentes dosificados en el tambor se extrae la mezcla y se la traslada hacia la tolva de carga de la prensa de moldeado y compactación Fig.34, calibrada para obtener bloques con agujeros circulares, de 7 cm de altura. La tolerancia dada por la NTC 5324 es de ± 3 mm para la altura de los BTC, sin embargo, por la calibración de la prensa hidráulica, la diferencia entre unidades no sobrepasa ± 1 mm.

La fábrica es de carácter semi industrial, razón por la cual el transporte la mezcla desde el tambor hasta la prensa se lo hace manualmente mediante canecas plásticas, depositando en la tolva de la máquina a una sola vez toda la dosificación preparada.

Fig. 32



Figura 32. Cargado de la Prensa. Fuente (Autor, 2017)

El proceso de fabricación es muy simple y se lo realiza en dos pasos, el primero es el llenado del molde hasta la mitad de la altura, mediante el accionar del primer mando, mediante vibración la máquina nivela la mezcla dentro del molde, así el operario acciona el mando para completar el llenado del molde con la mezcla dosificada. Una vez lleno el molde y enrasado por la máquina, como segundo paso se acciona el segundo mando para el descenso del compactador, que presiona al material dentro del molde con una carga de 19 MPa. Al terminar el prensado regresa a su posición inicial y a la vez el bloque es expulsado del molde con un movimiento ascendente, en este punto la prensa se detiene y el operario es capaz de tomar el

bloque por los costados, con mucho cuidado para no causar deformaciones o fisuras.

El proceso se observa en la Fig. 33



Figura 33. Elaboración del BTC. Fuente (Autor, 2017)

El bloque es sacado de la máquina y se lo traslada cuidadosamente al lugar de curado y almacenaje Fig. 34. Se lo aísla del piso para que no pueda absorber excesos de agua por un lapso de 24 horas, y el curado se limita a realizarlo por aspersion y rociado continuo. En esta etapa, de reciente fabricación, el bloque ya puede soportar el peso de hasta 10 unidades superpuestas sin sufrir daño alguno.



Figura 34. Almacenaje y Curado del BTC. Fuente (Autor, 2017)

Para mejorar el curado de los BTC, se hace uso de tela plástica procesada que cierre por completo el perímetro de almacenaje y no permita el ingreso de aire seco



o viento que puedan ir en desmedro de la cantidad de humedad relativa en saturación, necesaria para el fraguado y curado del cemento.

Por requerimiento de la norma NTC 5324, usada como referencia para el presente estudio, se debe lograr un curado continuo de 7 días posteriores a la fabricación y 28 días previo a los ensayos que determinen resistencia a la compresión, abrasión y absorción.

Por lo tanto, se procede a realizar el curado, mediante rociado, cuatro veces diarias dentro de un ambiente con HR del 89% y protegido de la radiación solar y viento.



Figura 35. Probetas elaboradas para ensayos. (Autor, 2017)

CAPÍTULO TERCERO

ENSAYOS FÍSICOS Y MECÁNICOS

Análisis y discusión de resultados



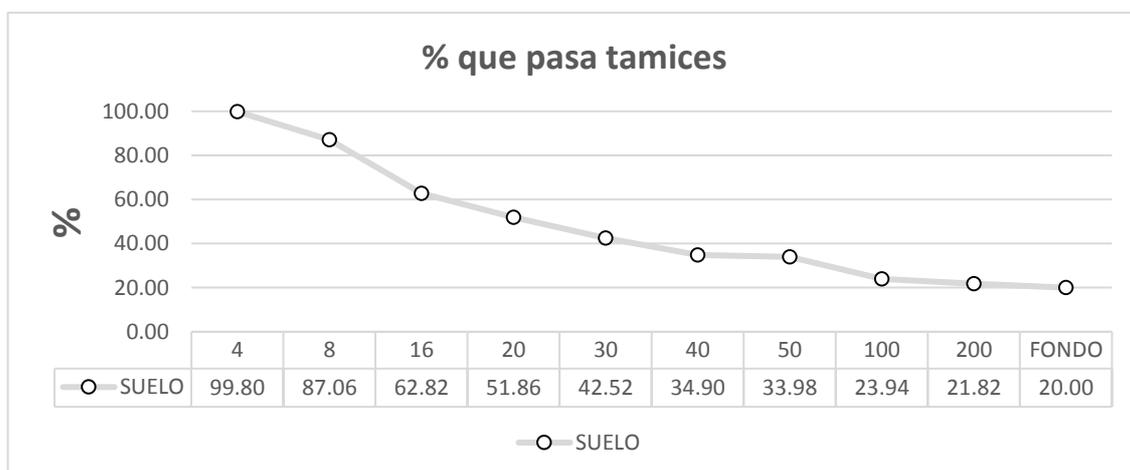
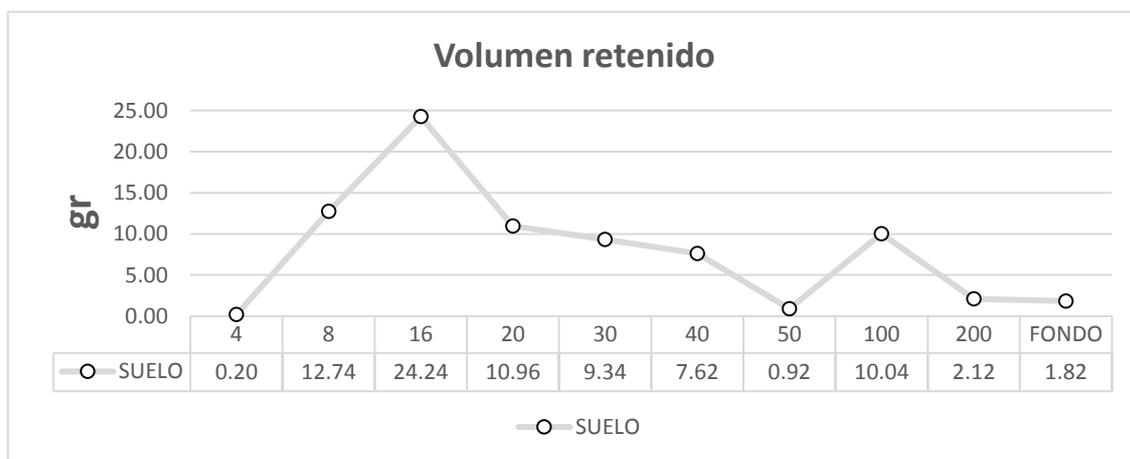
3.1 ENSAYO DE COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA MEDIANTE CRIBADO

3.1.1 COMPOSICION GRANULOMÉTRICA DEL SUELO

Tabla 12. Ensayo granulométrico del suelo (Autor, 2017)

| COMPOSICION GRANULOMETRICA tierra | | | | | | |
|-----------------------------------|-------|--------|------------|------------|----------------|-------------------|
| # TAMIZ | mm | CANT g | % retenido | % que pasa | PESO RECIPI gr | RECIPI + SUELO gr |
| 4 | 4.750 | 1.00 | 0.20 | 99.80 | 784.60 | 785.60 |
| 8 | 2.360 | 63.70 | 12.74 | 87.06 | 642.90 | 706.60 |
| 16 | 1.180 | 121.20 | 24.24 | 62.82 | 617.00 | 738.20 |
| 20 | 0.850 | 54.80 | 10.96 | 51.86 | 638.40 | 693.20 |
| 30 | 0.600 | 46.70 | 9.34 | 42.52 | 334.00 | 380.70 |
| 40 | 0.425 | 38.10 | 7.62 | 34.90 | 311.90 | 350.00 |
| 50 | 0.300 | 4.60 | 0.92 | 33.98 | 553.50 | 558.10 |
| 100 | 0.150 | 50.20 | 10.04 | 23.94 | 535.90 | 586.10 |
| 200 | 0.075 | 10.60 | 2.12 | 21.82 | 334.70 | 345.30 |
| FONDO | - | 9.10 | 1.82 | 20.00 | 501.90 | 511.00 |

Tabla 13. Volumen retenido y curva granulométrica del suelo (Autor, 2017)



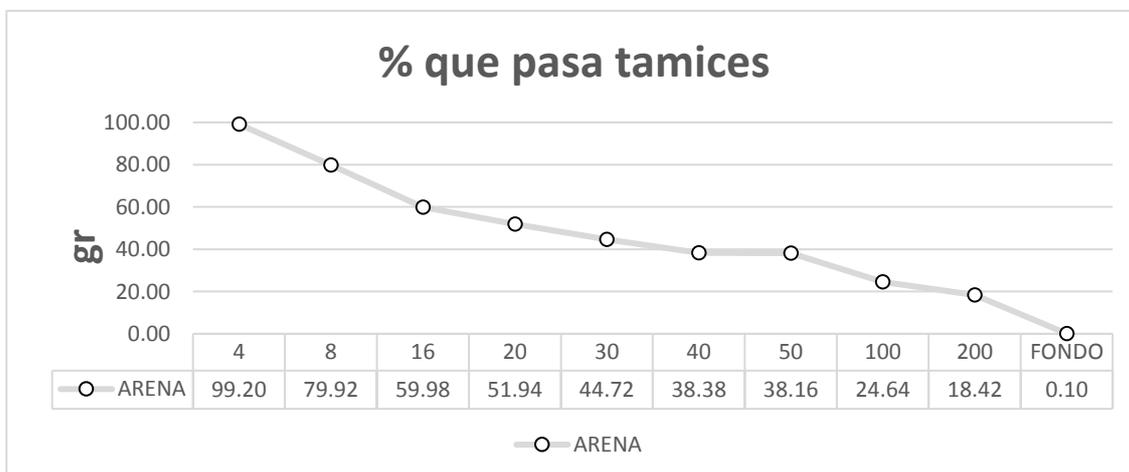
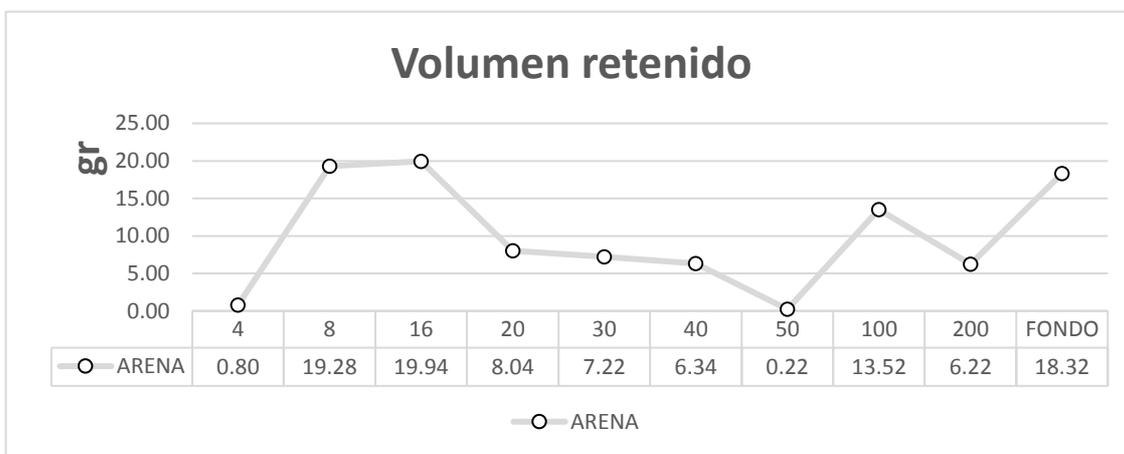


3.1.2 COMPOSICION GRANULOMÉTRICA DE LA ARENA DE CANTERA

Tabla 14. Ensayo granulométrico de la arena (Autor, 2017)

| COMPOSICION GRANULOMETRICA arena | | | | | | |
|----------------------------------|-------|--------|------------|------------|----------------|-------------------|
| # TAMIZ | mm | CANT g | % retenido | % que pasa | PESO RECIPI gr | RECIPI + SUELO gr |
| 4 | 4.750 | 4.00 | 0.80 | 99.20 | 784.60 | 788.60 |
| 8 | 2.360 | 96.40 | 19.28 | 79.92 | 642.70 | 739.10 |
| 16 | 1.180 | 99.70 | 19.94 | 59.98 | 616.50 | 716.20 |
| 20 | 0.850 | 40.20 | 8.04 | 51.94 | 637.90 | 678.10 |
| 30 | 0.600 | 36.10 | 7.22 | 44.72 | 333.60 | 369.70 |
| 40 | 0.425 | 31.70 | 6.34 | 38.38 | 311.70 | 343.40 |
| 50 | 0.300 | 1.10 | 0.22 | 38.16 | 553.30 | 554.40 |
| 100 | 0.150 | 67.60 | 13.52 | 24.64 | 535.80 | 603.40 |
| 200 | 0.075 | 31.10 | 6.22 | 18.42 | 334.50 | 365.60 |
| FONDO | - | 91.60 | 18.32 | 0.10 | 501.90 | 593.50 |

Tabla 15. Volumen retenido y curva granulométrica de la arena (Autor, 2017)



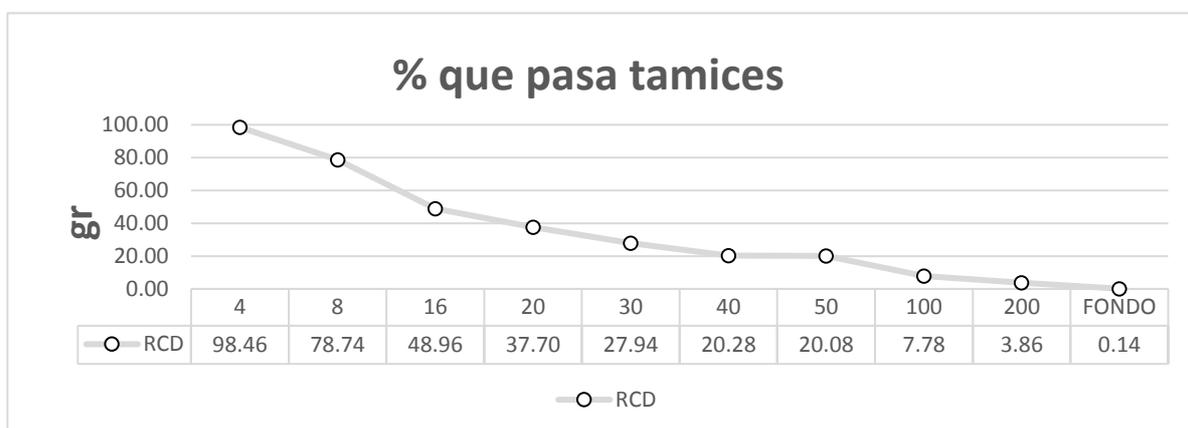
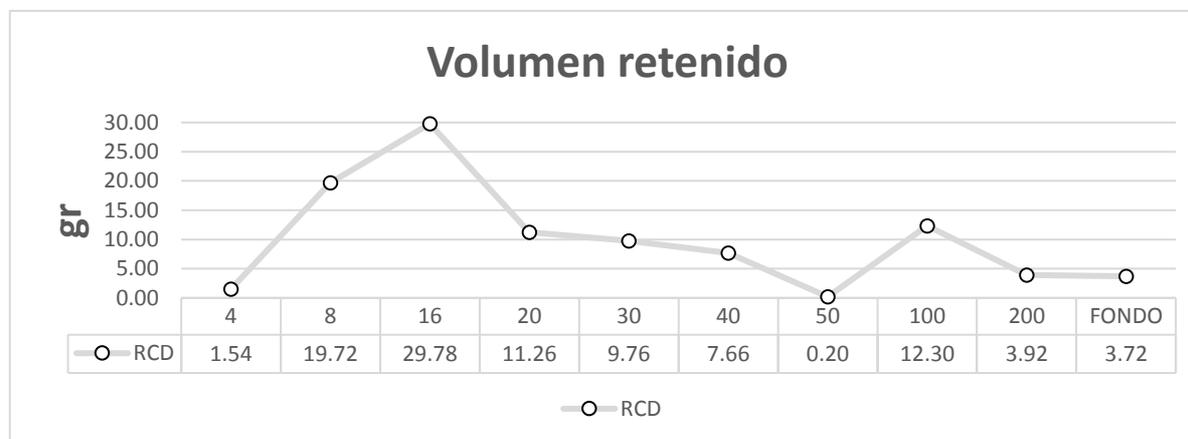


3.1.3 COMPOSICION GRANULOMÉTRICA DE LOS RCD

Tabla 16. Ensayo granulométrico de los RCD (Autor, 2017)

| COMPOSICION GRANULOMETRICA RCD | | | | | | |
|--------------------------------|-------|--------|------------|------------|----------------|-------------------|
| # TAMIZ | mm | CANT g | % retenido | % que pasa | PESO RECIPI gr | RECIPI + SUELO gr |
| 4 | 4.750 | 7.70 | 1.54 | 98.46 | 784.60 | 792.30 |
| 8 | 2.360 | 98.60 | 19.72 | 78.74 | 642.20 | 740.80 |
| 16 | 1.180 | 148.90 | 29.78 | 48.96 | 616.70 | 765.60 |
| 20 | 0.850 | 56.30 | 11.26 | 37.70 | 638.20 | 694.50 |
| 30 | 0.600 | 48.80 | 9.76 | 27.94 | 333.70 | 382.50 |
| 40 | 0.425 | 38.30 | 7.66 | 20.28 | 311.70 | 350.00 |
| 50 | 0.300 | 1.00 | 0.20 | 20.08 | 553.30 | 554.30 |
| 100 | 0.150 | 61.50 | 12.30 | 7.78 | 536.00 | 597.50 |
| 200 | 0.075 | 19.60 | 3.92 | 3.86 | 334.50 | 354.10 |
| FONDO | - | 18.60 | 3.72 | 0.14 | 501.90 | 520.50 |

Tabla 17. Volumen retenido y curva granulométrica de los RCD (Autor, 2017)





3.1.4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El análisis de la Tabla 12, correspondiente al ensayo para determinar la composición granulométrica del suelo utilizado, proveniente del área geográfica de estudio, el cual ha sido tamizado previamente a un diámetro máximo de partículas de 5 mm. Determina un alto porcentaje de partículas comprendidas entre 2.36 y 1.18 mm. Circunstancia que indica que el material es de composición arenosa media – gruesa. Con un contenido de arcilla menor al 20%. La gradación del material no es homogénea, presentando picos de volumen en el tamiz #16 y #100. Tabla 13.

En el ensayo de composición granulométrica correspondiente a la arena de cantera del área geográfica de estudio, que de igual manera ha sido previamente tamizada a diámetro máximo de 5mm, encontramos altos porcentajes de partículas entre 2.36mm y 1.18mm. característica propia de la arena, pero, además, por su condición de ser extraída de cantera, contiene un porcentaje medio – bajo de limos, menor al 24%. Presenta una gradación no homogénea con predominancia en partículas medias – gruesas.

En el ensayo de composición granulométrica correspondiente a los RCD determina un alto contenido de partículas $< 2.36\text{mm}$ y $> 1.18\text{mm}$. con un pico en el porcentaje de partículas = 0.15 mm, con una curva de gradación muy similar a la presentada por el suelo.



Figura 36. Material ensayado a granulometría. (Autor, 2017)



3.2 ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD EN ÁRIDOS

3.2.1 CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO

Tabla 18. Contenido de humedad del suelo. (Autor, 2017)

| | ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD SUELO | | | | | |
|----------|--------------------------------------|----------------------------|--------------------|------------------|---------------------|--------------|
| | PESO ENVASE gr | CANTIDAD DE MATERIAL gr | PESO INICIAL gr | PESO FINAL gr | CANTIDAD AGUA gr | % |
| ENVASE 1 | 6.30 | 40.00 | 46.30 | 36.80 | 9.50 | 23.75 |
| ENVASE 2 | 5.70 | 40.00 | 45.70 | 37.00 | 8.70 | 21.75 |
| ENVASE 3 | 5.90 | 40.00 | 45.90 | 36.90 | 9.00 | 22.50 |
| | | | | PROMEDIO | 9.07 | 22.67 |

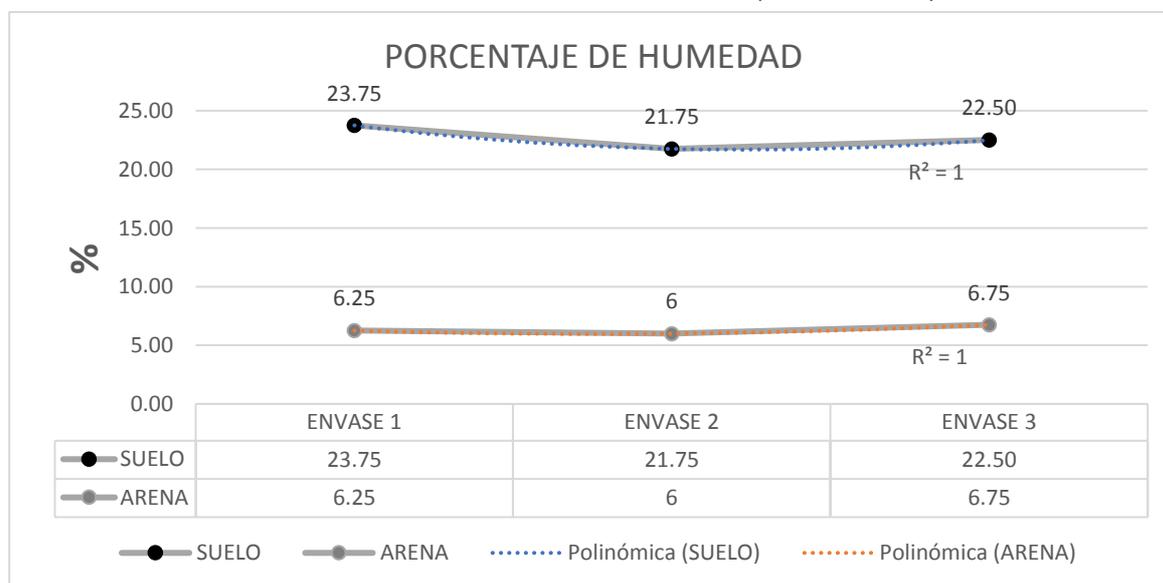
3.2.2 CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA ARENA

Tabla 19. Contenido de humedad de la arena. (Autor, 2017)

| | ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD arena | | | | | |
|----------|--------------------------------------|----------------------------|--------------------|------------------|---------------------|-------------|
| | PESO ENVASE gr | CANTIDAD DE MATERIAL gr | PESO INICIAL gr | PESO FINAL gr | CANTIDAD AGUA gr | % |
| ENVASE 1 | 41.50 | 40.00 | 81.50 | 79.00 | 2.50 | 6.25 |
| ENVASE 2 | 44.80 | 40.00 | 84.80 | 82.40 | 2.40 | 6.00 |
| ENVASE 3 | 44.60 | 40.00 | 84.60 | 81.90 | 2.70 | 6.75 |
| | | | | PROMEDIO | 2.53 | 6.33 |

3.2.3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Tabla 20. Contenido de humedad de la arena en %. (Autor, 2017)





En la Tabla 20 podemos observar la diferencia entre la cantidad de humedad entre la serie de tres muestras de Suelo con un contenido promedio del 22.67% y el contenido promedio de humedad de la arena de cantera, que se ubica en 6.33%. una diferencia menor en 3.58 veces de contenido de humedad natural.

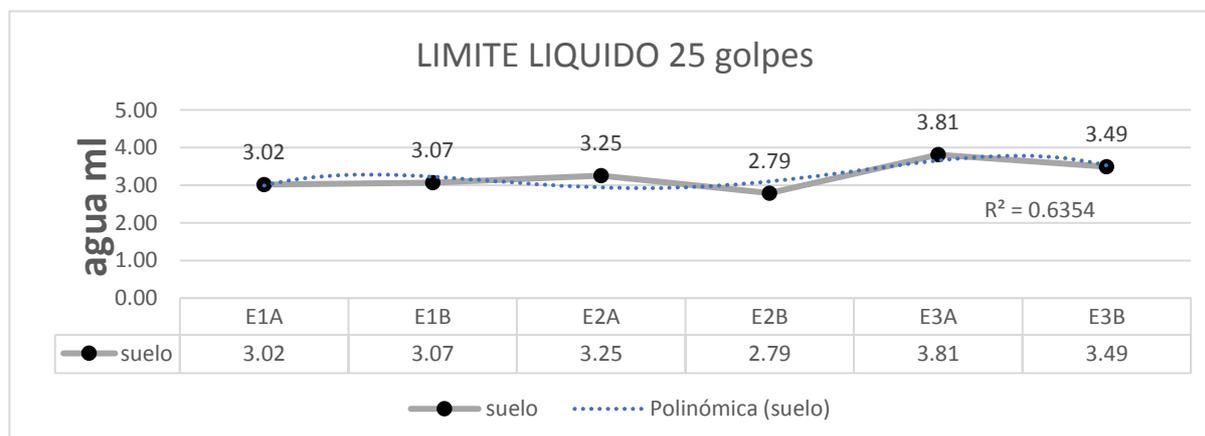
Cabe destacar que ninguno de los materiales tuvo adición de H₂O, quiere decir que el material está siendo probado en estado natural, con la cantidad de humedad con la que fueron extraídos. Cantidad de humedad a tomarse muy en cuenta para el momento de la elaboración de las dosificaciones de BTC con arena tradicional, debido a que como se expresa en la Tabla 11, no hace falta agregar agua de amasado y reacción para el cemento. ES suficiente con la humedad natural contenida.

3.3 ENSAYO DE CONSISTENCIA DE SUELO, Límites de Atterberg.

Tabla 21. Porcentaje de humedad 25 golpes. Fuente: (Autor, 2017)

| 25 GOLPES | | | | | | | |
|-----------|--------------------|--------------------|------------------|-------------------|--------------|-------------|-------|
| ENSAYO | PESO RECIPIENTE gr | PESO HUMEDO TOT gr | PESO SECO TOT gr | PESO MASA SECA gr | CANT AGUA ml | DESV. STDR | % |
| E1A | 44.69 | 55.32 | 52.30 | 7.61 | 3.02 | 0.0477 | 39.68 |
| E1B | 62.91 | 73.62 | 70.55 | 7.64 | 3.07 | 0.0283 | 40.18 |
| E2A | 50.00 | 61.53 | 58.28 | 8.28 | 3.25 | 0.0001 | 39.25 |
| E2B | 43.28 | 53.04 | 50.25 | 6.97 | 2.79 | 0.2010 | 40.03 |
| E3A | 44.63 | 58.07 | 54.26 | 9.63 | 3.81 | 0.3268 | 39.56 |
| E3B | 45.06 | 57.24 | 53.75 | 8.69 | 3.49 | 0.0633 | 40.16 |
| | | | | | 3.24 | 0.37 | 39.81 |

Tabla 22. Porcentaje de humedad 25 golpes. Fuente: (Autor, 2017)





3.3.1 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Para este ensayo utilizamos un recipiente para la preparación de la pasta, una paleta, pipeta para controlar la adición de agua, calibrador y material que pasa a través del tamiz N°40.



Figura 37. Ensayo límite plástico. (Autor, 2017)

Al ejecutar el ensayo, la masa no presenta una consistencia pastosa debido a su bajo contenido de finos, porcentaje que fue determinado en el ensayo de granulometría, apenas 1.82% que pasa el tamiz N°200.

CLASIFICACION DE SUELOS

Sistema AASHTO

Consideraciones :

- El IG se informa en números enteros y si es negativo se hace igual a 0.
- Permite determinar la calidad relativa de suelos de terraplenes, subrasantes, subbases y bases.
- Se clasifica al primer suelo que cumpla las condiciones de izquierda a derecha en la tabla.
- El valor del IG debe ir siempre en paréntesis después del símbolo de grupo.
- Cuando el suelo es NP o el LL no puede ser determinado, el IG es cero.
- Si un suelo es altamente orgánico, se debe clasificar como A- 8 por inspección visual y diferencia en humedades.

Nomenclatura :

| | |
|----------------------------------|---|
| Suelos con 35% o menos de finos: | A - 1 => Gravas y Arenas |
| | A - 2 => Gravas limosas o arcillosas Arenas limosas o arcillosas |
| | A - 3 => Arenas finas |
| Suelos con más de 35% de finos: | A - 4 => Suelos limosos |
| | A - 5 => Suelos limosos |
| | A - 6 => Suelos arcillosos |
| | A - 7 => Suelos arcillosos |

Figura 38. Sistema de clasificación de suelos. (Terzaghi, 2012)



La consistencia de la pasta es de tipo arenosa, lo que produce la rotura del rollo mucho antes de la medida requerida, por lo tanto, el suelo es de tipo NP, no plástico. Razón por la cual el suelo necesita ser clasificado por el sistema de clasificación AASHTO.

| Clasificación general | Materiales granulares (35% o menos de la muestra que pasa la malla No. 200) | | | | | | |
|--|--|---------|------------|----------------------------------|---------|---------|---------|
| | A-1 | | | A-2 | | | |
| Clasificación de grupo | A-1-a | A-1-b | A-3 | A-2-4 | A-2-5 | A-2-6 | A-2-7 |
| Análisis por cribado (porcentaje que pasa las mallas) | | | | | | | |
| No. 10 | 50 máx. | | | | | | |
| No. 40 | 30 máx. | 50 máx. | 51 mín. | | | | |
| No. 200 | 15 máx. | 25 máx. | 10 máx. | 35 máx. | 35 máx. | 35 máx. | 35 máx. |
| Características de la fracción que pasa la malla No. 40 | | | | | | | |
| Límite líquido | | | | 40 máx. | 41 mín. | 40 máx. | 41 mín. |
| Índice de plasticidad | 6 máx. | | NP | 10 máx. | 10 máx. | 11 mín. | 11 mín. |
| Tipos usuales de materiales componentes significativos | | | | | | | |
| | Fragmentos de piedra grava y arena | | Arena fina | Grava y arena limosa o arcillosa | | | |
| Tasa general de los subrasantes | | | | De excelente a bueno | | | |

Tabla 23. Tabla de clasificación sistema AASHTO. (Das, 1985)

Mediante la tabla N° 23, vemos que el porcentaje de suelo que pasa el tamiz N°40 es menor al 50%. Por lo tanto, nos ubicamos en la categoría de suelo A-1-b.

Por lo tanto, nos encontramos con un suelo No Plástico (NP), debido a que el valor para el índice plástico es Cero. Figura 38.



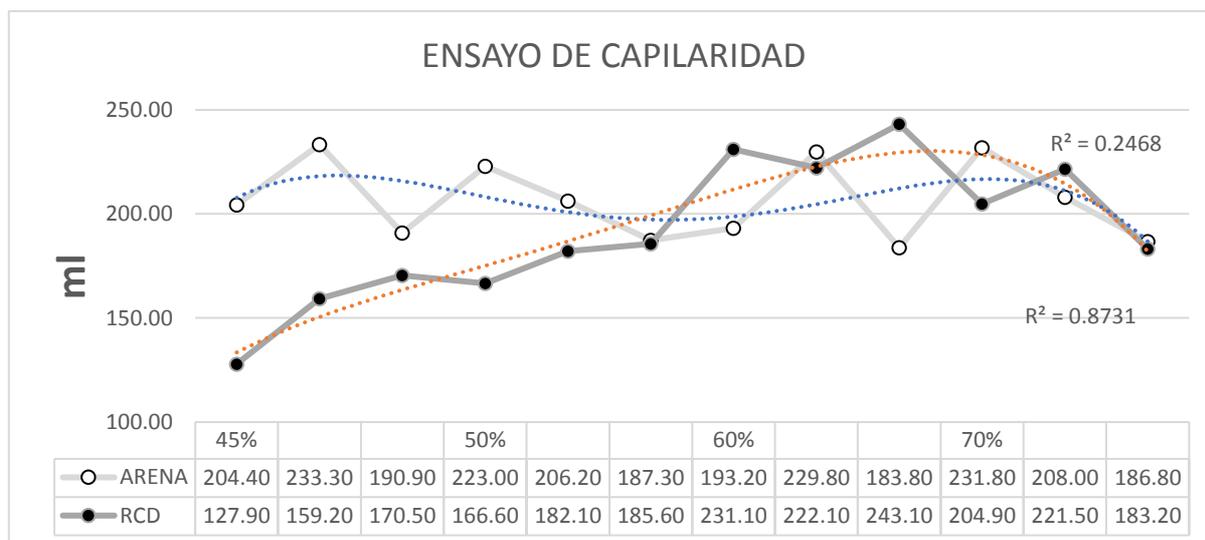
3.4 ENSAYOS MECANICOS Y FÍSICOS A LOS BTC CON RCD

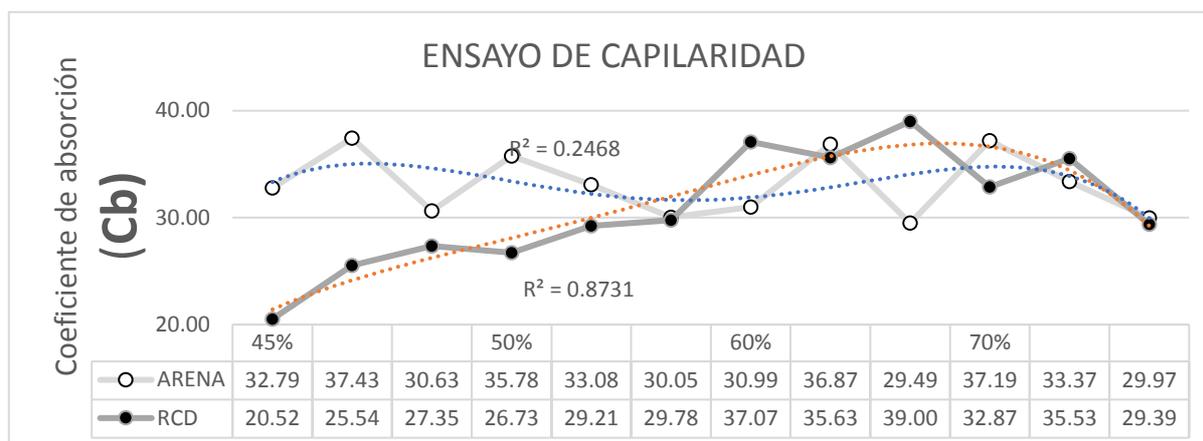
3.4.1.1 ENSAYO DE ABSORCIÓN Y CAPILARIDAD

Tabla 24. Coeficientes de absorción. (Autor, 2017)

| DOSIFICACION | ARENA | | | | RCD | | | | MEDIA ml |
|--------------|--------------|------------|-----------------|-------|--------------|------------|-----------------|-------|----------|
| | Masa inicial | Masa Final | Diferencia (gr) | Cb | Masa inicial | Masa Final | Diferencia (gr) | Cb | |
| 45% | 3778.90 | 3983.30 | 204.40 | 32.79 | 3379.50 | 3507.40 | 127.90 | 20.52 | 24.47 |
| | 3568.70 | 3802.00 | 233.30 | 37.43 | 3271.70 | 3430.90 | 159.20 | 25.54 | |
| | 3759.20 | 3950.10 | 190.90 | 30.63 | 3292.00 | 3462.50 | 170.50 | 27.35 | |
| 50% | 3632.60 | 3855.60 | 223.00 | 35.78 | 3429.30 | 3595.90 | 166.60 | 26.73 | 28.57 |
| | 3698.60 | 3904.80 | 206.20 | 33.08 | 3296.70 | 3478.80 | 182.10 | 29.21 | |
| | 3687.40 | 3874.70 | 187.30 | 30.05 | 3331.00 | 3516.60 | 185.60 | 29.78 | |
| 60% | 3733.70 | 3926.90 | 193.20 | 30.99 | 3368.10 | 3599.20 | 231.10 | 37.07 | 37.24 |
| | 3733.20 | 3963.00 | 229.80 | 36.87 | 3223.40 | 3445.50 | 222.10 | 35.63 | |
| | 3767.60 | 3951.40 | 183.80 | 29.49 | 3257.60 | 3500.70 | 243.10 | 39.00 | |
| 70% | 3817.40 | 4049.20 | 231.80 | 37.19 | 3253.60 | 3458.50 | 204.90 | 32.87 | 32.60 |
| | 3799.10 | 4007.10 | 208.00 | 33.37 | 3296.30 | 3517.80 | 221.50 | 35.53 | |
| | 3866.50 | 4053.30 | 186.80 | 29.97 | 3271.90 | 3455.10 | 183.20 | 29.39 | |

Tabla 25. Diferencia de peso. (Autor, 2017)



**Tabla 26.** Diagrama Cb. (Autor, 2017)

3.4.1.2 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Luego de realizar el ensayo de absorción y capilaridad a tres unidades por cada dosificación se determina que todos los bloques presentan un coeficiente de absorción Cb que varía entre 20 y 40, (Tabla 26), por lo tanto, basados en el artículo 3.3.2.2 de la NTC 5324, los consideramos como bloques POCO CAPILARES, debido a que el coeficiente $C_b \leq 40$. Cumpliendo lo exigido por la NTC 5324

Los valores del Índice de Absorción Ca, en las dosificaciones con arena es muy variable, sin embargo, sus valores se ubican entre 30 y 40. Mientras que las dosificaciones con RCD presentan una tendencia al alza mientras se incrementa el porcentaje de agregado, hasta un máximo en la dosificación del 70% de RCD en donde empieza un descenso con proyección a la baja.

Se debe destacar que todas las dosificaciones se ubican en un rango entre 20 y 40, haciendo que se los ubique dentro de la categoría:

Poco capilares $C_b \leq 40$

Nótese que los valores de Cb en las primeras series (45%, 50% y 60) que utilizan agregados de RCD guardan relación entre el incremento en el porcentaje de agregado y el incremento del coeficiente, a diferencia de la última serie (70%) en la que el índice disminuye.



3.4.2.1 ENSAYO DE ABRASIÓN

Tabla 27. Coeficiente Ca. (Autor, 2017)

| DOSIFIC | ARENA | | | | RCD | | | |
|----------|--------------|------------|-----------------|-------|--------------|------------|-----------------|-------|
| | Masa inicial | Masa Final | Diferencia (gr) | Ca | Masa inicial | Masa Final | Diferencia (gr) | Ca |
| 50%45%5% | 3562,40 | 3559,50 | 2,90 | 27,41 | 3243,10 | 3241,50 | 1,60 | 49,69 |
| | 3821,90 | 3818,80 | 3,10 | 25,65 | 3298,10 | 3296,30 | 1,80 | 44,17 |
| | 3829,30 | 3826,40 | 2,90 | 27,41 | 3273,00 | 3271,10 | 1,90 | 41,84 |
| 45%50%5% | 3644,40 | 3640,30 | 4,10 | 19,39 | 3308,00 | 3305,60 | 2,40 | 33,12 |
| | 3904,80 | 3900,90 | 3,90 | 20,38 | 3333,70 | 3331,20 | 2,50 | 31,80 |
| | 3899,90 | 3896,10 | 3,80 | 20,92 | 3299,60 | 3296,80 | 2,80 | 28,39 |
| 35%60%5% | 3719,00 | 3714,40 | 4,60 | 17,28 | 3238,90 | 3236,40 | 2,50 | 31,80 |
| | 3925,00 | 3920,20 | 4,80 | 16,56 | 3260,30 | 3257,90 | 2,40 | 33,12 |
| | 3894,30 | 3889,70 | 4,60 | 17,28 | 3227,50 | 3225,30 | 2,20 | 36,14 |
| 25%70%5% | 3825,70 | 3821,50 | 4,20 | 18,93 | 3204,10 | 3202,70 | 1,40 | 56,79 |
| | 3959,80 | 3955,20 | 4,60 | 17,28 | 3296,50 | 3295,30 | 1,20 | 66,25 |
| | 3957,60 | 3953,50 | 4,10 | 19,39 | 3273,00 | 3271,60 | 1,40 | 56,79 |

Tabla 28. Comportamiento Coeficiente Ca. Fuente: (Autor, 2017)

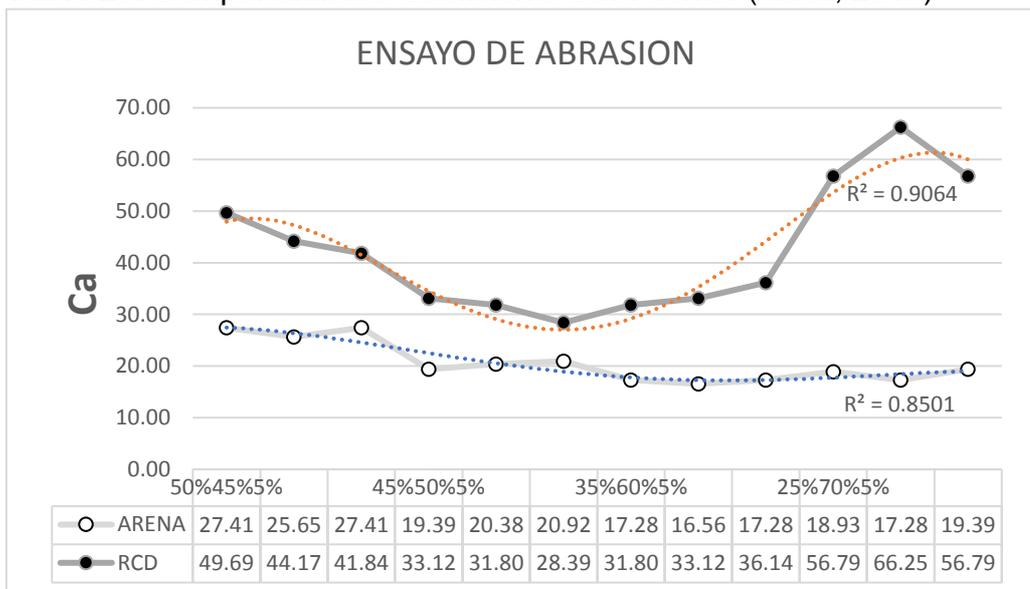


Figura 37. BTC ensayados a abrasión. Fuente (Autor, 2017)





3.4.2.2 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En función de lo que establece la Norma Técnica Colombiana NTC 5324, los requerimientos para las categorías de los bloques BSC 20, BSC 40 y BSC 60 exigen un Coeficiente de Abrasión Ca, de 2, 5 ó 7 cm²/g. respectivamente.

Si examinamos la gráfica de resultados (Tabla 28), podemos apreciar que, la NTC 5324, que requiere un coeficiente Ca ≥ 7 , los valores obtenidos para Ca en las dosificaciones con arena fluctúan entre 17 a 28, y los valores obtenidos para Ca en las dosificaciones con RCD alcanzan una media de 42.49, por lo tanto, superan por mucho los mínimos exigidos para este tipo de bloques.

Analizando la curva de comportamiento de la arena, podemos apreciar una curva con una variación más constante que la curva que representa los RCD, sin embargo, las dosificaciones con arena tienen una tendencia a la baja con el aumento del porcentaje de arena (Tabla 28). Mientras que la curva de los RCD presenta un inusual incremento en la resistencia a la abrasión con el incremento de agregados de RCD.

3.4.3.1 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION SECA



Figura 39. Ejemplos de Esfuerzos de carga R en BTC ensayados a compresión. (Autor, 2017).

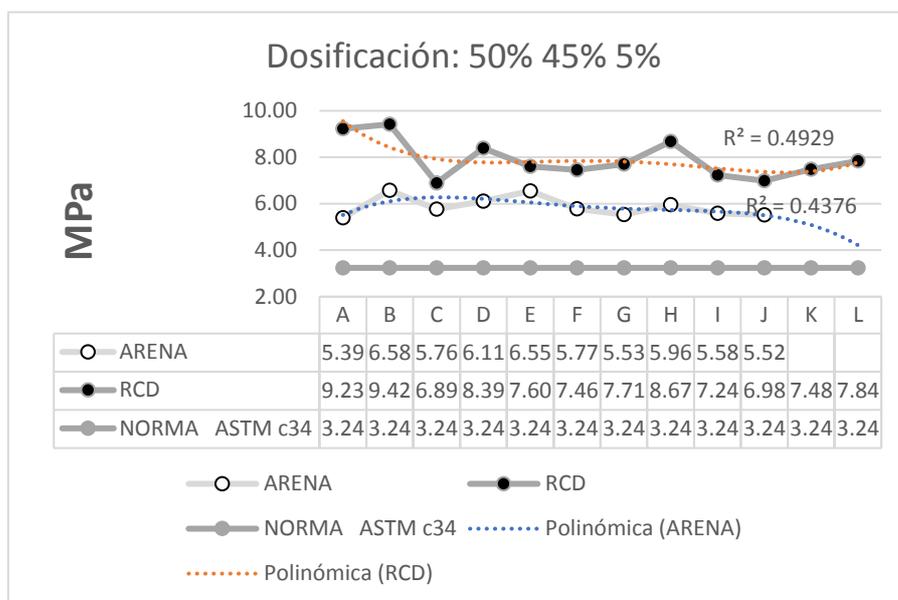


ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 45% RCD

Tabla 29. Esfuerzo R en dosificación al 45% (Autor, 2017) Ver anexo I y II

| DOSIFICACION | | |
|--------------|----------|---------|
| TIERRA | AGREGADO | CEMENTO |
| 50% | 45% | 5% |

| ensayo | ARENA | RCD |
|--------|-------|------|
| A | 5.39 | 9.23 |
| B | 6.58 | 9.42 |
| C | 5.76 | 6.89 |
| D | 6.11 | 8.39 |
| E | 6.55 | 7.60 |
| F | 5.77 | 7.46 |
| G | 5.53 | 7.71 |
| H | 5.96 | 8.67 |
| I | 5.58 | 7.24 |
| J | 5.52 | 6.98 |
| K | | 7.48 |
| L | | 7.84 |
| M | | 7.91 |
| N | | |
| O | | |



| | |
|-------------|-------------|
| 5.87 | 7.91 |
|-------------|-------------|

La norma NTC 5324 y la ASTM, requieren un mínimo de tres ensayos en probetas de una misma dosificación, sin embargo, para mayor cantidad de datos se ha realizado un número significativamente mayor de roturas a las probetas por cada dosificación 10u con arena, 13u con RCD y lograr un espectro más amplio del comportamiento de éstas ante el esfuerzo de compresión.

En la Tabla 29 observamos una marcada diferencia entre el comportamiento de los bloques con RCD, puesto que presentan un promedio de resistencia a la compresión $R=7.91$, mientras que los que tienen arena $R=5.87$, mostrando así que la serie de BTC con RCD tiene un mejor comportamiento a la compresión.

La curva de comportamiento de los RCD a pesar de presentar unos picos altos y bajos mantiene una clara tendencia a estabilizarse.

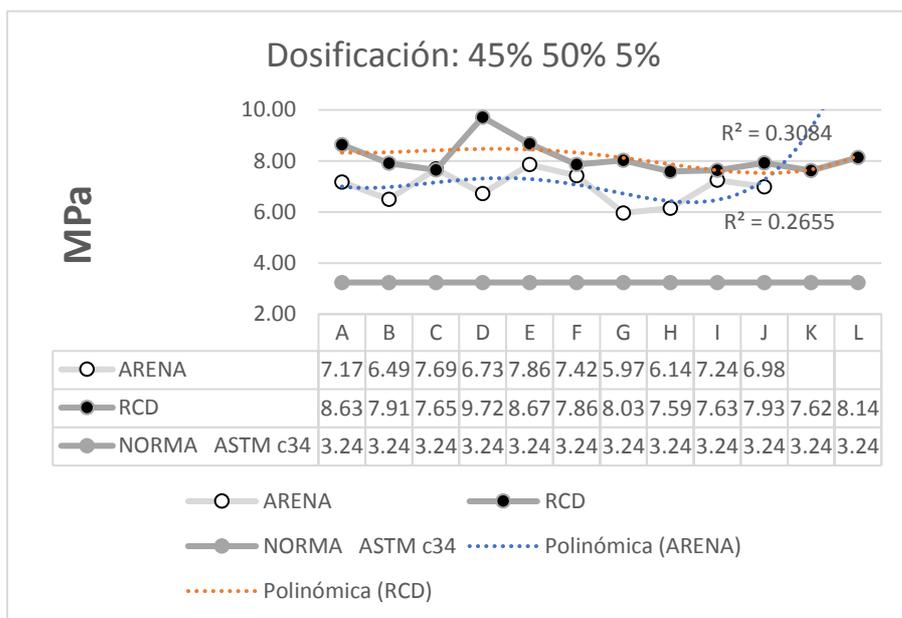


ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 50% RCD

Tabla 30. Esfuerzo R en dosificación al 50% (Autor, 2017) Ver anexo III y IV

| DOSIFICACION | | |
|--------------|----------|---------|
| TIERRA | AGREGADO | CEMENTO |
| 45% | 50% | 5% |

| ensayo | ARENA | RCD |
|--------|-------|------|
| A | 7.17 | 8.63 |
| B | 6.49 | 7.91 |
| C | 7.69 | 7.65 |
| D | 6.73 | 9.72 |
| E | 7.86 | 8.67 |
| F | 7.42 | 7.86 |
| G | 5.97 | 8.03 |
| H | 6.14 | 7.59 |
| I | 7.24 | 7.63 |
| J | 6.98 | 7.93 |
| K | | 7.62 |
| L | | 8.14 |
| M | | 8.12 |
| N | | |
| O | | |



| | |
|-------------|-------------|
| 6.97 | 8.12 |
|-------------|-------------|

Para el ensayo de resistencia a la compresión en la dosificación de 50% de arena y 50% de RCD, se ha realizado la rotura de 10u con Arena y 13u con RCD. (Tabla 30)

El análisis de los valores obtenidos tras los ensayos en la serie de los BTC con arena muestra una mayor dispersión, fluctuando entre 5.97 y 7.86 MPa. Con una curva de comportamiento bastante irregular debido a los picos altos y bajos, sin embargo, obtiene un promedio de 6.97 MPa.

El análisis de los valores de la dosificación con 50% de RCD presenta una curva de comportamiento más estable, a pesar de un pico elevado, su tendencia de desarrollo es estable, obteniendo un promedio de 8.12 MPa. Claramente más alto que el obtenido por la dosificación con arena.

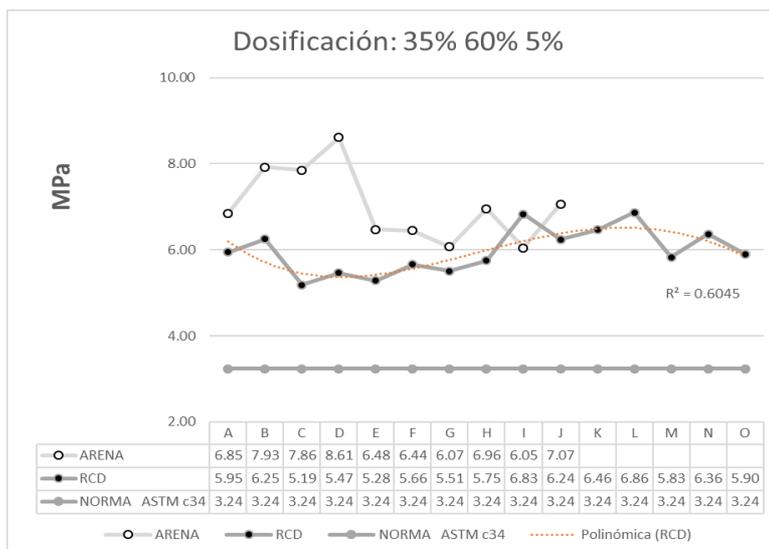


ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 60% RCD

Tabla 31. Esfuerzo R en dosificación al 60% (Autor, 2017) Ver anexo V y VI

| DOSIFICACION | | |
|--------------|----------|---------|
| TIERRA | AGREGADO | CEMENTO |
| 35% | 60% | 5% |

| ensayo | ARENA | RCD |
|--------|-------|------|
| A | 6.85 | 5.95 |
| B | 7.93 | 6.25 |
| C | 7.86 | 5.19 |
| D | 8.61 | 5.47 |
| E | 6.48 | 5.28 |
| F | 6.44 | 5.66 |
| G | 6.07 | 5.51 |
| H | 6.96 | 5.75 |
| I | 6.05 | 6.83 |
| J | 7.07 | 6.24 |
| K | | 6.46 |
| L | | 6.86 |
| M | | 5.83 |
| N | | 6.36 |
| O | | 5.90 |



| | |
|-------------|-------------|
| 7.03 | 5.97 |
|-------------|-------------|

Para el ensayo de resistencia a la compresión en la dosificación de 60% de arena y 60% de RCD, se ha realizado la rotura de 10u con Arena y 15u con RCD. (Tabla 31)

El análisis de los valores obtenidos tras los ensayos en la serie de los BTC con arena muestra un comportamiento muy variable, fluctuando entre 6.05 y 8.61 MPa. Con una curva de comportamiento muy irregular debido a los picos altos y bajos, sin embargo, obtiene un promedio de 7.03 MPa.

El análisis de los valores de la dosificación con 60% de RCD presenta una curva de comportamiento menos dispersa que la de la arena, su tendencia de desarrollo es estable, obteniendo un promedio de 5.97 MPa. La diferencia entre los promedios de las series no sigue el patrón de incremento registrado en las dos series anteriores de 45% y 50%. A pesar de que supera lo exigido por la norma ASTM (3.24 MPa), se recomienda elaborar mayores estudios.

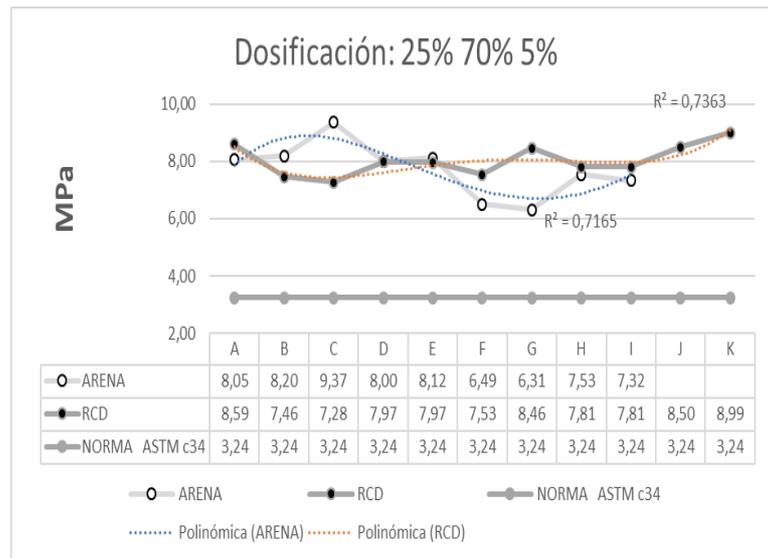


ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 70% RCD

Tabla 32. Esfuerzo R en dosificación al 70% (Autor, 2017) Ver anexo VII y VIII

| DOSIFICACION | | |
|--------------|----------|---------|
| TIERRA | AGREGADO | CEMENTO |
| 25% | 70% | 5% |

| ensayo | ARENA | RCD |
|--------|-------|------|
| A | 8.05 | 8.59 |
| B | 8.20 | 7.46 |
| C | 9.37 | 7.28 |
| D | 8.00 | 7.97 |
| E | 8.12 | 7.97 |
| F | 6.49 | 7.53 |
| G | 6.31 | 8.46 |
| H | 7.53 | 7.81 |
| I | 7.32 | 7.81 |
| J | | 8.50 |
| K | | 8.99 |
| L | | 8.03 |
| M | | |
| N | | |
| O | | |



| | |
|-------------|-------------|
| 7.71 | 8.03 |
|-------------|-------------|

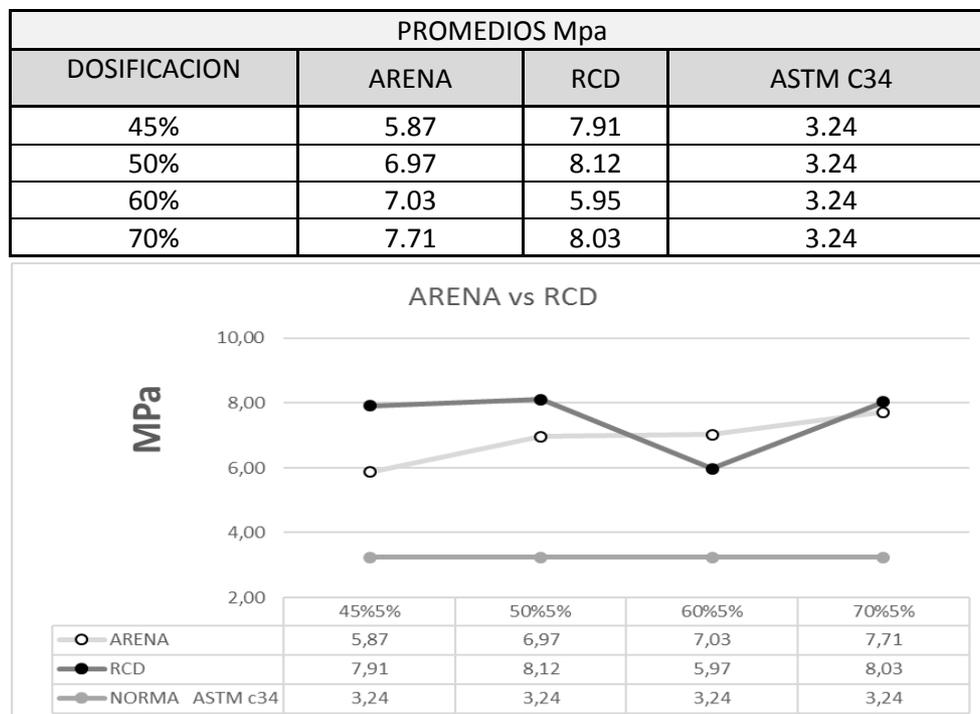
Para el ensayo de resistencia a la compresión en la dosificación de 60% de arena y 60% de RCD, se ha realizado la rotura de 9u con Arena y 12u con RCD. (Tabla 32)

El análisis de los valores obtenidos tras los ensayos en la serie de los BTC con arena muestra un comportamiento variable, fluctuando entre 6.31 y 9.37 MPa. Con una curva de comportamiento muy irregular debido a los picos altos y bajos, sin embargo, obtiene un promedio de 7.71 MPa.

El análisis de los valores de la dosificación con 70% de RCD presenta una curva de comportamiento bastante estable, su tendencia se proyecta al incremento, obteniendo un promedio de 8.03 MPa. La diferencia entre los promedios de las series se apega al patrón de incremento registrado en las dos primeras series de 45% y 50%.



3.4.4 ANALISIS DE RESULTADOS GENERALES

Tabla 31. Esfuerzo R promedio en dosificaciones. (Autor, 2017)

En la Tabla 31, tenemos como resumen los promedios del esfuerzo de carga para la rotura de las probetas durante el ensayo de compresión seca a las diferentes dosificaciones que varían en los porcentajes de peso de los agregados.

Como primer punto a resaltar, debemos destacar que en el caso de la norma ASTM C34 requiere una resistencia mínima de 3.24 MPa, y que la NTC 5324 requiere resistencias de 2, 4 y 6 MPa dependiendo de la categoría del bloque.

Excepto por la dosificación al 60%, a la que se recomienda hacer mayores pruebas para establecer comportamientos, los bloques con agregados de RCD tienen mucha mayor resistencia al esfuerzo de compresión que lo que exige la norma ASTM, y lo exigido por el máximo valor para el BSC 60 de 6 MPa de la NTC 5324. Tabla 31.

En el punto máximo de porcentaje de adición de arena y RCD, los bloques presentan una clara tendencia a confluir y estabilizarse en sus valores de resistencia a la compresión R, pudiendo observar que el porcentaje de RCD utilizado no afecta al valor del coeficiente R, mientras que, en el caso de la arena, R aumenta con el incremento de su porcentaje (Tabla 31).



Los bloques que han sido sometidos al esfuerzo de compresión, presentan decremento en la altura debido a su condición propia de los materiales con los que se los han elaborado.

El patrón de rotura es similar en la gran mayoría de los bloques, que consiste en fallas verticales en las caras exteriores perimetrales de las probetas, sin embargo, no llegan hasta la desintegración del elemento. Los patrones de rotura son similares en los bloques hechos con arena y los elaborados con RCD. Fig.40



Figura 40. Patrón de rotura en BTC ensayados a compresión.
(Autor, 2017)



3.5 RESULTADOS FINALES

Luego de la culminación del proyecto de investigación se puede establecer que los BTC con agregados de RCD tienen un coeficiente de resistencia a la compresión R , absorción y capilaridad C_b superiores a las exigidas por la Norma Técnica Colombiana NTC 5324 y ASTM c34, sobrepasando los estándares físicos y mecánicos exigidos a estos materiales y ser catalogados como BSC40 y BSC60.

En el caso del ensayo a compresión la norma ASTM C34 exige 3.24 MPa. En la dosificación con 45% de RCD obtuvimos una media de 7.91 MPa, para la dosificación con 50% obtuvimos 8.12 MPa, para la dosificación con 60% obtuvimos 5.97 MPa y para la dosificación con 70% obtuvimos una media de 8.03 MPa.

En el ensayo de capilaridad todas las dosificaciones con RCD, presentan un buen comportamiento, con un coeficiente C_b entre 20 y 40, lo que bajo la NTC 5324 los cataloga como *POCO CAPILARES* y muestran un comportamiento direccional más predecible con el incremento de agregados que las dosificaciones con arena, el ensayo muestra además que, con el incremento de agregado de RCD mejora el índice de capilaridad. Por lo tanto, las dosificaciones con arena y las que contienen RCD cumplen los estándares exigidos por la NTC 5324.

En el caso del ensayo a abrasión, las dosificaciones elaboradas con RCD presentan un comportamiento muy superior al presentado por las dosificaciones con arena tradicional. La NTC 5324 exige un coeficiente de abrasión C_a de 2 cm²/g para BSC20, 5 cm²/g para BSC40 y 7 cm²/g para BSC60. Las dosificaciones con arena tradicional fluctúan entre 16.56 cm²/g y 27.17 cm²/g. Pero las dosificaciones con RCD son muy superiores y llegan hasta un valor tan alto como 66.25 cm²/g en el caso de la dosificación que contiene el 70% de agregado de RCD.

La serie de BTC que contiene el 70% de RCD tiene mayores valores y curvas de comportamiento más estables en los ensayos para los coeficientes R , C_b , C_a . Adicionalmente es la que recepta mayor porcentaje de RCD en su dosificación.



CAPÍTULO CUARTO

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES



La construcción como actividad cotidiana de la sociedad actual, está íntimamente relacionada con la extracción de materiales y producción de residuos que generan los diferentes procesos que la componen. Es imperativa la necesidad de encontrar oportunidades sostenibles de reciclaje de residuos, para detener la contaminación del planeta y frenar la sobreexplotación de recursos naturales.

El reto está en proponer alternativas, que contribuyan a cerrar ciclos de vida de materiales y sean amigables con el ambiente, además de presentar las características exigidas a un material de construcción.

El retorno a la construcción con tierra debe ser considerado como una alternativa sustentable, pero sobre todo que no implique la reducción de estándares de seguridad, economía y confort a las condiciones de habitabilidad contemporánea.

La hipótesis para el proyecto de investigación, que plantea la sustitución de agregados tradicionales por agregados de RCD en los BTC ha sido probada con validez. Los objetivos específicos planteados se fueron cumpliendo a cabalidad, pues en la primera fase de la investigación se logró un acervo documental como base sólida para determinar la normativa a ser aplicada debido a la ausencia de una normativa nacional para este tipo de mampuestos, permitió además la inclusión de una prensa electro hidráulica como sustitución a la prensa artesanal, permitió también la incorporación del cemento como estabilizante de suelos para el proceso de elaboración de los BTC.

La segunda fase de la investigación, de carácter netamente experimental, contribuyó en poder determinar las dosificaciones y la composición de los elementos para la elaboración de los BTC para ser replicables en futuras investigaciones.

La tercera fase de la Investigación, también de carácter experimental, fue de singular interés, pues tras los ensayos realizados a los BTC se pudieron corroborar con datos, lo planteado por la hipótesis.

Los resultados obtenidos en los ensayos indican que, el comportamiento de los BTC con RCD ante las exigencias físicas y mecánicas de la NTC 5324 supera al mostrado por los BTC con arena tradicional. En el caso del ensayo a la compresión,



la dosificación que contiene el 70% de agregado de RCD supera la exigencia de la norma ASTM c34 hasta en el 250%. Los resultados obtenidos califican dentro de la NTC 5324 a los BTC con RCD como mampuestos para muros y divisiones (BSC 60) con una clasificación S, (para un medio seco). Uno de los factores decisivos para los resultados obtenidos fue el uso de una prensa electro hidráulica de 19 MPa.

Por lo tanto, los BTC con RCD constituyen una alternativa sostenible y sustentable para la construcción, pues superan lo exigido por la norma y adicionalmente incorporan como materia prima los Residuos de Construcción y Demolición, que se pueden obtener a muy bajo costo o talvez nulo, contribuyendo a cerrar sus ciclos de vida. Situación que implica una disminución del volumen de residuos a ser dispuestos en los vertederos y escombreras.

Adicionalmente a los resultados obtenidos, otro aporte fundamental del proyecto de investigación radica en la factibilidad de la reproducción de los resultados y el planteamiento de futuras líneas de investigación, se plantea por ejemplo la interrogante de los resultados a obtener con una prensa que ejerza una fuerza de compresión superior al momento de la elaboración de los BTC, o el uso de RCD provenientes de mamposterías, maderas, materiales bituminosos, vidrios, plásticos, papel y cartón.

Pero surgen interrogantes más amplias aún, como su comportamiento en mampostería estructural, la combinación de sistemas constructivos con metal o madera para la resolución luces y dinteles en vanos de dimensiones mayores, la capacidad de resolución de edificaciones en varias plantas de altura, sus prestaciones para la habitabilidad contemporánea en la arquitectura y la expresión estética del material.

Tras los resultados obtenidos también surge la interrogante acerca de la cuantificación en la disminución del impacto ambiental tras la incorporación de los RCD para la manufactura de materiales de segunda generación.

Los resultados obtenidos sugieren también la importancia de la implantación de un Plan de Gestión de RCD a nivel local, soportado en un método de clasificación en la fuente de generación, que considere y fomente un mejor aprovechamiento de los



residuos como recursos para la manufactura de otros materiales de construcción, de segunda generación.

RECOMENDACIONES

Ante la oportunidad del retorno a la construcción con tierra como alternativa sustentable, es imperativa la estandarización de las normativas a nivel mundial, que permitan parámetros internacionales de comparación y control.

BIBLIOGRAFÍA



BIBLIOGRAFÍA

- ABNT. (1984). NBR 8492, TIJOLO MACICO DE SOLO-CIMENTO, Determinacao da Resistencia a Compressao e da Absorcao d'Agua, Método de ensaio, 3–7.
- ABNT. (1984). TIJOLO MACICO DE SOLO-CIMENTO, Determinacao da Resistencia a Compressao e da Absorcao d'Agua, NBR 8492, Método de ensaio, 3–7.
- ABNT. (1994a). NBR 10834 Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural.
- ABNT. (1994b). NBR 10836 Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural - Determinação da resistência à compressão e da absorção de água, 3–4.
- ABNT. (2013). NBR 10833-2012, Versão Corrigida. 2013 Fabricação de tijolo e bloco de solo cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica. Procedimento.
- Adam, E., y Agib, A. (2001). *Compressed Stabilised Earth Block Manufacture in Sudan*, France: Graphprint for the United Nations Educational Scientific and Cultural Organization.
- Aldana, J., y Serpell, A. (2012). Temas y tendencias sobre residuos de construcción y demolición: Un meta-análisis. *Revista de La Construcción*, 11(2), 4–16.
- Arteaga, K., Medina, Ó., y Gutierrez, Ó. (2011). *Bloque de tierra comprimida como material constructivo Compressed earth blocks, as construction material*, 20(31), 55–68.
- Aubert, J. E., Fabbri, A., Morel, J. C., y Maillard, P. (2013). An earth block with a compressive strength higher than 45 MPa! *Construction and Building Materials* (vol.47). Países Bajos:Elsevier.
- Aubert, J. E., y Gasc Barbier, M. (2012). *Hardening of clayey soil blocks during freezing and thawing cycles. Applied Clay Science* (vol.65)(vol.66). Países Bajos:Elsevier.
- Aubert, J. E., Magniont, C., Tribout, C., y Bertron, A. (2016). *Plant aggregates and fibers in earth construction materials: A review*, (vol.111). Países Bajos:Elsevier.
- Baca, L. (2007). Arquitectura en tierra. Hacia la recuperación de una cultura constructiva, 20(2), 118-370.
- Barbeta, G. (2002). mejora de la tierra estabilizada en el desarrollo de una arquitectura sostenible hacia el siglo XXI.
- Barros, L. P., y Imhoff, F. A. (2010). Resistencia sísmica del suelo-cemento postensado en construcciones de baja complejidad geométrica. *Revista de La Construcción*, 9(2),
- Basha, E. A., Hashim, R., Mahmud, H. B., y Muntohar, A. S. (2005). Stabilization of residual soil with rice husk ash and cement. *Construction and Building Materials*, 19(6), 448–453.
- Bestraten, S., Hormías, E., y Altemir, A. (2011). Construcción con tierra en el siglo XXI-- Earthen Construction in the 21st Century. *Informes de La Construcción*, 63(523), 5–20.
- Butera, S., Christensen, T. H., y Astrup, T. F. (2015). Life cycle assessment of construction and demolition waste management. *Waste Management*, 44, 196–205.
- Cagnon, H., Aubert, J. E., Coutand, M., y Magniont, C. (2014). Hygrothermal properties of earth bricks. *Energy & Buildings*, 80, 208-217



- Carrizosa, J. (2000). *¿QUE ES AMBIENTALISMO? -La visión ambiental compleja.*
- Castano, J., Misle, R., Lasso, L., Gómez, A., y Ocampo, M. (2013). Gestión de residuos de construcción y demolición RCD en Bogotá: perspectivas y limitantes. *Tecnura*, 17(38), 121–129.
- CES Consejo Económico y Social. (2016). *El papel del sector de la construcción en el crecimiento económico: competitividad, cohesión y calidad de vida. Informes.*
- Cid-Falceto, J., Mazarrón, F. R., y Cañas, I. (2012). Assessment of compressed earth blocks made in Spain: International durability tests. *Construction and Building Materials*, 37, 738–745.
- Cid, J., Mazarrón, F. R., y Cañas, I. (2011). Las normativas de construcción con tierra en el mundo. *Informes de La Construcción*, 63(523), 159–169.
- Danso, H., Martinson, D. B., Ali, M., y Williams, J. B. (2015). Physical , mechanical and durability properties of soil building blocks reinforced with natural fibres. *CONSTRUCTION & BUILDING MATERIALS*, 101, 797–809.
- Das, B. M. (1985). *Fundamentos de Ingeniería geotécnica. Thomson Learning*, 587.
- Gaggino, R. (2004). Un nuevo desafío: construir con materiales reciclados.
- Garzón, L. E., y Martins Neves, C. M. (2007). Investigar, formar, capacitar y transferir. Los grandes desafíos de la arquitectura y construcción con tierra. *Apuntes: Revista de Estudios Sobre Patrimonio Cultural - Journal of Cultural Heritage Studies*, 20(2), 324–335.
- Ghosh, S., Haldar, H., Chatterjee, S., y Ghosh, P. (2016). An Optimization Model on Construction and Demolition Waste Quantification from Building. *Procedia Environmental Sciences*, 35, 279–288.
- Heinrich Boll Foundation. (2005). *Globalización y Medio Ambiente: Lecciones desde las Américas.*
- INEC Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2016). Empleo (Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo - ENEMDU). *Instituto Nacional de Estadísticas*, 47–63.
- Jaramillo, E. R., Plata, J. M., y Ríos, C. A. (2014). The use of gypsum mining by-product and lime on the engineering properties of compressed earth blocks. *Dyna*, 81(188), 42–51.
- Kijjanapanich, P., Annachhatre, A. P., Esposito, G., van Hullebusch, E. D., y Lens, P. N. L. (2013). Biological sulfate removal from gypsum contaminated construction and demolition debris. *Journal of Environmental Management*, 131, 82–91.
- Kinuthia, J. M. (2014). *The durability of compressed earth-based masonry blocks. Eco-efficient Masonry Bricks and Blocks: Design, Properties and Durability.* Elsevier Ltd.
- Mansour, M. Ben, Jelidi, A., Cherif, A. S., y Jabrallah, S. Ben. (2016). Optimizing thermal and mechanical performance of compressed earth blocks (CEB). *Construction and Building*
- Martínez, I. (2012). Hacia la determinación de la viabilidad ambiental de los sistemas constructivos : el caso de los BTC en la zona central de la República mexicana *, 25,
- Mattone, R. (2007). Investigación y formación para la evolución de las tradiciones.: Los bloques perfilados para la autoconstrucción. *Apuntes: Revista de Estudios Sobre Patrimonio Cultural - Journal of Cultural Heritage Studies*, 20(1), 318–323.
- (Mattone,2007,p.318-323) CITA
- Minke, G. (2005). *Manual de construcción en tierra : la tierra como material de construcción y*



su aplicación en la arquitectura actual.

Nagaraj, H. B., Sravan, M. V., Arun, T. G., y Jagadish, K. S. (2014). Role of lime with cement in long-term strength of Compressed Stabilized Earth Blocks. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 3(1), 54–61.

Pacheco, F., & Jalali, S. (2012). Earth construction : Lessons from the past for future eco-efficient construction. *Construction and Building Materials*, 29, 512–519. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.054>

Pacheco, F., y Jalali, S. (2012). Earth construction : Lessons from the past for future eco-efficient construction. *Construction and Building Materials*, 29, 512–519.

Pacheco, F., y Labrincha, J. (2013). The future of construction materials research and the seventh UN Millennium Development Goal : A few insights. *Construction and Building Materials*, 40, 729–737.

Pacheco Torgal, F. (2014). Introduction to eco-efficient masonry bricks and blocks. *Eco-Efficient Masonry Bricks and Blocks: Design, Properties and Durability*, 1–10.

Neves, C., y Borges Faria, O. (2011). PROTERRA *TECNICAS DE CONSTRUCCION CON TIERRA*. Brazil: FEB-UNESP / PROTERRA

Riza, F. V., y Rahman, I. A. (2014). *The properties of compressed earth-based (CEB) masonry blocks*. *Eco-efficient Masonry Bricks and Blocks: Design, Properties and Durability*. Elsevier Ltd.}

Rotondaro, R. (2007). Arquitectura de tierra contemporánea: tendencias y desafíos. *Revista Apuntes*, 20(2), 342–353.

Roux, R. S., y Espuna, J. (2012). El Hidróxido de Calcio y los bloques de tierra comprimida, alternativa sostenible de construcción. *Nova Scientia, ISSN-E 2007-0705, Vol. 5, Nº. 9, 2012, Págs. 176-202, 5(9), 176–202.*

Sánchez, C. E. (2007). La arquitectura de tierra en Colombia , procesos y culturas constructivas. *Apuntes: Revista de Estudios Sobre Patrimonio Cultural*, 20(2), 242–255.

Serrano, M., y Pérez, D. (2009). Propuesta De Un Programa De Gestion Integral De Escombros.

Sitton, J. D., y Story, B. A. (2016). Estimating Soil Classification Via Quantitative and Qualitative Field Testing for Use in Constructing Compressed Earth Blocks. *Procedia Engineering*, 145, 860–867.

Terzaghi. (2012). Clasificación de Suelos, 1–20.

Toirac, J. (2008). El Suelo Cemento como material de construcción (Ground-Cement as a construction material). *Ciencia Y Sociedad*, XXXIII, 53.

Une 41410. (2008). Bloques de tierra comprimida para muros y taboques/Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo. *Aenor*, 28.

UNEP United Nations Environment Programme. (2008). Cities and Green Buildings In the Transition to a Green Economy. *New York*.

UNESCO-PNUMA. (2002). Manual de educación para un consumo sostenible. *Manual de Educación Para Un Consumo Sostenible*.

UNESCO, W. (2012). *Inventory of earthen architecture, WORLD HERITAGE*.

UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA, U. (1997). Impurezas orgánicas en arenas, (1), 1–6.



Vásquez, A., Botero, L. F., y Carvajal, D. (2015). Fabricación de bloques de tierra comprimida con adición de residuos de construcción y demolición como reemplazo del agregado pétreo convencional. *Ingeniería Y Ciencia - Ing.cienc.*, 11(21), 197–220.

Wu, Z., Yu, A. T. W., Shen, L., y Liu, G. (2014). Quantifying construction and demolition waste: An analytical review. *Waste Management*, 34(9), 1683–1692.

REFERENCIAS

ARQUITECTURA, P. (2006). *Centro Cultural del Desierto Nk'Mip / DIALOG*. Obtenido de <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-365395/centro-cultural-del-desierto-nk-mip-dialog>

ARQUITECTURA, P. (2011). *Escuela de Artes Visuales de Oaxaca / Taller de Arquitectura - Mauricio Rocha*. Obtenido de <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/750038/escuela-de-artes-visuales-de-oaxaca-taller-de-arquitectura-mauricio-rocha>

ARQUITECTURA, R. D. (Enero de 2015). *Bloques de tierra comprimida BTC, tecnología constructiva limpia*. Obtenido de <http://apuntesdearquitecturadigital.blogspot.com/2015/01/bloques-de-tierra-comprimida-tecnologia.html>

arrsa. (14 de 5 de 2013). *arrsa.org*. Obtenido de <http://arrsa.org/2013/05/quincha-una-tradicion-de-futuro/>

CRIATIVA, E. (06 de 06 de 2017). *AS COISAS+CRIVTIVAS DO MUNDO*. Obtenido de <https://ascoisasmaiscriativasdomundo.catracalivre.com.br/economia-criativa/casa-feita-de-palha-terra-e-pedra-reduz-emissao-de-co2/>

ECYT-AR. (13 de 09 de 2014). *VIVIENDAS DE ADOBE*. Obtenido de http://cyt-ar.com.ar/cyt-ar/index.php/Viviendas_de_adobe

FONTAINE, V. (2017). *Le Domaine de la Terre*. Obtenido de <http://www.mairie-villefontaine.fr/Galerie-photos/Le-Domaine-de-la-Terre>

INDUSTRY, Q. H. (2017). *QINGDAO HF INDUSTRY*. Obtenido de <http://www.hfblockmachine.com/es/>

León, A. M.-D. (13 de 01 de 2016). *ELSEVIER*. Obtenido de <http://www.elsevier.es/es-revista-ingenieria-investigacion-tecnologia-104-articulo-ensayos-mezclas-barro-estabilizadas-el-S1405774316000147>

López, A. (2013). *www.viajeuniversal.com*. Obtenido de BLOG VIAJE AL DESIERTO DE MARRUECOS: <http://www.viajeuniversal.com/maroc/maroc/blogdesiertomarruecos2013.htm>

PAPERCRETE.COM. (2017). *2010 CINVA RAM BLOCK PRESS- PLANS TO BUILD*. Obtenido de <http://www.papercrete.com/cinvaramplans.html>



ROCHA, M. (12 de febrero de 2015). *Los BTC (Bloque de Tierra Comprimida): material por excelencia para la bioconstrucción*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/FundacionLaboral/presentacin-miguel-rocha-v1501>

Tancheng County Hongbaoyuan Machinery Co., L. (2017). *Manual Compressed Earth Block Machine from Brick Making Machinery Supplier or Manufacturer*. Obtenido de hbjx.en.alibaba.com

VALENCIA, U. P. (2014). *tieRAH*. Obtenido de <https://tierrah.wordpress.com/category/herramientastapial/>

wakan.org. (2013). *WAKAN THE WILD GUIDE*. Obtenido de wakan.org: <http://wakan.org/>

ANEXOS

| | | | | | | | |
|---|--|--|------|---|--|--------------------|--------|
|  | | <h2 style="text-align: center;">ENSAYOS DE COMEPESIÓN SOBRE BTC</h2> | |  | | Número: | 0001 |
| | | | | | | Fecha de creación: | 201706 |
| Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas | | Fecha de revisión: | | <h3 style="text-align: center;">TIPO DE ROTURA</h3> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  TIPO 1 </div> <div style="text-align: center;">  TIPO 2 </div> <div style="text-align: center;">  TIPO 3 </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  TIPO 4 </div> <div style="text-align: center;">  TIPO 5 </div> <div style="text-align: center;">  TIPO 6 </div> </div> | | | |
| | | Año lectivo: | 2017 | | | Serie: | ARENA |
| Instrumento tipo: Máquina para ensayos de compresión de cilindros de hormigón ACCU-TEK touch 350. | | | | | | | |

Proyecto: **BTC con agregados de RCD**
 Solicitado por: Arq. Pablo J. Mejía
 Descripción: **Bloques de tierra comprimida, estabilizados con cemento y con agregados de RCD**

| FECHA DE CONFECCION | FECHA DE ROTURA | EDAD ENSAYO (días) | ALTURA (cm) | ANCHO (cm) | LONGITUD (cm) | AREA BRUTA (cm ²) | DIAMETRO AGUJEROS (cm ²) | AREA AGUJEROS (cm) | AREA CARGA (cm ²) | C. DE ROTURA (kg) | F. DE ROTURA (kg/cm ²) | f'c esp. | CODIGO PROBETA | HORA | TIPO | AGREGADO | ASTM c34 (Mpa) | RESPONSABLE |
|---------------------|-----------------|--------------------|-------------|------------|---------------|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------------|----------|----------------|-------|------|----------|----------------|--------------------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 15.00 | 13.70 | 205.50 | 11.60 | 105.68 | 99.82 | 5.378 | 53.9 | 45% | 45A.1 | 08:30 | 6 | ARENA | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.30 | 13.80 | 197.34 | 11.60 | 105.68 | 91.66 | 6.027 | 65.8 | 45% | 45A.2 | 08:33 | 6 | ARENA | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.10 | 14.70 | 13.70 | 201.39 | 11.70 | 107.51 | 93.88 | 5.408 | 57.6 | 45% | 45A.3 | 08:36 | 6 | ARENA | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.10 | 14.60 | 13.70 | 200.02 | 11.60 | 105.68 | 94.34 | 5.762 | 61.1 | 45% | 45A.4 | 08:39 | 6 | ARENA | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.60 | 13.80 | 201.48 | 11.60 | 105.68 | 95.80 | 6.270 | 65.5 | 45% | 45A.5 | 08:42 | 6 | ARENA | 3.24 | Edison Castillo C. |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.90 | 13.80 | 205.62 | 11.60 | 105.68 | 99.94 | 5.771 | 57.7 | 45% | 45A.6 | 08:45 | 6 | ARENA | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.05 | 14.80 | 13.70 | 202.76 | 11.60 | 105.68 | 97.08 | 5.370 | 55.3 | 45% | 45A.7 | 08:48 | 6 | ARENA | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.05 | 14.40 | 13.70 | 197.28 | 11.60 | 105.68 | 91.60 | 5.461 | 59.6 | 45% | 45A.8 | 08:51 | 6 | ARENA | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.70 | 13.80 | 202.86 | 11.60 | 105.68 | 97.18 | 5.425 | 55.8 | 45% | 45A.9 | 08:54 | 6 | ARENA | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.40 | 13.80 | 198.72 | 11.70 | 107.51 | 91.21 | 5.031 | 55.2 | 45% | 45A.10 | 08:57 | 6 | ARENA | 3.24 | |

Universidad de Cuenca, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Agustín Cueva y Av. 12 de Abril, Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas, edison.castillo@ucuenca.edu.ec, 0983367390, 4051102 ext. 2150

ANEXO I: FICHA DE RESULTADOS DOSIFICACION ARENA 45%



ENSAYOS DE COMPESIÓN SOBRE BTC

Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca
Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas

Instrumento tipo: **Máquina para ensayos de compresión de cilindros de hormigón ACCU-TEK touch 350.**

Número: 0002

Fecha de creación: 201706

Fecha de revisión: 2017

Año lectivo: 2

Serie: RCD

TIPO DE ROTURA



TIPO 1



TIPO 2



TIPO 3



TIPO 4



TIPO 5



TIPO 6

Proyecto: BTC con agregados de RCD
Solicitado por: Arq. Pablo J. Mejía
Descripción: Bloques de tierra comprimida, estabilizados con cemento y con agregados de RCD.

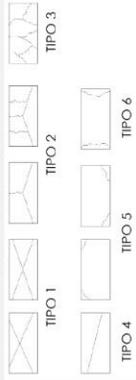
| FECHA DE CONFECCION | FECHA DE ROTURA | EDAD ENSAYO (días) | ALTURA (cm) | ANCHO (cm) | LONGITUD (cm) | AREA BRUTA (cm ²) | DIAMETRO AGUJEROS (cm) | AREA AGUJEROS (cm ²) | AREA CARGA (cm ²) | C. DE ROTURA (kg) | F. DE ROTURA (kg/cm ²) | f'c esp. | CODIGO PROBETA | HORA | TIPO | AGREGADO | ASTIM c34 (Mpa) | RESPONSABLE |
|---------------------|-----------------|--------------------|-------------|------------|---------------|-------------------------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------------|----------|----------------|-------|------|----------|-----------------|--------------------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.60 | 13.70 | 200.02 | 11.70 | 107.51 | 92.51 | 8.537 | 92.3 | 45% | 45R.01 | 09:10 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.30 | 13.80 | 197.34 | 11.60 | 105.68 | 91.66 | 8.634 | 94.2 | 45% | 45R.02 | 09:13 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 6.95 | 14.70 | 13.80 | 202.86 | 11.70 | 107.51 | 95.95 | 6.574 | 68.9 | 45% | 45R.03 | 09:16 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 6.95 | 14.70 | 13.70 | 201.39 | 11.70 | 107.51 | 93.88 | 7.875 | 83.9 | 45% | 45R.04 | 09:19 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.10 | 14.60 | 13.70 | 200.02 | 11.60 | 105.68 | 94.34 | 7.169 | 76.0 | 45% | 45R.05 | 09:22 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.10 | 14.30 | 13.70 | 195.91 | 11.70 | 107.51 | 88.40 | 6.814 | 77.1 | 45% | 45R.06 | 09:25 | 6 | RCD | 3.24 | Edison Castillo C. |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.50 | 13.60 | 197.20 | 11.70 | 107.51 | 89.69 | 7.779 | 86.7 | 45% | 45R.07 | 09:28 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.50 | 13.70 | 198.65 | 11.60 | 105.68 | 92.97 | 6.730 | 72.4 | 45% | 45R.08 | 09:31 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.50 | 13.70 | 198.65 | 11.70 | 107.51 | 91.14 | 6.363 | 69.8 | 45% | 45R.09 | 09:34 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.05 | 14.50 | 13.60 | 197.20 | 11.70 | 107.51 | 89.69 | 6.712 | 74.8 | 45% | 45R.10 | 09:37 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.05 | 14.50 | 13.70 | 198.65 | 11.70 | 107.51 | 91.14 | 7.145 | 78.4 | 45% | 45R.11 | 09:40 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.05 | 14.50 | 13.70 | 198.65 | 11.70 | 107.51 | 91.14 | 7.145 | 78.4 | 45% | 45R.12 | 09:43 | 6 | RCD | 3.24 | |

Universidad de Cuenca, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Agustín Cueva y Av. 12 de Abril, Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas, edison.castillo@ucuenca.edu.ec, 0985367390, 4051102 ext. 2150

ANEXO II: FICHA DE RESULTADOS DOSIFICACION RCD 45%

| | | | |
|---|--|--------------------|--------|
|  | | Número: | 0003 |
| | | Fecha de creación: | 201706 |
|  | | Fecha de revisión: | |
| | | Año lectivo: | 2017 |
| Instrumento tipo: | | Material: | ARENA |

TIPO DE ROTURA



Instrumento tipo: **Máquina para ensayos de compresión de cilindros de hormigón ACCU-TEK touch 350.**

Proyecto: BTC con agregados de RCD
Solicitado por: Arq. Pablo J. Mejía
Descripción: Bloques de tierra comprimida, estabilizados con cemento y con agregados de RCD

| FECHA DE CONFECCION | FECHA DE ROTURA | EDAD ENSAYO (dias) | ALTURA (cm) | ANCHO (cm) | LONGITUD (cm) | AREA BRUTA (cm ²) | DIAMETRO AGUJEROS (cm ²) | AREA AGUJEROS (cm) | AREA CARGA (cm ²) | C. DE ROTURA (kg) | F. DE ROTURA (kg/cm ²) | f'c esp. | CODIGO PROBETA | HORA | TIPO | AGREGADO | ASTM c34 (Mpa) | RESPONSABLE |
|---------------------|-----------------|--------------------|-------------|------------|---------------|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------------|----------|----------------|-------|------|----------|----------------|--------------------|
| 26-may-17 | 28-Jun-17 | 33 | 7.05 | 14.80 | 13.70 | 202.76 | 11.60 | 105.68 | 97.08 | 6.960 | 71.7 | 50% | 50A.01 | 09:55 | 6 | ARENA | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-Jun-17 | 33 | 7.05 | 14.70 | 13.70 | 201.39 | 11.60 | 105.68 | 95.71 | 6.215 | 64.9 | 50% | 50A.02 | 09:58 | 6 | ARENA | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-Jun-17 | 33 | 7.00 | 14.30 | 13.70 | 195.91 | 11.60 | 105.68 | 90.23 | 6.935 | 76.9 | 50% | 50A.03 | 10:01 | 6 | ARENA | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-Jun-17 | 33 | 7.00 | 14.20 | 13.80 | 195.96 | 11.60 | 105.68 | 90.28 | 6.073 | 67.3 | 50% | 50A.04 | 10:04 | 6 | ARENA | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-Jun-17 | 33 | 7.00 | 14.60 | 13.80 | 201.48 | 11.60 | 105.68 | 95.80 | 7.528 | 78.6 | 50% | 50A.05 | 10:07 | 6 | ARENA | 3.24 | Edison Castillo C. |
| 26-may-17 | 28-Jun-17 | 33 | 7.00 | 14.60 | 13.80 | 201.48 | 11.60 | 105.68 | 95.80 | 7.110 | 74.2 | 50% | 50A.06 | 10:10 | 6 | ARENA | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-Jun-17 | 33 | 7.10 | 14.60 | 13.70 | 200.02 | 11.70 | 107.51 | 92.51 | 5.519 | 59.7 | 50% | 50A.07 | 10:13 | 6 | ARENA | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-Jun-17 | 33 | 7.10 | 14.60 | 13.70 | 200.02 | 11.70 | 107.51 | 92.51 | 5.684 | 61.4 | 50% | 50A.08 | 10:16 | 6 | ARENA | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-Jun-17 | 33 | 7.00 | 14.70 | 13.70 | 201.39 | 11.70 | 107.51 | 93.88 | 6.801 | 72.4 | 50% | 50A.09 | 10:19 | 6 | ARENA | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-Jun-17 | 33 | 7.00 | 14.50 | 13.60 | 197.20 | 11.70 | 107.51 | 89.69 | 6.263 | 69.8 | 50% | 50A.10 | 10:22 | 6 | ARENA | 3.24 | |

Universidad de Cuenca, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Agustín Cueva y Av. 12 de Abril, Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas, edison.castillo@ucuenca.edu.ec, 0983367390, 4051102 ext.:2150

ANEXO III: FICHA DE RESULTADOS DOSIFICACION ARENA 50%

| | | | |
|--|--|--|----------------|
|  | | ENSAYOS DE COMPRESIÓN SOBRE BTC | |
| | | Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca | |
| Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas | | Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas | |
| Instrumento tipo: Máquina para ensayos de compresión de cilindros de hormigón ACCU-TEK touch 350, | | Instrumento tipo: Máquina para ensayos de compresión de cilindros de hormigón ACCU-TEK touch 350, | |
|  | | Número: 0004 | TIPO DE ROTURA |
|  | | Fecha de creación: 2017/06 | |
| | | Fecha de revisión: 2017 | |
| | | Año lectivo: 2017 | |
| | | Serie: RCD | |

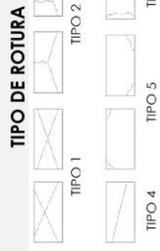
Proyecto: BTC con agregados de RCD
Solicitado por: Arq. Pablo J. Mejía
Descripción: Bloques de tierra comprimida, estabilizados con cemento y con agregados de RCD

| FECHA DE CONFECCION | FECHA DE ROTURA | EDAD ENSAYO (días) | ALTURA (cm) | ANCHO (cm) | LONGITUD (cm) | AREA BRUJA (cm ²) | DIAMETRO AGUJEROS (cm ²) | AREA AGUJEROS (cm) | AREA CARGA (cm ²) | C. DE ROTURA (kg) | F. DE ROTURA (kg/cm ²) | f c esp. | CODIGO PROBETA | HORA | TIPO | AGREGADO | ASTM c34 (Mpa) | RESPONSABLE |
|---------------------|-----------------|--------------------|-------------|------------|---------------|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------------|----------|----------------|-------|------|----------|----------------|--------------------|
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.50 | 13.70 | 198.65 | 11.60 | 105.68 | 92.97 | 8.025 | 86.3 | 50% | 50R.01 | 10:30 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.60 | 13.70 | 200.02 | 11.60 | 105.68 | 94.34 | 7.464 | 79.1 | 50% | 50R.02 | 10:33 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.70 | 13.70 | 201.39 | 11.60 | 105.68 | 95.71 | 7.321 | 76.5 | 50% | 50R.03 | 10:36 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.50 | 13.70 | 198.65 | 11.60 | 105.68 | 92.97 | 9.032 | 97.2 | 50% | 50R.04 | 10:39 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 6.95 | 14.60 | 13.80 | 201.48 | 11.60 | 105.68 | 95.80 | 8.310 | 86.7 | 50% | 50R.05 | 10:42 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 6.95 | 14.50 | 13.70 | 198.65 | 11.70 | 107.51 | 91.14 | 7.166 | 78.6 | 50% | 50R.06 | 10:45 | 6 | RCD | 3.24 | Edison Castillo C. |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.50 | 13.70 | 198.65 | 11.70 | 107.51 | 91.14 | 7.317 | 80.3 | 50% | 50R.07 | 10:48 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.70 | 13.70 | 201.39 | 11.70 | 107.51 | 93.88 | 7.124 | 75.9 | 50% | 50R.08 | 10:51 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.10 | 14.20 | 13.70 | 194.54 | 11.60 | 105.68 | 88.86 | 6.782 | 76.3 | 50% | 50R.09 | 10:54 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.10 | 14.80 | 13.70 | 202.76 | 11.70 | 107.51 | 95.25 | 7.552 | 79.3 | 50% | 50R.10 | 10:57 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.50 | 13.70 | 198.65 | 11.60 | 105.68 | 92.97 | 7.084 | 76.2 | 50% | 50R.11 | 11:00 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.90 | 13.70 | 204.13 | 11.60 | 105.68 | 98.45 | 8.015 | 81.4 | 50% | 50R.12 | 11:03 | 6 | RCD | 3.24 | |

Universidad de Cuenca, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Agustín Cueva y Av. 12 de Abril, Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas, edison.castillo@ucuenca.edu.ec, 0983367390, 4051102 ext: 2150

ANEXO IV: FICHA DE RESULTADOS DOSIFICACION RCD 50%

| | | | |
|--|--|--------------------|--------|
|  | | Número: | 0005 |
| | | Fecha de creación: | 201706 |
| ENSAYOS DE COMPESIÓN SOBRE BTC Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas | | Fecha de revisión: | |
| | | Año lectivo: | 2017 |
| Instrumento tipo: | | Serie: | ARENA |



Proyecto: BTC con agregados de RC
 Solicitado por: Arq. Pablo J. Mejía
 Descripción: Bloques de tierra comprimida, estabilizados con cemento y con agregados de RC

| FECHA DE CONFECCION | FECHA DE ROTURA | EDAD ENSAYO (días) | ALTURA (cm) | ANCHO (cm) | LONGITUD (cm) | AREA BRUTA (cm ²) | DIAMETRO AGUJEROS (cm ²) | AREA AGUJEROS (cm) | AREA CARGA (cm ²) | C. DE ROTURA (kg) | F. DE ROTURA (kg/cm ²) | f c esp. | CODIGO PROBETA | HORA | TIPO | AGREGADO | ASTM c34 (Mpa) | RESPONSABLE |
|---------------------|-----------------|--------------------|-------------|------------|---------------|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------------|----------|----------------|-------|------|----------|----------------|--------------------|
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.10 | 14.30 | 13.80 | 197.34 | 11.70 | 107.51 | 89.83 | 6,155 | 68.5 | 60% | 60A.01 | 11:30 | 6 | ARENA | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.10 | 14.30 | 13.80 | 197.34 | 11.60 | 105.68 | 91.66 | 7,266 | 79.3 | 60% | 60A.02 | 11:33 | 6 | ARENA | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.40 | 13.70 | 197.28 | 11.60 | 105.68 | 91.60 | 7,195 | 78.6 | 60% | 60A.03 | 11:36 | 6 | ARENA | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.50 | 13.80 | 200.10 | 11.60 | 105.68 | 94.42 | 8,131 | 86.1 | 60% | 60A.04 | 11:39 | 6 | ARENA | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.60 | 13.80 | 201.48 | 11.60 | 105.68 | 95.80 | 6,207 | 64.8 | 60% | 60A.05 | 11:42 | 6 | ARENA | 3.24 | Edison Castillo C. |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.50 | 13.80 | 200.10 | 11.60 | 105.68 | 94.42 | 6,084 | 64.4 | 60% | 60A.06 | 11:45 | 6 | ARENA | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.60 | 13.70 | 200.02 | 11.70 | 107.51 | 92.51 | 5,618 | 60.7 | 60% | 60A.07 | 11:48 | 6 | ARENA | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.60 | 13.60 | 198.56 | 11.70 | 107.51 | 91.05 | 6,334 | 69.6 | 60% | 60A.08 | 11:51 | 6 | ARENA | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.05 | 14.60 | 13.70 | 200.02 | 11.80 | 109.36 | 90.66 | 5,484 | 60.5 | 60% | 60A.09 | 11:54 | 6 | ARENA | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.05 | 14.50 | 13.60 | 197.20 | 11.70 | 107.51 | 89.69 | 6,339 | 70.7 | 60% | 60A.10 | 11:57 | 6 | ARENA | 3.24 | |

Universidad de Cuenca, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Agustín Cueva y Av. 12 de Abril, Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas, edison.castillo@ucuenca.edu.ec, 0983367390, 4051102 ext. 2150

ANEXO V: FICHA DE RESULTADOS DOSIFICACION ARENA 60%

| | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--------------------|---------|
|  | | <p style="text-align: center;">ENSAYOS DE COMEPESIÓN SOBRE BTC</p> <p style="text-align: center;">Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca</p> <p style="text-align: center;">Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas</p> | |  | | Número: | 0006 |
| | | | | | | Fecha de creación: | 2017/06 |
| | | Fecha de revisión: | | | | Año lectivo: | 2017 |
| | | Instrumento tipo: Máquina para ensayos de compresión de cilindros de hormigón ACCU-TEK touch 350. | | | | Serie: | RCD |
| | | | | <p style="text-align: center;">TIPO DE ROTURA</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>TIPO 1</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>TIPO 2</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>TIPO 3</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  <p>TIPO 4</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>TIPO 5</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>TIPO 6</p> </div> </div> | | | |

Proyecto: BTC con agregados de RCD
Solicitado por: Arq. Pablo J. Mejía
Descripción: Bloques de tierra comprimida, estabilizados con cemento y con agregados de RCD

| FECHA DE CONFECCION | FECHA DE ROTURA | EDAD ENSAYO (días) | ALTURA (cm) | ANCHO (cm) | LONGITUD (cm) | AREA BRUTA (cm ²) | DIAMETRO AGUJEROS (cm) | AREA AGUJEROS (cm ²) | AREA CARGA C. DE ROTURA (cm ²) | F. DE ROTURA (kg/cm ²) | f'c esp. | CODIGO PROBETA | HORA | TIPO | AGREGADO | ASTM c34 (Mpa) | RESPONSABLE |
|---------------------|-----------------|--------------------|-------------|------------|---------------|-------------------------------|------------------------|----------------------------------|--|------------------------------------|----------|----------------|-------|------|----------|----------------|--------------------|
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.40 | 13.70 | 197.28 | 11.60 | 105.68 | 91.60 | 5.447 | 60% | 60R-01 | 12:15 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.40 | 13.70 | 197.28 | 11.60 | 105.68 | 91.60 | 5.729 | 60% | 60R-02 | 12:18 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.10 | 14.60 | 13.70 | 200.02 | 11.60 | 105.68 | 94.34 | 4.895 | 60% | 60R-03 | 12:21 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.10 | 14.60 | 13.80 | 201.48 | 11.60 | 105.68 | 95.80 | 5.236 | 60% | 60R-04 | 12:24 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.70 | 13.80 | 202.86 | 11.50 | 103.87 | 98.99 | 5.230 | 60% | 60R-05 | 12:27 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.50 | 13.60 | 197.20 | 11.60 | 105.68 | 91.52 | 5.179 | 60% | 60R-06 | 12:30 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 6.95 | 14.70 | 13.70 | 201.39 | 11.70 | 107.51 | 93.88 | 5.168 | 60% | 60R-07 | 12:33 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 6.95 | 14.30 | 13.70 | 195.91 | 11.70 | 107.51 | 88.40 | 5.080 | 60% | 60R-08 | 12:36 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.60 | 13.70 | 200.02 | 11.50 | 103.87 | 96.15 | 5.569 | 60% | 60R-09 | 12:39 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.70 | 13.70 | 201.39 | 11.60 | 105.68 | 95.71 | 5.973 | 60% | 60R-10 | 12:42 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.60 | 13.70 | 200.02 | 11.60 | 105.68 | 94.34 | 6.098 | 60% | 60R-11 | 12:45 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.60 | 13.70 | 200.02 | 11.60 | 105.68 | 94.34 | 6.476 | 60% | 60R-12 | 12:48 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.40 | 13.70 | 197.28 | 11.60 | 105.68 | 91.60 | 5.337 | 60% | 60R-13 | 12:51 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.30 | 13.70 | 195.91 | 11.60 | 105.68 | 90.23 | 5.742 | 60% | 60R-14 | 12:54 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.05 | 14.60 | 13.70 | 200.02 | 11.60 | 105.68 | 94.34 | 5.567 | 60% | 60R-15 | 12:57 | 6 | RCD | 3.24 | Edison Castillo C. |

Universidad de Cuenca, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Agustín Cueva y Av. 12 de Abril, Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas, edison.castillo@ucuenca.edu.ec, 0983367390, 4051102 ext. 2150

ANEXO VI: FICHA DE RESULTADOS DOSIFICACION RCD 60%

| | | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|---|--------------------|-------------------|---|--|--|--|
|  | | <h3>ENSAYOS DE COMEPESIÓN SOBRE BTC</h3> <p>Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas</p> | |  | | Número: 0007 | TIPO DE ROTURA  TIPO 1  TIPO 2  TIPO 3  TIPO 4  TIPO 5  TIPO 6 | | | |
| | | | | Fecha de creación: 2017/06 | Fecha de revisión: | Año lectivo: 2017 | Serie: ARENA | | | |
| Instrumento tipo: Máquina para ensayos de compresión de cilindros de hormigón ACCU-TEK touch 350. | | | | | | | | | | |

Proyecto: BTC con agregados de RCD

Solicitado por: Arq. Pablo J. Mejía

Descripción: Bloques de tierra comprimida, estabilizados con cemento y con agregados de RCD

| FECHA DE CONFECCION | FECHA DE ROTURA | EDAD ENSAYO (días) | ALTURA (cm) | ANCHO (cm) | LONGITUD (cm) | AREA BRUTA (cm ²) | DIAMETRO AGUJEROS (cm ²) | AREA AGUJEROS (cm ²) | AREA CARGA (cm ²) | C. DE ROTURA (kg) | F. DE ROTURA (kg/cm ²) | f' c esp. | CODIGO PROBEA | HORA | TIPO | AGREGADO | ASTM c34 (Mpa) | RESPONSABLE |
|---------------------|-----------------|--------------------|-------------|------------|---------------|-------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------------|-----------|---------------|-------|------|----------|----------------|--------------------|
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.05 | 14.80 | 13.70 | 202.76 | 11.70 | 107.51 | 95.25 | 7,672 | 80.5 | 70% | 70A-01 | 15:30 | 6 | ARENA | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.05 | 14.20 | 13.80 | 195.96 | 11.60 | 105.68 | 90.28 | 7,405 | 82.0 | 70% | 70A-02 | 15:33 | 6 | ARENA | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.20 | 13.80 | 195.96 | 11.70 | 107.51 | 88.45 | 8,291 | 93.7 | 70% | 70A-03 | 15:36 | 6 | ARENA | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.70 | 13.80 | 202.86 | 11.70 | 107.51 | 95.35 | 7,628 | 80.0 | 70% | 70A-04 | 15:39 | 6 | ARENA | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 6.95 | 14.50 | 13.70 | 198.65 | 11.60 | 105.68 | 92.97 | 7,553 | 81.2 | 70% | 70A-05 | 15:42 | 6 | ARENA | 3.24 | Edison Castillo C. |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.60 | 13.80 | 201.48 | 11.60 | 105.68 | 95.80 | 6,047 | 63.1 | 70% | 70A-07 | 15:48 | 6 | ARENA | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.60 | 13.70 | 200.02 | 11.50 | 103.87 | 96.15 | 7,243 | 75.3 | 70% | 70A-08 | 15:51 | 6 | ARENA | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.50 | 13.70 | 198.65 | 11.50 | 103.87 | 94.78 | 6,942 | 73.2 | 70% | 70A-09 | 15:54 | 6 | ARENA | 3.24 | |

Universidad de Cuenca, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Agustín Cueva y Av. 12 de Abril, Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas, edison.castillo@ucuenca.edu.ec, 0983367390, 4051102 ext. 2150

ANEXO VII: FICHA DE RESULTADOS DOSIFICACION ARENA 70%

| | | | | | | | |
|---|--|--|--|----------------------------------|--|---------------------------------------|--|
|  | | <h2 style="text-align: center;">ENSAYOS DE COMEPESIÓN SOBRE BTC</h2> <p style="text-align: center;">Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas</p> | | <p>Número: 0008</p> | | <p>TIPO DE ROTURA</p> | |
| | | | | <p>Fecha de creación: 201706</p> | | <p>TIPO 1 TIPO 2 TIPO 3</p> | |
| | | <p>Fecha de revisión:</p> | | | | <p>TIPO 4 TIPO 5 TIPO 6</p> | |
| | | <p>Año lectivo: 2</p> | | <p>RCD</p> | | | |
| | | <p>Serie:</p> | | | | | |
| <p>Instrumento tipo: Máquina para ensayos de compresión de cilindros de hormigón ACCU-TEK touch 350,</p> | | | | | | | |

Proyecto: BTC con agregados de RCD
Solicitado por: Avq. Pablo J. Mejía
Descripción: Bloques de tierra comprimida, estabilizados con cemento y con agregados de RCD

| FECHA DE CONECCION | FECHA DE ROTURA | EDAD ENSAYO (dias) | ALTURA (cm) | ANCHO (cm) | LONGITUD (cm) | AREA BRUTA (cm ²) | DIAMETRO AGUJEROS (cm ²) | AREA AGUJEROS (cm) | AREA CARGA (cm ²) | C. DE ROTURA (kg) | F. DE ROTURA (kg/cm ²) | f' c esp. | CODIGO FROBEIA | HORA | TIPO | AGREGADO | ASTM c34 (Mpa) | RESPONSABLE |
|--------------------|-----------------|--------------------|-------------|------------|---------------|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------------|-----------|----------------|-------|------|----------|----------------|--------------------|
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.60 | 13.60 | 198.56 | 11.70 | 107.51 | 91.05 | 7.821 | 85.9 | 70% | 70R.01 | 16:10 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.70 | 13.70 | 201.39 | 11.60 | 105.68 | 95.71 | 7.140 | 74.6 | 70% | 70R.02 | 16:13 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.70 | 13.70 | 201.39 | 11.60 | 105.68 | 95.71 | 6.966 | 72.8 | 70% | 70R.03 | 16:16 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.70 | 13.80 | 202.86 | 11.60 | 105.68 | 97.18 | 7.749 | 79.7 | 70% | 70R.04 | 16:19 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.80 | 13.80 | 204.24 | 11.60 | 105.68 | 98.56 | 7.857 | 79.7 | 70% | 70R.05 | 16:22 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.60 | 13.70 | 200.02 | 11.50 | 103.87 | 96.15 | 7.243 | 75.3 | 70% | 70R.06 | 16:25 | 6 | RCD | 3.24 | Edison Castillo C. |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.50 | 13.70 | 198.65 | 11.50 | 103.87 | 94.78 | 8.019 | 84.6 | 70% | 70R.07 | 16:28 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.60 | 13.80 | 201.48 | 11.70 | 107.51 | 93.97 | 7.338 | 78.1 | 70% | 70R.08 | 16:31 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.70 | 13.70 | 201.39 | 11.70 | 107.51 | 93.88 | 7.330 | 78.1 | 70% | 70R.09 | 16:34 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.60 | 13.70 | 200.02 | 11.70 | 107.51 | 92.51 | 7.864 | 85.0 | 70% | 70R.10 | 16:37 | 6 | RCD | 3.24 | |
| 26-may-17 | 28-jun-17 | 33 | 7.00 | 14.40 | 13.70 | 197.28 | 11.70 | 107.51 | 89.77 | 8.071 | 89.9 | 70% | 70R.11 | 16:40 | 6 | RCD | 3.24 | |

Universidad de Cuenca, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Agustín Cueva y Av. 12 de Abril, Laboratorio de Aplicaciones Constructivas y Bioclimáticas, edison.castillo@ucuenca.edu.ec, 0983367390, 4051102 ext. 2150

ANEXO VIII: FICHA DE RESULTADOS DOSIFICACION RCD 70%



| Nro. | Código | Nombre Representante Legal | Nombre de Concesión o Permisos de Minería Artesanal | Nro. de Cuerpos | Nro. de Hojas | Estado | Observación |
|------|--------|----------------------------------|---|-----------------|---------------|----------|-------------------|
| 1 | 690441 | MEDINA MARIA ROMELIA | CHACAPUTO | 1 | 001-059 HOJAS | INSCRITA | PERMISO ARTESANAL |
| 2 | 690465 | ARMIJOS ORDOÑEZ CARLOS MARCELO | ARMIZADA | 1 | 001-031 HOJAS | INSCRITA | PERMISO ARTESANAL |
| 3 | 690767 | CONTENTO MEDINA MARIA INES | CAÑICAPA III | 1 | 001-038 HOJAS | INSCRITA | PERMISO ARTESANAL |
| 4 | 690768 | JAPON CONTENTO RICARDO AUGUSTO | CAÑICAPA II | 1 | 001-036 HOJAS | INSCRITA | PERMISO ARTESANAL |
| 5 | 690883 | ARMIJOS QUEZADA NORMAN DAVID | ARMIZADA III | 1 | 001-032 HOJAS | INSCRITA | PERMISO ARTESANAL |
| 6 | 690891 | GONZALEZ GUAMAN ANGEL LEONARDO | PALESTINA | 1 | 001-025 HOJAS | INSCRITA | PERMISO ARTESANAL |
| 7 | 690912 | SILVA PACHAR KAREN ANDREA | ARMIZADA II | 1 | 001-024 HOJAS | INSCRITA | PERMISO ARTESANAL |
| 8 | 690959 | ZHUNAULA SOSORANGA ANGEL RODRIGO | NTRA.SRA. DE LAS ANGUSTIAS | 1 | 001-025 HOJAS | INSCRITA | PERMISO ARTESANAL |
| 9 | 690981 | OCHOA JAPÓN SANTIAGO | SANTIAGO | 1 | 001-015 HOJAS | INSCRITA | PERMISO ARTESANAL |
| 10 | 690643 | PUCHAICELA GUALAN RAMON MARCELO | RAMON | 1 | 001-051 HOJAS | INSCRITA | PERMISO ARTESANAL |
| 11 | 690893 | ESPINOSA PACHAR XAVIER HERNANDO | ESPINOSA GOLDEN 3 | 1 | 001-028 HOJAS | INSCRITA | PERMISO ARTESANAL |
| 12 | 601006 | CURILLO PATINO JAMILETH EULALIA | JENIFFER 1 | 3 | 001-268 HOJAS | VIGENTE | CONCESIÓN |
| 13 | 600735 | CALLE PICON SADA SARVILLA | SEÑOR DE LA BUENA | 3 | 001-297 HOJAS | VIGENTE | CONCESIÓN |

ANEXO IX: CATASTRO DE CANTERAS EN SARAGURO. FUENTE: GAD Saraguro



| | | | | | | | |
|----|--------|--|-------------------|---|------------------|-----------|--|
| | | MOROCHO CALLE ELSA CARMELA, MOROCHO CALLE SONIA BEATRIZ, Y MOROCHO CALLE LAURA DE JESUS | ESPERANZA | | | | |
| 14 | 600934 | TAPIA SAVEDRA RAUL BOLIVAR | JAVIER ✓ | 6 | 001-582 HOJAS | VIGENTE | CONCESIÓN <i>Región Huancabamba</i> |
| 15 | 600575 | ORDONES ESPINOSA FLORA LUZ | RAMOS HUAYCO | 6 | 001-803 HOJAS | VIGENTE | CONCESIÓN <i>Región Huancabamba</i> |
| 16 | 601095 | CABRERA GONZALEZ HILDA MACRINA | NUEVO PORVENIR | 1 | 001-153 | ARCHIVADA | CONCESIÓN |
| 17 | 601107 | VACACELA LOZANO ANGEL POLIVIO | LOMA DE RAMOS | 3 | 001-306 | ARCHIVADA | CONCESIÓN |
| 18 | 601175 | SALINAS GRANDA VICTOR IRRRAEL | GERMAN JUNIOR | 3 | 001-306 | ARCHIVADA | CONCESIÓN |
| 19 | 601155 | ARMIJOS SALINAS JORGE ENRIQUE | JA | 1 | 001-153 | ARCHIVADA | CONCESIÓN |

Quinta.- Las partes aceptan estar totalmente de Acuerdo con la presente Acta de Entrega/Recepción; y, para constancia de lo actuado firman en Unidad de Acto la presente, en tres ejemplares del mismo valor.

Loja 04 de Febrero de 2015.

ENTREGA POR LA AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL MINERO REGIONAL/LOJA

Ing. Gabriela Moreno

Cargo: Técnico en Documentación

Gabriela Moreno
.....

RECIBE POR EL GAD-MUNICIPAL DE SARAGURO

Sr. Miguel Celestino Quizhpe

Miguel Celestino Quizhpe
.....



ANEXO X: CATASTRO DE CANTERAS EN SARAGURO. FUENTE: GAD Saraguro