

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LA MAMPOSTERÍA
CON MATERIAL RECICLABLE VERSUS LA MAMPOSTERÍA CON LADRILLO**

JAVIER ORLANDO VILLAMIL TORRES

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
2012**

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LA MAMPOSTERÍA
CON MATERIAL RECICLABLE VERSUS LA MAMPOSTERÍA CON LADRILLOS**

JAVIER ORLANDO VILLAMIL TORRES

**Trabajo De Grado Como Requisito Para
Optar Al Título De Ingeniero Civil**

**Director:
LUZ MARINA TORRADO GÓMEZ
Ingeniera Civil**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
2012**

Nota de aceptación

Presidente Del Jurado

Jurado

Jurado

Bucaramanga, Enero de 2012

Dedicado a mi grandiosa FAMILIA, quienes han estado siempre ahí, apoyándome y recordándome que la perseverancia y el esfuerzo son el principal ingrediente para llegar a las metas; A MI NOVIA Y MIS AMIGOS que dedicaron instantes de su tiempo libre y se hicieron parte en este proyecto, gracias por su continuo y afectuoso aliento.

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis, es la fehaciente prueba de que he concluido a satisfacción con una excelente etapa de mi vida, que de seguro abrirá muchas puertas en el camino que continua, es sentir, que tanto tiempo de esfuerzo, se comienza a ver recompensado; es por eso, que quiero aprovechar la oportunidad de agradecer a todas y cada una de las personas que fueron un apoyo fundamental para llegar hasta aquí, ante todo, debo darle gracias a Dios, por haberme brindado la oportunidad de llegar a ser quien soy, y por rodearme de personas valiosas, que aportan día a día, granos de arena, que me hacen crecer como persona y como profesional,

Un agradecimiento especial a la UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA, y a todos sus integrantes, por haberme brindado la oportunidad de nacer como un excelente profesional, en especial, a la Directora de trabajo de grado, INGENIERA LUZ MARINA TORRADO GOMEZ, por permitirme acudir a su gran experiencia y capacidad como profesional, en un marco de confianza, afecto y amistad, así como sus valiosas sugerencias y acertados aportes, que se tornaron elementales para la concreción de este trabajo y en igual sentido, A LOS LABORATORISTAS VICENTE PÁEZ Y HELÍ RUEDA, por su valiosa colaboración para la elaboración de este proyecto; indiscutiblemente

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	12
1. OBJETIVOS	13
1.1. OBJETIVO GENERAL	13
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	14
3. JUSTIFICACIÓN	15
4. TÉCNICAS DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS CON TIERRA	16
4.1. TIERRA.....	16
4.1.1. <i>Propiedades Fundamentales De La Tierra</i>	17
4.1.2. <i>Ventajas De La Construcción Con Tierra</i>	17
4.1.3. <i>Desventajas de la construcción con tierra</i>	18
4.1.4. <i>Adobe</i>	18
4.1.4.1 Proceso De Fabricación Del Adobe	19
4.1.5. <i>Bahareque</i>	19
4.1.5.1 El Proceso Constructivo Del Bahareque	21
4.1.6. <i>Bloque De La Tierra Comprimida (BTC)</i>	21
4.1.6.1 Proceso de Fabricación del Bloque De Tierra Comprimida.....	21
4.1.7. <i>Tapia Pisada (Terre Pisé)</i>	22
4.2. LA TIERRA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN EN COLOMBIA.....	23
4.3. SISTEMAS CONSTRUIDOS EN TIERRA Y BOTELLAS	24
4.3.1. ¿QUÉ ES EL PET?	24
4.3.2. CONSTRUCCIONES EN EL MUNDO	25
4.3.3. CONSTRUCCIONES EN COLOMBIA	26
5. ESTUDIO ECONÓMICO	28
5.1. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS.....	30
6. METODOLOGÍA UTILIZADA Y ENSAYOS DE LABORATORIO	33
6.1. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS	34
6.1.1. <i>Sistema Unificado De Clasificación De Suelos (SUCS)</i>	35
6.1.1.1 Gravas o Arenas. GW, GP, SW, SP	35
6.1.1.2 Gravas y Arenas. GM, GC, SM, SC	35
6.1.1.3 Gravas y Arenas. GW-GC, GP-GC, GW-GM, GP-GM, SW-SC, SP-SC, SW-SM, SP-SM..	35
6.1.1.4 Suelos Finos MH, CH, OH, ML, CL, OI.....	36
6.2. GRANULOMETRÍA POR MALLAS	37
6.3. LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO.	41

6.4.	ENSAYO DE RESISTENCIA DE CUBOS CON MATERIAL AGLOMERANTE DE LOS MURETES CON BOTELLAS PET.	43
6.5.	ELABORACIÓN DE LOS MURETES.....	48
6.5.1.	REFRENTADO DE LOS MURETES TRADICIONALES.....	54
6.6.	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS MURETES.	55
7.	ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	58
8.	CONCLUSIONES.....	62
9.	RECOMENDACIONES.....	63
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	64

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación PET	28
Tabla 2. APU Incluyendo Transporte y mano de obra –Ingeniero, ayudante-	29
Tabla 3. APU Sin Incluir Transporte Y Mano De Obra –Ingeniero, ayudante-	30
Tabla 4. APU Para Un Metro Cuadrado De Muro Con Botellas - Transporte Y Mano de Obra-.....	31
Tabla 5. APU Para Un Metro Cuadrado De Muro Tradicional – Transporte Y Mano de Obra-.....	31
Tabla 6. APU Para Un Metro Cuadrado De Muro Con Botellas –Sin Transporte Y Mano de Obra -.....	32
Tabla 7. APU Para Un Metro Cuadrado De Muro Tradicional – Sin Transporte Y Mano de Obra-.....	32
Tabla 8. Clasificación PET	33
Tabla 9. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).....	37
Tabla 10. Pesos De Las Muestras De Suelo Antes Del Lavado.	37
Tabla 11. Pesos De Las Muestras De Suelo Después Del Lavado.	38
Tabla 12. Resultado De Granulometría Por Mallas De La Muestra N 1.....	38
Tabla 13. Resultado De Granulometría Por Mallas De La Muestra N 2.....	39
Tabla 14. Resultado De Granulometría Por Mallas De La Muestra N 3.....	40
Tabla 15. Límite Líquido De La Muestra N 1.	41
Tabla 16. Límite Plástico De La Muestra N 1.....	42
Tabla 17. Resultado De Límites e Índice De Plasticidad De La Muestra N 1.	42
Tabla 18. Límite Líquido De La Muestra N 2.	42
Tabla 19. Límite Plástico De La Muestra N 2.....	43
Tabla 20. Resultado De Límites e Índice de Plasticidad De La Muestra N 2.	43
Tabla 21. Cantidades De Materiales De Los Cubos N 1.....	44
Tabla 22. Tipos De Mezclas.	45
Tabla 23. Cubos En Tierra.	47
Tabla 24. Cubos En Tierra, Cal y Cemento.	47
Tabla 25. Cubos En Tierra, Cal, Cemento y Agua.	47
Tabla 26. Esfuerzo De Compresión En Muretes Con Ladrillo.....	58
Tabla 27. Esfuerzo De Compresión En Muretes Con Botellas.	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Historia De La Construcción Con Tierra	16
Figura 2. Etapas De Moldeado De Los Adobes	19
Figura 3. Casa Hecha En Bahareque	20
Figura 4. Etapas De Fabricación De Los BTC.	22
Figura 5. Elaboración De La Tapia Pisada.	23
Figura 6. Casa Con Botellas En Bolivia.	26
Figura 7. Parque De La Vida y Ecoparque Rio Del Cauca.	26
Figura 8. Depósito y Tanque De Almacenamiento De 9000 Litros.	27
Figura 9. Definición de clasificación de suelos	34
Figura 10. Definición de clasificación de suelos	36
Figura 11. Línea Granulometría De La Muestra N 1	39
Figura 12. Línea Granulometría De La Muestra N 2	40
Figura 13. Línea Granulometría De La Muestra N 3	41
Figura 14. Curva De Fluidez De La Muestra N 1	42
Figura 15. Curva De Fluidez De La Muestra N 2	43
Figura 16. Orden De Compactación De Capas Para Moldes De Compresión.....	44
Figura 17. Elaboración de Cubos De Tierra.....	46
Figura 18. Resistencia De Cubos En Tierra.....	48
Figura 19. Materiales Para La Construcción de Muros tradicionales	49
Figura 20. Construcción de Muretes Tradicionales.....	49
Continuación Figura 21. Construcción de Muretes Tradicionales.....	50
Continuación Figura 22. Construcción de Muretes Tradicionales.....	51
Figura 23. Llenado De Botellas PET.....	51
Continuación Figura 24. Llenado De Botellas PET.....	52
Figura 25. Construcción De Muretes De Tierra Con Botellas PET.	53
Continuación Figura 26. Construcción De Muretes De Tierra Con Botellas PET...	54
Figura 27. Refrentado De Muretes Con Ladrillo Tradicional.	55
Figura 28. Ensayo De Resistencia a La Compresión de Muros Con Ladrillo.....	56
Figura 29. Ensayo De Resistencia a La Compresión de Muros con Botellas PET.	57
Figura 30. Esfuerzo Vs Deformación De Muros Con Botellas.	60
Figura 31. Resistencia de los dos sistemas construidos.....	61

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LA MAMPOSTERÍA CON MATERIAL RECICLABLE VERSUS LA MAMPOSTERÍA CON LADRILLOS.

AUTOR(S): JAVIER ORLANDO VILLAMIL TORRES

FACULTAD: INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR(A): LUZ MARINA TORRADO GÓMEZ

RESUMEN

El constante crecimiento de la destrucción del medio ambiente por la acumulación de residuos altamente contaminantes, ha sido determinante para la aplicación de los conocimientos de la nueva generación en pro de salvaguardar los recursos que permitan un sano desarrollo y crecimiento de la sociedad que hoy se ve afectada por la indebida utilización de elementos plásticos que podrían ser reutilizados, evitando la propagación de desechos en ríos y océano, la incineración de las mismas e incluso, el depósito en los recolectores de desechos donde acaparan un gran espacio. Si bien el pilar y norte del proyecto es la evaluación del comportamiento mecánico de los muros con tierra y botellas PET realizando un análisis comparativo con aquellos construidos en materiales tradicionales, -ladrillo y mortero- a través de treinta muros de cada uno de los sistemas constructivos sometidos a carga axial para obtener su resistencia a la compresión, fue potencialmente esencial, analizar la viabilidad económica y procedimiento técnico para su elaboración, pues cierto es que se entrega a la sociedad una herramienta práctica, económica y ecológicamente sostenible que beneficiará principalmente a personas de escasos recursos sin distinción de género o edad. Una vez concluida la fase de análisis en laboratorios y cálculos aritméticos, el proyecto determina la viabilidad de utilización de botellas plásticas contenidas con tierra en obras civiles pequeñas, comprobando que la interdisciplinariedad de los Ingenieros Civiles de hoy, está en la ejecución de proyectos que coadyuden con la necesidad de mantener el medio ambiente libre de agentes contaminantes.

Palabras claves: PET, Resistencia Compresión, Residuos Solidos, Auto-construcción, Mampostería.

GENERAL SUMMARY OF GRADE WORK

TITLE: EVALUATION OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF THE MASONRY WITH MATERIAL RECYCLABLE VERSUS THE MASONRY WITH BRICKS.

AUTHOR(S): JAVIER ORLANDO VILLAMIL TORRES

FACULTY: CIVIL ENGINEERING

DIRECTOR: LUZ MARINA TORRADO GÓMEZ

ABSTRACT

Constant growth of environmental destruction by the accumulation of polluting waste has been crucial for the application of new generation knowledge's in favor of safeguarding of resources to the healthy development and growth of society today which is being affected by the improper use of plastic elements that could be reused, avoiding the spread of waste in rivers and the ocean, the burning of the same and even the waste collectors where is cover a large space. Although the north and pillar of the project is to evaluate the mechanical behavior of walls built with earth and bottles (PET) making a comparative analysis with those built in traditional materials, bricks and mortar through thirty walls of each building systems, subjecting them to axial load with the purpose of measure their compressive strength, was potentially essential to analyze the economic feasibility and technical procedure for processing. It is true that is giving to society a practical tool, economically and ecologically sustainable, that principally benefits poor regardless of gender or age. Once the laboratory analysis and arithmetic phase finalizes, the project determines the viability of using plastic bottles with soil contained in small civil works, checking that today the interdisciplinary of civil engineering is executing projects which help with the need to maintain environment free of contaminants.

Key words: PET, Compressive Strength, Solid Residues, Self, Masonry

INTRODUCCIÓN

Como se sabe, la contaminación ambiental, es uno de los problemas más graves que se presentan hoy en día en el mundo entero, el cual nadie sabe a ciencia cierta como puede contribuir para erradicarse, o por lo menos ayudar a disminuir el porcentaje de la referida contaminación.

Uno de las cosas, que quizás genera mas contaminación, es el uso de plásticos sintéticos, mas específicamente, de los “Envases de bebidas no Retornables”, cuya degradación es increíblemente lenta.

Estudios, han logrado comprobar, que la descomposición de productos orgánicos tarda de 3 a 4 semanas; la de telas de algodón 5 meses, mientras que la descomposición de plásticos puede tardar cerca de 500 años.

Este trabajo de tesis surge de la necesidad de comprobar, que tan viable sería, que las personas del común, contribuyeran con la citada problemática ambiental, de manera directa, elaborando sus viviendas, a base de envases PET, es decir con envases plásticos, sin que al remplazar el material de construcción tradicional por excelencia, es decir, el ladrillo, por botellas tipo PET, se vea afectada la estructura, estabilidad y/o durabilidad de la obra, permitiendo así que en razón a la calidad, las personas puedan optar por este tipo de proyectos para la elaboración de sus viviendas y/o cualquier otro tipo de estructuras, contribuyendo de esta manera con el medio ambiente, sin disminuir las características de la construcción tradicional; permitiendo de esta manera, que con una similar calidad y precio de la obra, más personas puedan acceder a una vivienda digna, siendo cordiales con el medio ambiente.

De acuerdo a esto, a continuación, se observarán los resultados de la evaluación del comportamiento mecánico de la mampostería con material reciclable y la mampostería con ladrillos, a fin de poder determinar con certeza, la resistencia a compresión de muros con estos dos tipos de mampostería, y finalmente se efectuará un detallado análisis de precios unitarios.

1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo General

Evaluar el comportamiento mecánico de la mampostería con material reciclable versus mampostería con ladrillos.

1.2. Objetivos Específicos

Determinar la resistencia a compresión de los muros con material reciclable y los muros de ladrillo.

Analizar el comportamiento mecánico de los muros estudiados.

Evaluar técnicamente la mampostería con material reciclable y la mampostería con ladrillo.

Realizar una caracterización de los materiales a utilizar para la elaboración de los muros con material reciclable.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La cantidad de residuos sólidos contaminantes tales como las botellas plásticas, papel, bolsas, etc. generadas por la falta de cultura ciudadana, producen no solo contaminación al medio ambiente sino que adicionalmente implican un mayor volumen de residuos sólidos en los rellenos sanitarios, creando gran volumen de basuras por disponer y un trabajo adicional para personas ajenas a procesos como el reciclaje convirtiéndolo en un trabajo arduo de ejecutar.

El presente proyecto se plantea no solo con el fin de brindar un aporte a la solución del problema de contaminación, sino que adicionalmente servirá para el mejoramiento de la calidad de vida de poblaciones vulneradas, promoviendo la participación en la ejecución de obras necesarias para su buen vivir y eventualmente suministrando a la comunidad, viviendas más accesibles en cuanto a sus capacidades económicas.

3. JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto tiene como finalidad brindar una solución de tipo ambiental, utilizando botellas plásticas que generan contaminación en la construcción de mampostería, promover la utilización de nuevas técnicas constructivas e introducción de nuevos materiales en el campo de la construcción, así como también brindar a las poblaciones más vulneradas una solución de vivienda más digna y económica.

Aunado a lo anterior, se desprende de este estudio la posibilidad de entregar a la sociedad una idea novedosa que genere empleo para una diversidad de personas sin requerimientos previos como experiencia, conocimientos amplios en temas de construcción, e incluso discriminación de género.

4. TÉCNICAS DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS CON TIERRA

4.1. Tierra

Desde el inicio de los tiempos, el hombre comenzó a realizar construcciones con tierra, y con ella creaban enormes paredes para cubrir sus cavernas; la tierra cruda, fue, y sigue siendo, uno de los principales materiales de construcción. Es así que, hoy en día, más de un tercio de la población humana vive en hábitat de tierra.



Figura 1. Historia De La Construcción Con Tierra
Fuente: <http://www.losguayabos.org>. [Consultado 21 Nov. 2011]

La tierra como material de construcción ha sido usada en todos los lugares y en todos los tiempos ya que se han sentido muy familiarizados con las características de esta, tanto que los hombres se dieron cuenta que al combinarla con materia orgánica como lo es la fibra vegetal o intercalando algunas ramas como refuerzo mejoraba la resistencia de este material.¹

A continuación se hace mención de algunas definiciones de la tierra².

“Conjunto de partículas minerales y orgánicas que forman el suelo natural.”

“La tierra es la fracción sólida del globo terrestre de espesor variable que soporta los seres vivos, sus obras y donde crecen sus alimentos.”

¹ PONS, Gabriel. La tierra como material de construcción: Introducción. San Salvador: *sn*, 2001.2 p.

² DAVILA, Sandra y PUENTES Jorge. Determinación y análisis de la caracterización de los diferentes tipos de tierra utilizados en el proceso constructivo con tapia pisada por medio de ensayos geomecánicos y mineralógicos. Bucaramanga, 2003, 36 p Tesis (Ingeniería Civil). Universidad Pontificia Bolivariana. Escuela de Ingenierías y Administración. Facultad de Ingeniería Civil.

“Es el resultado de la transformación de la roca madre sobre la influencia de diversos procesos físicos, químicos y biológicos, ligados a las condiciones bioclimáticas y a la vida animal y vegetal.”

4.1.1. Propiedades Fundamentales De La Tierra

- Granularidad: Tenencia en fracciones de granos, medidos en porcentaje³.
- Plasticidad: propiedad de la tierra para poderse deformar, sin reacción elástica.
- Compresibilidad: aptitud para dejarse comprimir al máximo, por una energía de compactación una tasa de humedad alta.
- Cohesión: es la capacidad que poseen sus partículas para permanecer unidas, cuando se ejerce sobre el material una acción de tracción.

4.1.2. Ventajas De La Construcción Con Tierra

- Insonorización y confort térmico: El uso de la tierra en construcción representa⁴ un buen aislante acústico y aún cuando no puede ser clasificado como un buen aislante térmico en regiones donde hay diferencias marcadas día-noche en la temperatura ambiental exterior, la pared de barro actúa como un regulador ambiental en materia de climatización interna.
- Independencia y disponibilidad: Un factor importante a favor de la tierra es su independencia y abundancia, la disponibilidad y el uso de su materia prima con fines de participación comunitaria y de su uso por mano de obra no especializada son fortalezas importantes.
- Trabajabilidad: Es un material que se deja manipular con cierta facilidad, es ideal para la autogestión y procesos autoconstructivos.
- Costo de fabricación: Las tecnologías tradicionales de la tierra no presentan exigencias energéticas que no sean el uso del sol como fuente de secado. Esto representa un ahorro significativo con relación a otras tecnologías.

³ DAVILA, Op cit.

⁴ lbit.

- Sentido ambientalista: Desde el punto de vista de la creciente conciencia ambientalista que caracteriza a la arquitectura actual la tierra se agrupa con las tecnologías ambientales correctas en razón de su auto reciclaje.

4.1.3. Desventajas de la construcción con tierra.

- Las construcciones que incorporan el uso de la tierra son especialmente⁵ vulnerables al deterioro y ameritan de atención y mantenimiento. Esto por supuesto depende en mucho grado de estabilización y compactación del material utilizando así como de sus condiciones originales. En muros de tierra comprimida y estabilizada estas debilidades son mínimas mientras que se elevan al máximo en construcciones que utilice el Bahareque y el adobe tradicional.
- La baja popularidad que disfruta la tierra en el campo de mecanización industrial de sistemas constructivos en razón de su excesiva dependencia en labor manual, lo cual tiende a encarecer los servicios de su producción profesional.
- La composición de los suelos nunca es uniforme, debido a las diversas fracciones mineralógicas presentes y sobre todo a ciertas arcillas, el material tierra presenta cierta inestabilidad ante los cambios de estado de humectación. Esto ocasiona fisuración y deformaciones una vez ejecutada la obra, con la consecuente pérdida de resistencia y durabilidad.
- Es un material muy susceptible a la humedad. La meteorización por el ataque de la lluvia ha comprometido en muchos casos la construcción con tierra.

Las técnicas de construcción con tierra más utilizadas y estudiadas científicamente y técnicamente a nivel mundial son el adobe, bloque de tierra comprimida, bahareque y la tapia pisada.

4.1.4. Adobe

El adobe es una técnica para la construcción de muros en base de barro crudo combinada con paja, moldeada de forma prismática, secada al aire, muy empleada en la construcción de muros de fábricas, paredes y tabiques. Para el

⁵ DAVILA, Op cit.

mejoramiento de su consistencia se utiliza ocasionalmente cal, grava y estiércol. Los tamaños más comunes de los adobes son de 10 x 20 x 33 o 10 x 20 x 35 centímetros⁶.

4.1.4.1 Proceso De Fabricación Del Adobe

El proceso de fabricación consiste en amasar y distribuir en unos moldes rectangulares (gradilla, adobera). Adobe de horno (moldeado en gradillas especiales que le dan forma apropiada para realizar construcciones copuladas, en especial la de los hornos). Material muy conocido desde la época prehispánica. Las dimensiones de los adobes son determinadas por el diseño. En caso se deseen obtener adobes con medidas finales de 38 x 38 x 8 centímetros, las medidas interiores de los moldes deberán ser de 40x40 por el proceso de contracción que sufrirá la mezcla. Tiene buena capacidad de aislamiento térmico⁷.

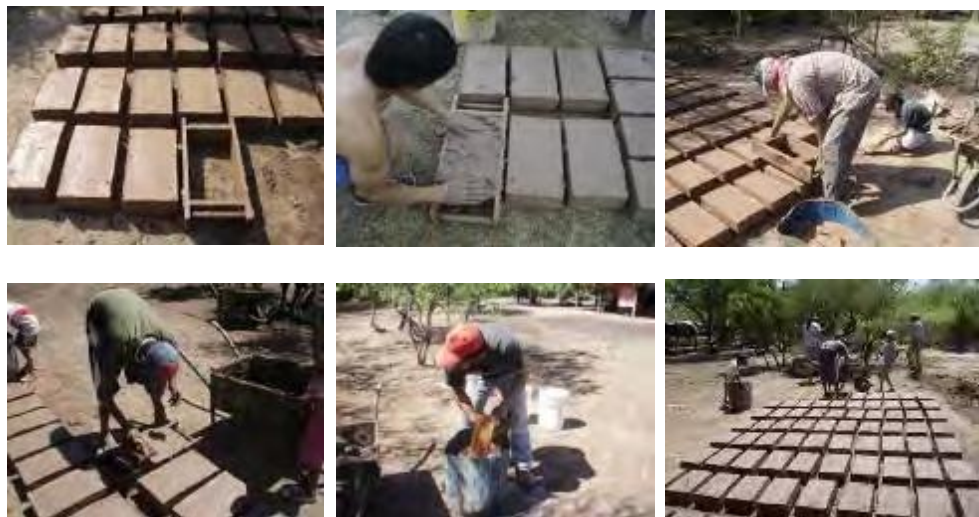


Figura 2. Etapas De Moldeado De Los Adobes
Fuente: NEVES, Célia y BORGES FARIA, Obedes. Técnicas De Construcción Con Tierra.

4.1.5. Bahareque

Un recurso utilizado en los inicios de la Arquitectura en tierra fue la mezcla de materiales para crear ambientes frescos, habitables y económicos. Así se produjo

⁶ RED IBEROAMERICANA PROTERRA. Terminología de arquitectura de tierra. [base de datos en línea]. [consultado 15 Nov. 2011]. Disponible en <<http://redproterra.org/>>.

⁷ PONS "Op cit"

el bahareque denominado en algunos países de Latinoamérica “Quincha”, que significa la combinación de madera, la cañabrava, barro y piedra⁸.

La técnica consiste en elementos verticales y horizontales formando una malla doble que crea un espacio interior, posteriormente relleno con barro. Existen también sistemas con una sola malla, donde los elementos verticales usualmente están compuestos por troncos de árboles, los horizontales de caña y bambúes. Este sistema tiene la ventaja de ser dúctil (flexible) lo que lo hace resistente a los impactos de los sismos. Figura 3.

Las desventajas de este sistema es que en la construcción frecuentemente aparecen grietas y fisuras, debidas a que el espesor del pañete sobre los elementos de madera no tiene un espesor suficiente. Por estas grietas y fisuras penetra el agua lluvia provocando expansión y desprendimiento del revoque del barro.

Así mismo, existe el riesgo que cierto tipo de animales puedan vivir en estos huecos, contagiando a sus habitantes de enfermedades, por ello, esta técnica se recomienda solo si la construcción es perfecta, sin fisuras ni grietas. El sistema como cualquier otro sistema de construcción tradicional requiere de un mantenimiento y control continuo.



Figura 3. Casa Hecha En Bahareque

El bahareque es utilizado como muro divisorio, nunca como portante o carguero, de manera que no es estrictamente necesario prepararle cimentación; hay que

⁸ DAVILA, Op cit

prever reforzar su nervadura estructural en la esquinas y al medio de la longitud del muro con maderas usadas de espesores y resistencias mayores.

4.1.5.1 El Proceso Constructivo Del Bahareque

1. Selección de la tierra
2. Aparalamiento: Hincar maderas verticales principales a eje y a plomo.
3. Colocar maderas horizontales y verticales.
4. Inmunizar madera por segunda vez.
5. Apuntillar sucesivamente cañabrava por ambas caras.
6. Relleno de vacío del muro: Piedra y barro.
7. Cuando es barro, se compacta con pisón hasta donde la altura lo permita.
8. Se empañeta.

Se resaltan características generales como el rendimiento de la cañabrava: 12 unidades por metro cuadrado, desperdicio general de materiales es aproximadamente 8%, se necesita para la mano de obra un oficial y un ayudante.

4.1.6. Bloque De La Tierra Comprimida (BTC).

En esta técnica se maneja la tierra húmeda, la cual es compactada con una prensa para producir los bloques, que después del secado, podrán ser utilizados de la misma forma que los Adobes, ladrillos de arcilla o los bloques de cemento. Los bloques prensados tienen una buena resistencia a la compresión, tienen la posibilidad de un inmediato almacenamiento⁹.

4.1.6.1 Proceso de Fabricación del Bloque De Tierra Comprimida.

El proceso de fabricación es muy sencillo, se comienza por seleccionar la tierra, humedecida al 20% aproximadamente, se vacía la mezcla en el equipo hasta llenar el molde, luego se procede al prensado, por último se desencofra y se almacena el bloque para un curado de 24 horas en una superficie lisa y plana.

⁹ DAVILA, Op cit.



Figura 4. Etapas De Fabricación De Los BTC.
Fuente: NEVES, Célia y BORGES FARIA, Obedes. Técnicas De Construcción Con Tierra.

4.1.7. Tapia Pisada (Terre Pisé)

La tapia pisada es uno de los tantos sistemas tradicionales de construcción con tierra cruda que el hombre inventó desde tiempos ancestrales. Aún hoy en día si uno se interna en alguno de los poblados más distantes o de difícil acceso, se hallan eslabones intactos de esta cadena que va de generación en generación preservando los secretos de la tapia pisada.

Se dice tierra cruda porque esta no sufre los procesos de cocción por los que pasan otros materiales como, por ejemplo la arcilla cuando se hacen los ladrillos. A diferencia del bahareque, la tapia pisada no utiliza estructura de horcones y palos de madera, sino que es la misma tierra, la que se va apisonando dentro de las formaletas u “hojas de tapial”.

En comparación con técnicas en las que el barro se utiliza en un estado más húmedo, la técnica del tapial brinda una retracción mucho más baja y una mayor resistencia. La ventaja con la relación a la técnica de construcción en Adobe, es que las construcciones de tapial son monolíticas y por lo tanto poseen una mayor estabilidad.

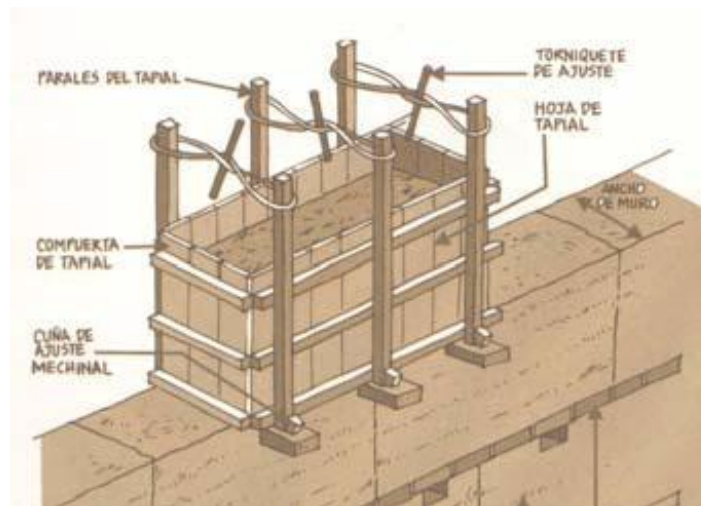


Figura 5. Elaboración De La Tapia Pisada.

Fuente: FUNDACION TIERRA VIVA. Encuentro Internacional De Arquitectura En Tierra.

4.2. La Tierra Como Material De Construcción En Colombia¹⁰.

Hasta comienzos del siglo XX, se realizaron con materiales locales y con técnicas artesanales. El bahareque de origen precolombino fue adoptado por los obreros, por los campesinos y en general por la población de bajo poder adquisitivo como el sistema para levantar sus viviendas mientras que el adobe, la tapia pisada, la mampostería de ladrillo y de piedra sentadas en mortero de cal fueron utilizados para construir las viviendas de las familias pudientes, los edificios de importancia civil y las iglesias. Entre 1920 y 1940 Colombia comienza a dejar de ser una nación rural para convertirse en una nación urbana, iniciando así el camino hacia la deseada modernidad que trajo consigo nuevos paradigmas de progreso entre los que se encontraba el cemento y el acero dentro del campo del desarrollo urbano y habitacional

Estos materiales provenientes de procesos industriales se insertaron fácilmente y de manera rotunda en una sociedad en transformación gracias a que hacían parte de un sistema conformado por el mercado, la academia, la ciencia y las políticas públicas. Los materiales locales, las técnicas de bahareque, tapia pisada y adobe entraron en desuso no porque desde la ciencia o la academia se demostrara su ineficiencia, sino porque al no estar enmarcadas dentro del sistema fueron asociadas con la pobreza y el atraso.

¹⁰ RIVEROS BOLAÑOS, Santiago. El uso masivo de la tierra como material de construcción en Colombia. En: Apuntes. Vol. 20, Núm. 2 (2007); p. 354-363.

Los profesionales en arquitectura e ingeniería desde la década de los cuarenta han propuesto alternativas de desarrollo constructivo, apenas coherentes con el sistema de consumo y de desarrollo del que hace parte la academia en la que se formaron. Estos mismos profesionales, como consultores del Estado, definieron las normas de construcción contemplando únicamente aquello validado por procesos de investigación provenientes de los Estados Unidos –donde la mayoría adelantaron programas de postgrado– y apoyados por empresas productoras de materiales industrializados. Nunca nadie ha demostrado que la tierra como material de construcción no sirve o que sus sistemas constructivos son inseguros. Simplemente entraron en desuso por asumir el paradigma de la sociedad moderna. Las construcciones en tapia pisada con más de 500 años de funcionamiento en zonas de amenaza sísmica alta son la prueba de eficiencia siempre y cuando, como con todo material, estén bien construidas atendiendo a sus limitaciones y alcances –por ejemplo, en Colombia no encontramos edificaciones de cinco pisos en tapia pisada como las que existen en Yemen–.

4.3. Sistemas Construidos En Tierra Y Botellas

4.3.1. ¿Qué es el PET?

El tereftalato de polietileno, mejor conocido como PET, fue patentado como un polímero para fibra por J. R. Whinfield y J. T. Dickson en 1941. La producción comercial de fibra de poliéster comenzó en 1955; desde entonces, el PET ha presentado un continuo desarrollo tecnológico hasta lograr un alto nivel de sofisticación basado en el espectacular crecimiento en la demanda del producto a escala mundial y a la diversificación de sus posibilidades de uso.

A partir de 1976 es que se usa para la fabricación de envases ligeros, transparentes y resistentes principalmente para bebidas, sin embargo el PET ha tenido un desarrollo extraordinario para empaques.

En México se comenzó a utilizar para la fabricación de envases a mediados de la década de los ochenta y ha tenido gran aceptación por parte del consumidor así como del productor, por lo que su uso se ha incrementado de manera considerable año tras año¹¹.

Las líneas de productos de PET, son tres: PET Grado Textil, PET Grado Film y PET del Grado Botella. – El último de estos es en el cual, se basa esta investigación -

¹¹ CONCIENCIA AMBIENTAL. Campaña de conciencia ambiental. [base de datos en línea]. [consultado 19 Nov. 2011]. Disponible en <<http://www.concienciaambiental.com.mx/cca/pet.html>>.

El PET de grado botella, es el utilizado para fabricar botellas, debido principalmente a que el PET ofrece características favorables en cuanto a resistencia contra agentes químicos, gran transparencia, ligereza, menores costos de fabricación y comodidad en su manejo. Aunque comúnmente se asocia con el embotellado de las bebidas gaseosas, el PET tiene infinidad de usos dentro del sector de fabricación de envases.

En la actualidad, surgió la idea, de hacer uso de ese tipo de envases, como material de construcción, y se han desarrollado múltiples proyectos, dentro de los cuales se resalta Taiwán, en donde lanzaron la idea de construir un edificio considerado el más ligero del mundo, denominado EcoARK utilizando para ello el poli-Ladrillo, construido con botellas de polímeros reciclados entrelazados creando así una increíble variedad de estructuras.

En la ciudad de Córdoba Argentina se ha incursionado en la utilización del PET procedente de botellas plásticas, para la fabricación de mampuestos de dimensiones convencionales de 5.5 cm x 12.5 cm x 26.2 cm, fabricado con cemento portland común, permitiendo utilizar materiales no tradicionales como es el caso de plásticos reciclados, para la construcción de ladrillos que se utilizan para la mampostería; obteniéndose un material de tipo liviano para ser utilizados en exteriores o interiores, no portantes, pero proporcionando una solución de vivienda.

4.3.2 Construcciones en el mundo

En cuanto a proyectos similares a los planteados en esta investigación se encuentran varios, entre los cuales vale la pena mencionar la construcción de casas edificadas a base de tierra y cemento con botellas reciclables, destinada a una familia de escasos recursos, propuesta por Ingrid Vaca Diez, en Roldán Bolivia, que según la autora de la propuesta resulta viviendas seguras, confortables, de muy bajo costo y térmicas.



Figura 6. Casa Con Botellas En Bolivia.
Fuente: Eco-Tec. Soluciones Ambientales.

4.3.3 Construcciones En Colombia

En Colombia la empresa Eco-tec soluciones ambientales, construyeron los proyectos del Parque de la Vida y Ecoparque Río del Cauca junto con el apoyo de la Cooperación Autónoma Regional del Valle del Cauca, bajo este mismo sistema. La empresa Eco-tec bajo la dirección del alemán Andreas Froese, ha realizados innumerables proyectos de este tipo en distintos países, siendo éste quien inventó esta técnica en el año 2001 en Honduras.



Figura 7. Parque De La Vida y Ecoparque Rio Del Cauca.
Fuente: Eco-Tec. Soluciones Ambientales.

La construcción de un deposito de basuras y un taque de almacenamiento de 9000 litros fue otros de los proyectos realizados por la misma empresa en nuestro país y fue ejecutado en el municipio de Guarne en Antioquia, que tuvo el apoyo

financiero de la Empresa de Servicios Públicos Guarne E.S.P y administrativo de FUSIDARIS (Fundación Siete Destellos del Arco Iris).



Figura 8. Depósito y Tanque De Almacenamiento De 9000 Litros.
Fuente: Eco-Tec. Soluciones Ambientales.

5. ESTUDIO ECONÓMICO

En este capítulo se efectuará un análisis económico de los dos sistemas constructivos estudiados, teniendo en cuenta la cantidad de material, el transporte y la mano de obra utilizada para así determinar los costos de construcción.

De acuerdo a lo realizado en el laboratorio el tiempo de construcción de un muro tradicional de 0.63 X 0.63 metros tarda entre 9 y 10 minutos teniendo los materiales listos, mientras la elaboración de los muros con botellas y tierra de 0.55 X 0.55 metros tarda aproximadamente 16 minutos en levantarse.

Otros factores que influyen en el tiempo de elaboración de muros con botellas plásticas son el llenado de las botellas, la preparación de la mezcla y el amarrado los cuales se observa en la siguiente tabla.

ACTIVIDAD	TIEMPO (min)
Llenado de botella	5
Elaboración	16
Enlazar con cabuya	6
Embellecer	16
Preparar mezcla	10
Total	53

Tabla 1. Clasificación PET
Fuente: Propia.

Se evidenció que el muro con materiales reciclables presenta un término superior de elaboración que aquel construido con materiales tradicionales.

Mano De Obra		Cantidad	Jornal	P.S	Jornal Total	Valor Hora	
Ayudante De Construcción		1	\$ 21.870,00	80%	\$ 39.366,00	\$ 4.920,75	
Oficial Calificado		1	\$ 37.492,00	80%	\$ 67.485,60	\$ 8.435,70	
Ingeniero		1	\$ 80.000,00	80%	\$ 144.000,00	\$ 18.000,00	
Valor Hora De Mano De Obra Total						\$ 31.356,45	
Arena	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Desperdicio	Valor Total	Cantidad Kg	Valor Unitario
Volqueta De Arena	M ³	7	\$ 20.000,00	1%	\$ 141.400,00	8400	\$ 16,83
Transporte	UND	1	\$ 105.000,00	0%	\$ 105.000,00	8400	\$ 12,50
Valor Kilo De Arena						\$ 29,33	
Botella	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Desperdicio	Valor Total	Cantidad Kg	Valor Unitario
Camion de botella	UND	2000	\$ 100,00	1%	\$ 202.000,00	1500	\$ 134,67
Transporte	UND	1	\$ 100.000,00	0%	\$ 100.000,00	1500	\$ 66,67
Valor por unidad						\$ 201,33	
Cal	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Desperdicio	Valor Total	Cantidad Kg	Valor Unitario
Camion de cal	Ton	10	\$ 680.000,00	1%	\$ 6.868.000,00	10000	\$ 686,80
Transporte	UND	1	\$ 100.000,00	0%	\$ 100.000,00	1200	\$ 83,33
Valor Kilo de Cal						\$ 770,13	
Suelo	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Desperdicio	Valor Total	Cantidad Kg	Valor Unitario
Volqueta De Suelo	M ³	7	\$ 5.000,00	1%	\$ 35.350,00	8400	\$ 4,21
Transporte	UND	1	\$ 100.000,00	0%	\$ 100.000,00	8400	\$ 11,90
Valor Kilo De Suelo						\$ 16,11	
Cemento	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Desperdicio	Valor Total	Cantidad Kg	Valor Unitario
Camion De Cemento	Ton	10	\$ 400.000,00	1%	\$ 4.040.000,00	20000	\$ 202,00
Transporte	UND	1	\$ 100.000,00	0%	\$ 100.000,00	20000	\$ 5,00
Valor Kilo De Cemento						\$ 207,00	
Metro cubico de Agua	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Desperdicio	Valor Total	Cantidad Lt	Valor Unitario
Agua	M ³	1	\$ 1.000,00	0%	\$ 1.000,00	1000	\$ 1,00
Valor Litro De Agua						\$ 1,00	
Metro de cabuya	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Desperdicio	Valor Total	Cantidad m	Valor Unitario
Cabuya	Carrete	1	\$ 50.000,00	0%	\$ 50.000,00	1000	\$ 50,00
Valor metro de cabuya						\$ 50,00	
Herramienta	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Desperdicio	Valor Total	Vida Util M ²	Valor Unitario
Embudo	UND	1	\$ 2.500,00	1%	\$ 2.525,00	1000	\$ 2,53
Tapa bocas	UND	1	\$ 500,00	5%	\$ 525,00	200	\$ 2,63
Guantes de Carnaza	UND	1	\$ 7.000,00	3%	\$ 7.210,00	500	\$ 14,42
Pala	UND	1	\$ 12.500,00	2%	\$ 12.750,00	2000	\$ 6,38
Palustre	UND	1	\$ 10.000,00	2%	\$ 10.200,00	2000	\$ 5,10
Nivel	UND	1	\$ 12.000,00	1%	\$ 12.120,00	8000	\$ 1,52
Plomada	UND	1	\$ 8.500,00	0%	\$ 8.500,00	8000	\$ 1,06
Valor de herramienta por M ²						\$ 33,62	

**Tabla 2. APU Incluyendo Transporte y mano de obra –Ingeniero, ayudante-
Fuente: Propia.**

Mano De Obra		Cantidad	Jornal	P.S	Jornal Total	Valor Hora	
Ayudante De Construcción		1	\$ -	80%	\$ -	\$ -	
Oficial Calificado		1	\$ 37.492,00	80%	\$ 67.485,60	\$ 8.435,70	
Ingeniero		1	\$ -	80%	\$ -	\$ -	
Valor Hora De Mano De Obra Total						\$ 8.435,70	
Arena	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Desperdicio	Valor Total	Cantidad Kg	Valor Unitario
Volqueta De Arena	M ³	7	\$ 20.000,00	1%	\$ 141.400,00	8400	\$ 16,83
Transporte	UND	1	\$ 105.000,00	0%	\$ 105.000,00	8400	\$ 12,50
Valor Kilo De Arena						\$ 29,33	
Botella	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Desperdicio	Valor Total	Cantidad Kg	Valor Unitario
Camion de botella	UND	2000	\$ -	1%	\$ -	1500	\$ -
Transporte	UND	1	\$ -	0%	\$ -	1500	\$ -
Valor por unidad						\$ -	
Cal	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Desperdicio	Valor Total	Cantidad Kg	Valor Unitario
Camion de cal	Ton	10	\$ 680.000,00	1%	\$ 6.868.000,00	10000	\$ 686,80
Transporte	UND	1	\$ 100.000,00	0%	\$ 100.000,00	1200	\$ 83,33
Valor Kilo de Cal						\$ 770,13	
Suelo	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Desperdicio	Valor Total	Cantidad Kg	Valor Unitario
Volqueta De Suelo	M ³	7	\$ 5.000,00	1%	\$ 35.350,00	8400	\$ 4,21
Transporte	UND	1	\$ -	0%	\$ -	8400	\$ -
Valor Kilo De Suelo						\$ 4,21	
Cemento	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Desperdicio	Valor Total	Cantidad Kg	Valor Unitario
Camion De Cemento	Ton	10	\$ 400.000,00	1%	\$ 4.040.000,00	20000	\$ 202,00
Transporte	UND	1	\$ 100.000,00	0%	\$ 100.000,00	20000	\$ 5,00
Valor Kilo De Cemento						\$ 207,00	
Metro cubico de Agua	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Desperdicio	Valor Total	Cantidad Lt	Valor Unitario
Agua	M ³	1	\$ 1.000,00	0%	\$ 1.000,00	1000	\$ 1,00
Valor Litro De Agua						\$ 1,00	
Metro de cabuya	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Desperdicio	Valor Total	Cantidad m	Valor Unitario
Cabuya	Carrete	1	\$ 50.000,00	0%	\$ 50.000,00	1000	\$ 50,00
Valor metro de cabuya						\$ 50,00	
Herramienta	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Desperdicio	Valor Total	Vida Util M ²	Valor Unitario
Embudo	UND	1	\$ 2.500,00	1%	\$ 2.525,00	1000	\$ 2,53
Tapa bocas	UND	1	\$ 500,00	5%	\$ 525,00	200	\$ 2,63
Guantes de Carnaza	UND	1	\$ 7.000,00	3%	\$ 7.210,00	500	\$ 14,42
Pala	UND	1	\$ 12.500,00	2%	\$ 12.750,00	2000	\$ 6,38
Palustre	UND	1	\$ 10.000,00	2%	\$ 10.200,00	2000	\$ 5,10
Nivel	UND	1	\$ 12.000,00	1%	\$ 12.120,00	8000	\$ 1,52
Plomada	UND	1	\$ 8.500,00	0%	\$ 8.500,00	8000	\$ 1,06
Valor de herramienta por M ²						\$ 33,62	

**Tabla 3. APU Sin Incluir Transporte Y Mano De Obra –Ingeniero, ayudante-
Fuente: Propia.**

5.1. Análisis De Precios Unitarios

El propósito de realizar los análisis de precios unitarios es demostrar, la viabilidad de llevar a cabo este tipo de proyecto innovador de “autoconstrucción”, y exponer las ventajas que conlleva con respecto de la construcción con mampostería tradicional.

Cuando se han llevado a cabo proyectos con material reciclable (PET), en su gran mayoría, han sido de “auto construcción”, esto es, que quien la va a llevar a cabo, es el que se encarga de efectuar los procedimientos para concluir la obra; por consiguiente la inversión en la mano de obra es casi nula, lo que disminuye en gran parte los costos del mismo; quedando de esta manera, como elementos de mayor inversión los materiales como el cemento y la cal.

A continuación se observarán las tablas con los análisis de precios unitarios para la elaboración de un muro de un metro cuadrado, usando los dos tipos de construcción en estudio; incluyendo, en las primeras de estas, los precios de transporte y mano de obra con ayudante e ingeniero, y en las segundas, suprimiendo los citados costos.

ACTIVIDAD	MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	PRECIO TOTAL
LLENADO DE BOTELLAS	Tierra	Kg.	166,44	\$ 16,11	\$ 2.681,86
	Botellas	UND	175,20	\$ 201,33	\$ 35.273,60
	Mano de Obra	Dia	1,83	\$ 31.356,45	\$ 57.225,52
Total costo				\$ 31.573,90	\$ 95.180,98
PREPARACION MEZCLA	Tierra	Kg	43,97	\$ 16,11	\$ 708,49
	Cemento	Kg	4,39	\$ 207,00	\$ 908,73
	Cal	Kg	2,19	\$ 770,13	\$ 1.686,59
	Agua	Lt	11,40	\$ 1,00	\$ 11,40
	Mano de Obra	Dia	0,07	\$ 31.356,45	\$ 2.159,68
Total costo				\$ 32.350,70	\$ 5.474,89
ELABORACION MURO	Mano de Obra	Dia	0,11	\$ 31.356,45	\$ 3.455,09
	Herramienta	Global	1,00	\$ 33,62	\$ 33,62
Total costo				\$ 31.390,07	\$ 3.488,71
					\$ 104.144,59

Tabla 4. APU Para Un Metro Cuadrado De Muro Con Botellas - Transporte Y Mano de Obra- Fuente: Propia

ACTIVIDAD	MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	PRECIO TOTAL
ELABORACION MURO	CEMENTO	Kg.	10,50	\$ 207,00	\$ 2.173,50
	LADRILLO	UND	15,12	\$ 850,00	\$ 12.852,00
	ARENA	Kg.	66,74	\$ 29,33	\$ 1.957,71
	AGUA	Lt	2,27	\$ 1,00	\$ 2,27
	MANO DE OBRA	Dia	0,05	\$ 31.356,45	\$ 1.645,90
	HERRAMIENTA	Global	3,00	\$ 33,62	\$ 100,87
					\$ 18.732,25

Tabla 5. APU Para Un Metro Cuadrado De Muro Tradicional – Transporte Y Mano de Obra- Fuente: Propia

ACTIVIDAD	MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	PRECIO TOTAL
LLENADO DE BOTELLAS	Tierra	Kg.	166,44	\$ 4,21	\$ 700,44
	Botellas	UND	175,2	\$ -	\$ -
	Mano de Obra	Dia	1,8250625	\$ 8.435,70	\$ 15.395,68
Total costo				\$ 8.439,91	\$ 16.096,11
PREPARACION MEZCLA	Tierra	Kg	43,97	\$ 4,21	\$ 185,04
	Cemento	Kg	4,39	\$ 207,00	\$ 908,73
	Cal	Kg	2,19	\$ 770,13	\$ 1.686,59
	Agua	Lt	11,4	\$ 1,00	\$ 11,40
	Mano de Obra	Dia	0,068875	\$ 8.435,70	\$ 581,01
Total costo				\$ 9.418,04	\$ 3.372,77
ELABORACION MURO	Mano de Obra	Dia	0,1101875	\$ 8.435,70	\$ 929,51
	Herramienta	Global	1	\$ 33,62	\$ 33,62
Total costo				\$ 8.469,32	\$ 963,13
					\$ 20.432,02

Tabla 6. APU Para Un Metro Cuadrado De Muro Con Botellas –Sin Transporte Y Mano de Obra -.
Fuente: Propia

ACTIVIDAD	MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	PRECIO TOTAL
ELABORACION MURO	CEMENTO	Kg.	10,50	\$ 207,00	\$ 2.173,50
	LADRILLO	UND	15,12	\$ 850,00	\$ 12.852,00
	ARENA	Kg.	66,74	\$ 16,83	\$ 1.123,46
	AGUA	Lt	2,27	\$ 1,00	\$ 2,27
	MANO OBRA	Dia	0,05	\$ 8.435,70	\$ 442,79
	HERRAMIENTA	Global	3,00	\$ 33,62	\$ 100,87
					\$ 16.694,89

Tabla 7. APU Para Un Metro Cuadrado De Muro Tradicional – Sin Transporte Y Mano de Obra-.
Fuente: Propia

Atendiendo al anterior análisis, se observa, la variación de costos, generados entre la construcción tradicional, y con envases PET, resultando conforme a esto, que en virtud a que la citada construcción con botellas, a diferencia con la tradicional, se puede evitar el costo de la mano de obra, los recursos invertidos en los proyectos elaborados con material reciclable, serían similares, a los elaborados con ladrillo, resaltando, que además de obtener un resultado innovador con el primero de estos, se contribuiría enormemente, con la conservación del medio ambiente, puesto que la gran cantidad de envases plásticos usados para la elaboración del mismo, tardarían largos años, en lograr descomponerse, generando una alta contaminación ambiental.

6. METODOLOGÍA UTILIZADA Y ENSAYOS DE LABORATORIO

Se identificaron los tamaños de las botellas PET existentes en el mercado para así seleccionar el más adecuado, teniendo en cuenta el ancho de los muros de vivienda (10 cm) y la facilidad de adquirir ese tipo de botellas en cantidad.

Después de revisar cada uno de los tamaños de las botellas (2.5 Litros, 1,5 Litros, 600ml, 500ml, 200ml) se observó que por el espesor era más conveniente las botellas de pony malta de 200ml o las de 500ml, con el objetivo de elaborar especímenes que tuvieran aproximadamente el mismo ancho de a los muros tradicionales, pero debido a la dificultad de obtener la cantidad necesaria para el proyecto se optó por usar las botellas de 600ml que a pesar de que no cumple con el ancho del muro tradicional, sus dimensiones eran las mas similares, faciales de adquirir y las más utilizadas en nuestro medio, (Tabla 1). Es importante para el proceso que todas las botellas tengan su tapa.

Tamaño	Cantidad	Ancho del muro	
		L _{aprox} (cm)	cumple
2.5 Litros	Si	36	no
1.5 Litros	Si	30	no
600 ml	Si	24	no
500 ml	No	21,5	si
200 ml	No	14,5	si

Tabla 8. Clasificación PET
Fuente: Propia.

Basado en la experiencia del señor Andreas Froese¹², inventor de la técnica de muros en tierra con botellas, la tierra que se debe usar debe tener las siguiente característica: % finos = 30% – 40%, adicionalmente se requiere de la mezcla de material (tierra) con materiales aglomerantes tales como la cal y el cemento, a fin de evitar fisuramientos en los acabados y mas cohesión en la misma.

¹² ANDREAS FROESE: De nacionalidad alemán, gerente general e inventor de la técnica ECOTEC, es ecologista, dedicado a la bioconstrucción y el ecodiseño.

Para la determinación de la tierra adecuada que cumpliera estas especificaciones, se realizaron ensayos de granulometría, límites líquido y plástico, y posteriormente clasificar el suelo en uso. Se decide usar la tierra procedente de las excavaciones del edificio K de la Universidad Pontificia Bolivariana.

6.1. Clasificación De Los Suelos

Los elementos esenciales del sistema de clasificación fueron propuestos inicialmente por ARTURO CASAGRANDE (1942) y adoptado subsecuentemente por el cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos para la construcción de aeropuertos¹³.

Actualmente, este sistema se utiliza con modificaciones mínimas en la mayoría de los países fuera de Estados Unidos. Dentro de los Estados Unidos el sistema es ampliamente utilizado por organizaciones tales como el cuerpo de ingenieros, la oficina de reclamos, y con pequeñas modificaciones por la mayoría de las firmas consultoras.

Todos los sistemas de clasificación de interés primordial para el ingeniero geotécnico utilizan los límites de Attenberg, con un análisis parcial o total de granulometría, y el proceso de eliminación para la clasificación de un suelo.

En todos los sistemas de clasificación es absolutamente esencial acompañar el símbolo de clasificación con la descripción debida del suelo, pues el símbolo particular de grupo es demasiado amplio y general como criterio de clasificación para suelos específicos.

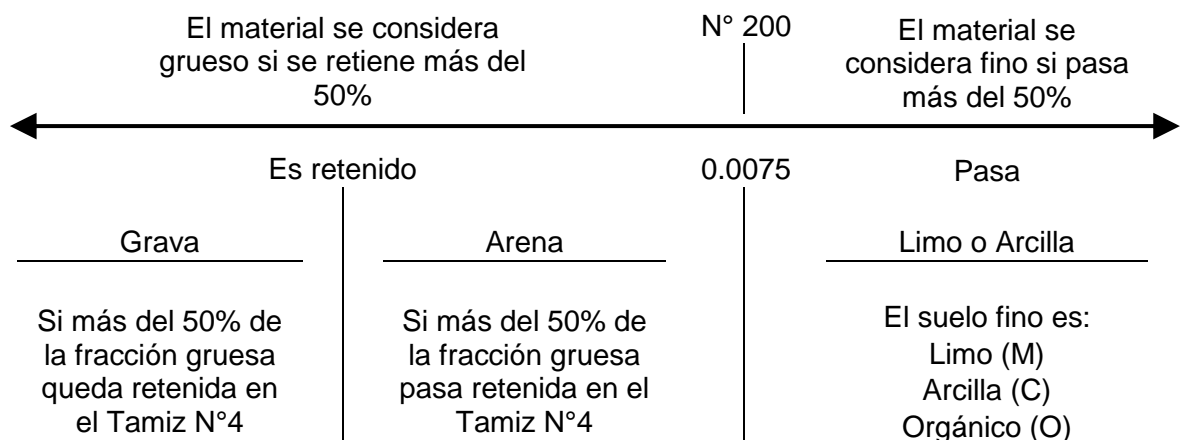


Figura 9. Definición de clasificación de suelos
Fuente: BOWLES, Joseph. Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil.

¹³ BOWLES, Joseph. Manual De Laboratorio De Laboratorio De Suelos En Ingeniería Civil. Editorial: McGraw – Hill. 1978. Pág. 73-77

6.1.1. Sistema Unificado De Clasificación De Suelos (SUCS)

El Sistema divide al suelo en dos grandes grupos que están definidos en la figura anterior:

- a) Suelos gruesos: Es considerado un suelo grueso si más del 50% en peso de una muestra no pasa por el tamiz N° 200 (0.074mm) y están divididos en gravas y arenas.
 - Gravas (G): Son gravas si más del 50% en peso de la fracción gruesa no pasa por el tamiz N°4 (4.75mm).
 - Arenas (S): Son arenas si más del 50% en peso de la fracción gruesa pasa por el tamiz N°4 (4.74mm).

- b) Suelos Finos: Es considerado un suelo fino si más del 50% en peso de una muestra pasa por el tamiz N° 200 (0.074) y están divididos en arcillas inorgánicas (C), limos inorgánicos (M) y finos con un alto contenido de materia orgánica (O).

6.1.1.1 Gravas o Arenas. GW, GP, SW, SP

Si menos del 5% del material pasa a través del tamiz N° 200, W= Bien gradadas, P= Pobremente gradadas.

6.1.1.2 Gravas y Arenas. GM, GC, SM, SC

Si más del 12% del material pasa a través del tamiz N° 200. Las designación limo o arcilla se determina después de obtener los valores de los límites líquidos y plásticos de la fracción menor del tamiz N° 40 y utilizando los criterios de la carta de plasticidad de la figura 7 Este cuadro es otra contribución de Casagrande al sistema, y la línea A que se encuentra en él, es conocida como la línea A de Casagrande.

6.1.1.3 Gravas y Arenas. GW-GC, GP-GC, GW-GM, GP-GM, SW-SC, SP-SC, SW-SM, SP-SM

Los suelos con contenido de finos entre el 5% y el 12% se consideran como casos frontera y tiene doble nomenclatura.

6.1.1.4 Suelos Finos MH, CH, OH, ML, CL, OI

Si los límites líquidos son superior al 50%; H= Alta plasticidad.

Si los límites líquidos son inferiores al 50%; L= Baja compresibilidad.

Los límites líquidos y plásticos se ejecutan sobre material correspondiente a la fracción menor del tamiz N° 40 de todos los suelos incluyendo gravas, arenas y suelos finos utilizando la ejecución del ensayo. Estos límites se utilizan con la carta de plasticidad para determinar el prefijo M, C u O, dependiendo de las coordenadas de plasticidad del suelo dentro de la carta.

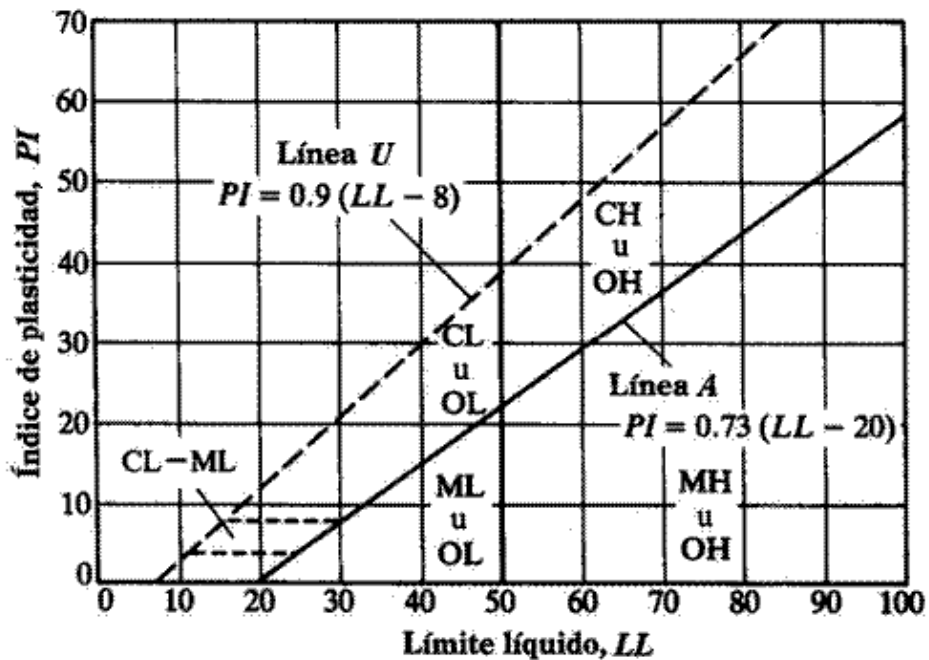


Figura 10. Definición de clasificación de suelos

Fuente: <http://www.notasingenierocivil.com> [Consultado 05 Nov. 2011]

La tabla 2 presenta los factores a considerar en la clasificación de un suelo de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Divisiones mayores			Símbolo de grupo	Nombres típicos
Suelos de grano grueso (más del 50% del material es mayor en tamaño que el Tamiz N° 200)	Gravas (más de la mitad de la fracción gruesa es mayor que el tamiz N° 4)	Gravas limpias (poco o ningún fino)	GW	Gravas bien gradadas, mezclas gravosas o ningún fino.
		Gravas con finos (cantidad apreciable de finos)	GP	Gravas pobremente gradadas, mezclas gravas-arenas, pocos o ningún fino.
		Gravas limosas (mezclas grava-arena-limosas)	GM	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limosas.
		Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.	GC	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.
	Arenas (más del 50% de la fracción gruesa es menor que el tamiz N° 4)	Arenas limpias (poco o ningún fino)	SW	Arena bien gradada, arena gravosa, poco o ningún fino.
		Arenas pobremente gradadas, arena gravosa, pocos o ningún fino.	SP	Arena pobremente gradada, arena gravosa, pocos o ningún fino.
		Arenas limosas, mezcla arena-limo.	SM	Arenas limosas, mezcla arena-limo.
		Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.	SC	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.
Suelos de grano fino (más del 50% del material pasa el Tamiz N° 200)	Limos y arcillas (Limite líquido < 50%)	ML	Limos inorganicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas, o limos arcillosos con poca plasticidad.	
		CL	Arcillas inorganicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras.	
		OL	Limos organicos, arcillas limosas organicas de baja plasticidad.	
	Limos y arcillas (Limite líquido > 50%)	MH	Limos organicos, suelos limosos o arenosos finos máceos o diatomáceos, suelos elasticos.	
		CH	Arcillas inorganicas de alta plasticidad, arcillas grasas.	
		OH	Arcillas organicas de plasticidad media a alta, limos organicos.	
	Suelos altamente organicos	Pt	Turbas y otros suelos altamente organicos	

Tabla 9. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Fuente: BOWLES, Joseph. Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil. Editorial: McGraw – Hill. 1978. p74

6.2. Granulometría Por Mallas

Este método de ensayo tiene por objeto determinar cuantitativamente los tamaños de las partículas de agregados gruesos y finos de un material, por medio de tamices de abertura cuadrada. (INVE 213)

Para determinar el porcentaje de finos que tiene y saber qué tipo de suelo se está usando se tomaron tres muestras de 1000 g. del suelo en estudio y se llevaron al horno durante 24 horas para así obtener el peso de la muestra (Tabla 3). Estas muestras deben cumplir con las recomendaciones dadas por Andreas Froese.

N° Muestra	Peso del platón (g)	Peso de la muestra húmeda (g)	Peso de la muestra seca + platón (g)	Peso de la muestra seca (g)
1	193,0	1000	1036,4	843,4
2	191,8	1000	1034,4	842,6
3	189,2	1000	1034,6	845,4

Tabla 10. Pesos De Las Muestras De Suelo Antes Del Lavado.

Fuente: Propia

Se lavaron las muestras de suelo a través del tamiz N° 200 hasta que el agua quedara transparente y se llevó nuevamente al horno durante 24 horas.

En la tabla 4 se muestra los resultados de los pesos de las muestras de suelo después del lavado.

N° muestra	Peso del platón (g)	peso de la muestra humedad (g)	Peso de la muestra seca + platón (g)	Peso de la muestra seca (g)
1	193,0	843,4	679,8	486,8
2	191,8	842,6	686,2	494,4
3	189,2	845,4	680,2	491,0

Tabla 11. Pesos De Las Muestras De Suelo Después Del Lavado.
Fuente: Propia

GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA N 1

Peso de la muestra (g.) =		843,4		
Peso de la muestra (g.) =		486,8		
Malla N°	Abertura mm	Peso retenido g.	% Retendo parcial	% Pasa
1"	25,40	0,00	0,00	100,00
3/4 "	19,05	0,00	0,00	100,00
1/2 "	12,70	0,00	0,00	100,00
3/8 "	9,52	2,70	0,32	99,68
N° 4	4,75	2,30	0,27	99,41
10,00	2,00	9,30	1,10	98,30
20,00	0,84	83,90	9,95	88,36
40,00	0,42	157,60	18,69	69,67
60,00	0,25	90,10	10,68	58,99
100,00	0,15	63,50	7,53	51,46
200,00	0,07	61,10	7,24	44,21
Pasa 200		372,90	44,21	0,00
TOTAL		843,4		

% Gravas =	0,59	%
% Arenas =	55,19	%
% Finos =	44,21	%

Tabla 12. Resultado De Granulometría Por Mallas De La Muestra N 1.
Fuente: Propia

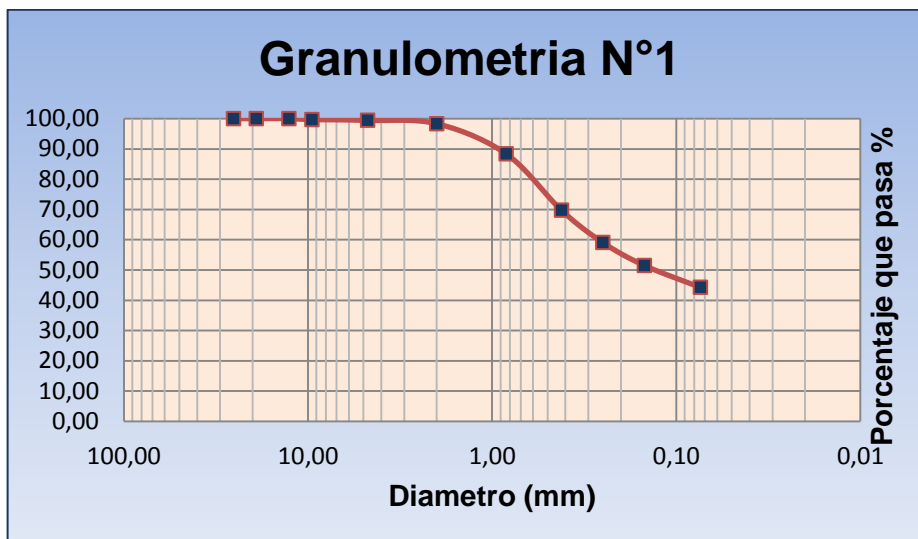


Figura 11. Línea Granulometría De La Muestra N 1
Fuente: Propia

GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA N°2

<i>Malla N°</i>	<i>Abertura mm</i>	<i>Peso retenido g.</i>	<i>% Retendo parcial</i>	<i>% Pasa</i>
1"	25,40	0,00	0,00	100,00
3/4 "	19,05	0,00	0,00	100,00
1/2 "	12,70	6,00	0,71	99,29
3/8 "	9,52	0,00	0,00	99,29
N° 4	4,75	4,10	0,49	98,80
10,00	2,00	10,40	1,23	97,57
20,00	0,84	84,10	9,98	87,59
40,00	0,42	152,20	18,06	69,52
60,00	0,25	90,80	10,78	58,75
100,00	0,15	69,30	8,22	50,52
200,00	0,07	62,60	7,43	43,09
Pasa 200		363,10	43,09	0,00
TOTAL		842,60		

% Gravas =	1,20	%
% Arenas =	55,71	%
% Finos =	43,09	%

Tabla 13. Resultado De Granulometría Por Mallas De La Muestra N 2.
Fuente: Propia

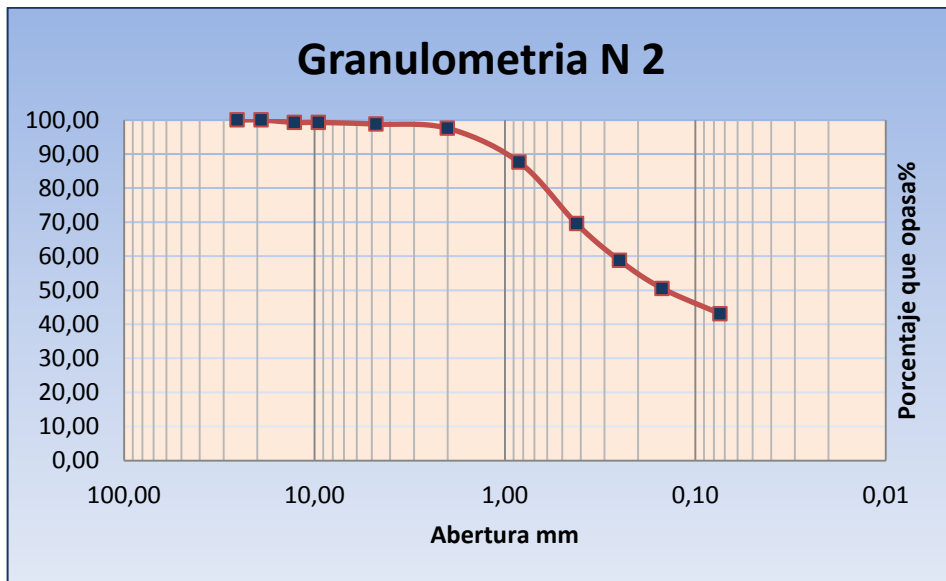


Figura 12. Línea Granulometría De La Muestra N 2
Fuente: Propia

GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA N°3

<i>Malla N°</i>	<i>Abertura mm</i>	<i>Peso retenido g.</i>	<i>% Retendo parcial</i>	<i>% Pasa</i>
1 "	25,40	0,00	0,00	100,00
3/4 "	19,05	0,00	0,00	100,00
1/2 "	12,70	14,30	1,69	98,31
3/8 "	9,52	6,30	0,75	97,56
N° 4	4,75	3,20	0,38	97,18
10,00	2,00	11,30	1,34	95,85
20,00	0,84	84,50	10,00	85,85
40,00	0,42	150,00	17,74	68,11
60,00	0,25	92,20	10,91	57,20
100,00	0,15	69,30	8,20	49,01
200,00	0,07	54,40	6,43	42,57
Pasa 200		359,90	42,57	0,00
TOTAL		845,4		

% Gravas =	2,82	%
% Arenas =	54,61	%
% Finos =	42,57	%

Tabla 14. Resultado De Granulometría Por Mallas De La Muestra N 3.
Fuente: Propia

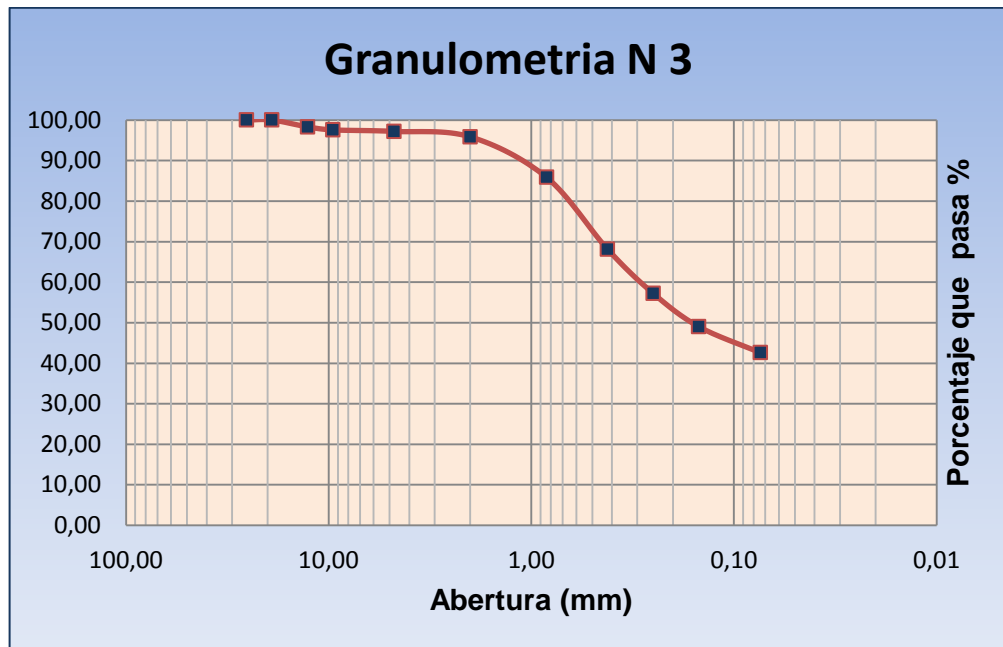


Figura 13. Línea Granulometría De La Muestra N 3
Fuente: Propia

6.3. Límite Líquido y Límite Plástico.

Para la preparación de las muestras para los límites líquidos y plásticos, se procedió a secar el material al aire, pulverizarlo y pasarlo a través del tamiz No. 40.

Una vez seleccionado el suelo se procedió a colocarlo en el matraz de porcelana y adicionarle contenidos de agua, mezclarlos hasta obtener una mezcla homogénea.

Luego esta pasta de suelo se incorporó dentro de la cazuela de Casagrande, se pasó el ranurador y se procedió a contabilizar el número de golpes necesarios para juntar la abertura en más o menos 1 “.

Prueba N°	Cápsula N°	Número de Golpes	Peso cápsula + suelo humedo g.	Peso cápsula + suelo seco g.	Peso del agua g.	Peso de la cápsula g.	Peso del suelo g.	Contenido de agua %
1	177	31	19,94	16,28	3,66	6,80	9,48	38,61
2	112	28	24,95	19,86	5,09	6,80	13,06	38,97
3	156	21	23,56	18,84	4,72	7,00	11,84	39,86
4	115	18	26,18	20,59	5,59	7,00	13,59	41,13

Tabla 15. Límite Líquido De La Muestra N 1.
Fuente: Propia

Prueba N°	Cápsula N°	Número de Golpes	Peso cápsula + suelo humedo	Peso cápsula + suelo seco	Peso del agua	Peso de la cápsula	Peso del suelo	Contenido de agua
			g.	g.	g.	g.	g.	%
1	91		11,65	10,99	0,66	8,56	2,43	27,16
2	46		10,98	10,09	0,89	6,78	3,31	26,89

Tabla 16. Límite Plástico De La Muestra N 1.
Fuente: Propia

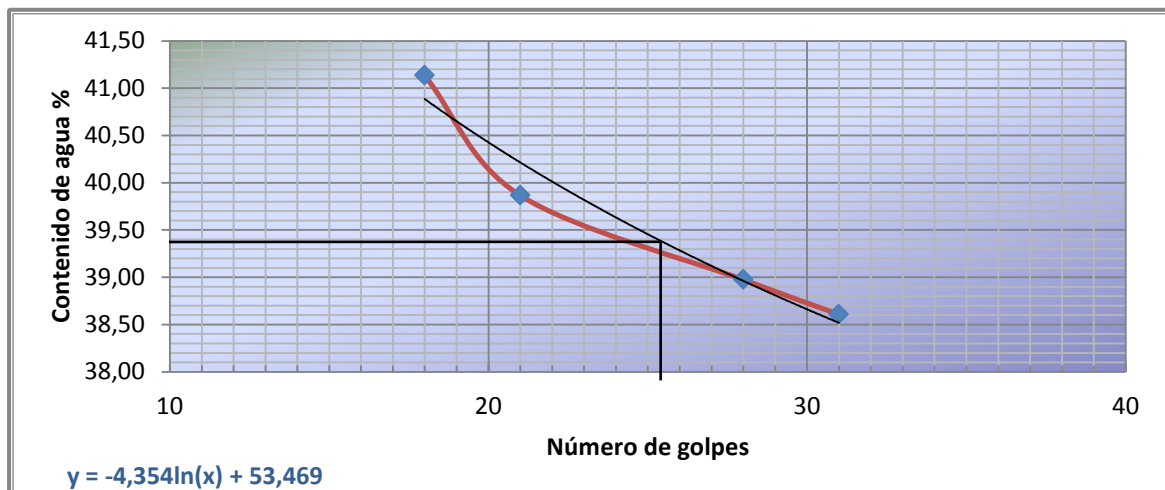


Figura 14. Curva De Fluidez De La Muestra N 1
Fuente: Propia

LL =	39,46	%
LP =	27,02	%
IP =	12,43	%

Tabla 17. Resultado De Límites e Índice De Plasticidad De La Muestra N 1.
Fuente: Propia

Prueba N°	Cápsula N°	Número de Golpes	Peso cápsula + suelo humedo	Peso cápsula + suelo seco	Peso del agua	Peso de la cápsula	Peso del suelo	Contenido de agua
			g.	g.	g.	g.	g.	%
1	110	30	27,49	21,84	5,65	6,91	14,93	37,84
2	123	27	25,93	21,16	4,77	8,59	12,57	37,95
3	11	22	26,10	20,76	5,34	6,84	13,92	38,36
4	1	19	28,86	22,93	5,93	7,87	15,06	39,38

Tabla 18. Límite Líquido De La Muestra N 2.
Fuente: Propia

Prueba N°	Cápsula N°	Número de Golpes	Peso cápsula + suelo húmedo	Peso cápsula + suelo seco	Peso del agua	Peso de la cápsula	Peso del suelo	Contenido de agua
			g.	g.	g.	g.	g.	%
1	29		10,75	9,79	0,96	6,59	3,20	30,00
2	24		10,19	9,45	0,74	6,87	2,58	28,68

Tabla 19. Límite Plástico De La Muestra N 2.
Fuente: Propia

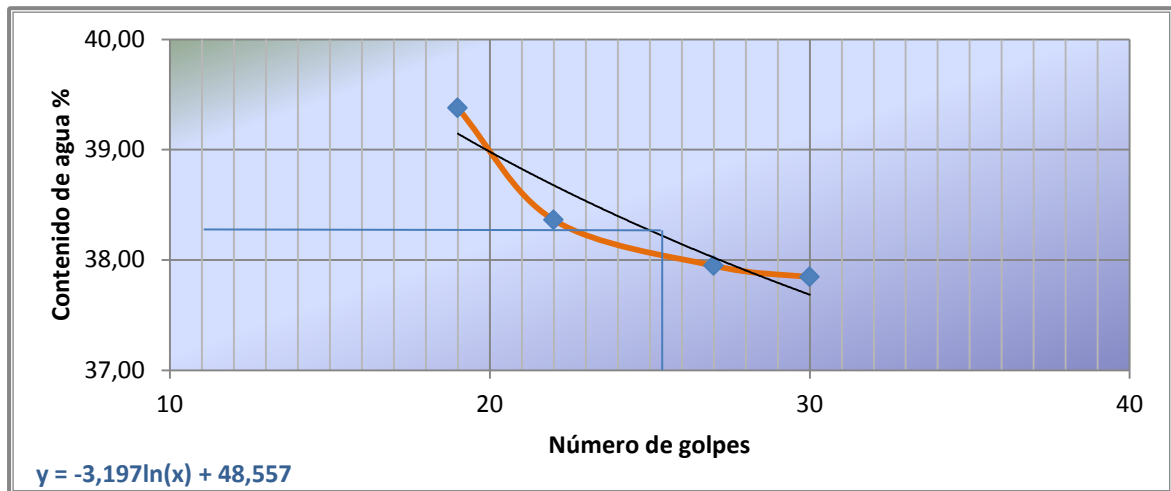


Figura 15. Curva De Fluidez De La Muestra N 2
Fuente: Propia

LL =	38,28	%
LP =	29,34	%
IP =	8,94	%

Tabla 20. Resultado De Límites e Índice de Plasticidad De La Muestra N 2.
Fuente: Propia

Una vez ejecutados los ensayos granulometría y plasticidad se concluyó que el material seleccionado corresponde a una arena limosa (SM) con cierto grado de plasticidad, el cual corresponde a material propicio para este tipo de técnica constructiva.

6.4. Ensayo De Resistencia De Cubos Con Material Aglomerante De Los Muretes Con Botellas PET.

El objetivo del ensayo fue determinar la resistencia a la compresión que es soportado por el material aglomerante de los muros con botellas PET utilizando cubos de 50mm o 50,8mm.

Para la preparación de los moldes se aplicó en las caras interiores y en la placa plana no absorbente, un recubrimiento delgado de un agente desmoldante, que fue aceite. Para esta labor se empleó una brocha impregnada de este material.

Las cantidades de los materiales que se mezclaron fueron las siguientes:

Materiales	9 Cubos
Suelo (g.)	2000
Cemento (g.)	200
Cal (g.)	100

Tabla 21. Cantidades De Materiales De Los Cubos N 1.
Fuente: Propia

El porcentaje de agua a calcular para la prueba fue tomada mediante la prueba y error realizando varios cubos con las mismas proporciones de la mezcla, teniendo en cuenta su manejabilidad.

Luego de tener los moldes listos se mezclaron mecánicamente el suelo, el cemento y la cal en las cantidades anteriormente mencionadas. El proceso de llenado de los moldes se inició antes de 150s, contados desde la realización de la mezcla inicial.

En cada compartimiento se colocó una capa de 25mm de mezcla, aproximadamente la mitad de la profundidad del molde. Se apisonó con 25 golpes del compactador en 10s en 3 etapas de 8 golpes adyacentes, como se ilustra en la figura N 16.

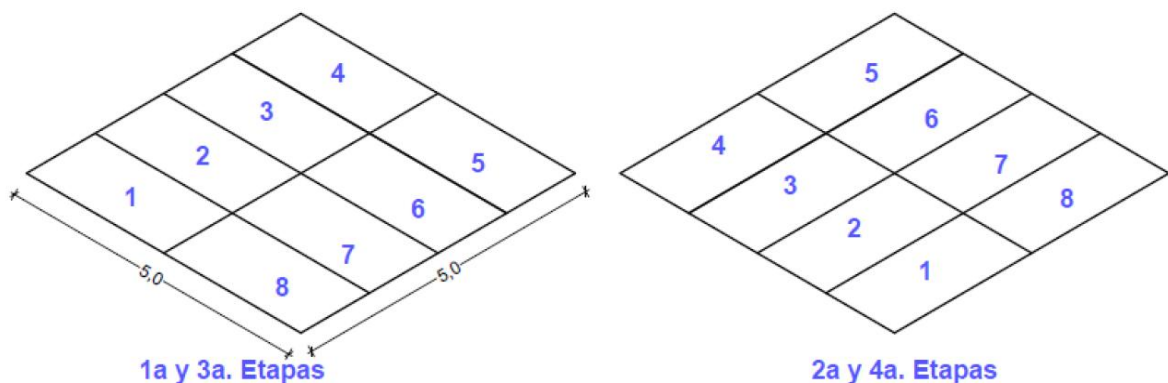


Figura 16. Orden De Compactación De Capas Para Moldes De Compresión
Fuente: Norma Técnica Colombiana 220. Determinación de la Resistencia de Morteros de Cemento Hidráulico usando cubos de 50mm o 50,8mm de lado. 12-01-2004. ICONTEC. 4 Edición. P 5-9.

En cada etapa se realizó el proceso de golpeado siguiendo una dirección perpendicular a los de la anterior. Se completaron las tres etapas de compactación (25 golpes) en cada compartimiento antes de seguir con el siguiente. Una vez terminada la operación anterior, en todos los compartimientos, se llenaron con una segunda capa y se apisonaron como se explicó anteriormente.

Luego de llenar cada una de las formaletas con los pasos anteriores, fueron dejadas durante 24 horas al aire húmedo para su secado, quedando así, protegidos de gotas de agua. Pasado este término, se procedió a desmoldar los cubos, los cuales fueron dejados nuevamente al aire libre, hasta obtener un secado total y uniforme, quedando de esta manera, listas para proceder al respectivo ensayo.

El día del ensayo se preparó la muestra limpiando todas las partículas sueltas que contenga la cara superior de cada uno de los cubos, ya que esta es la superficie que va hacer contacto con la máquina y debido a esto podría causar resultados no deseados. Por último se realizó cada una de las mediciones y peso de los bloques para así proceder en el ensayo de compresión de los cubos.

En la tabla N 15 se observan los diferentes tipos de combinaciones de materiales utilizados para la elaboración de los cubos con su respectiva dosificación utilizada.

Muestra N°	Materiales	Peso (g.)	Características
1	Suelo	2000	
2	Suelo	2000	Humedad natural del suelo
	Cemento	200	
	Cal	100	
3	Suelo	2000	Con adición de agua
	Cemento	200	
	Cal	100	
	Agua (ml)	300	

Tabla 22. Tipos De Mezclas.
Fuente: Propia

En la figura se puede observar el registro fotográfico de la elaboración de los cubos realizados en el laboratorio de Resistencia de materiales de la Universidad Pontificia Bolivariana.



	
<p>1. Porcentaje de los materiales</p>	<p>2. Mezclar hasta homogeneizar</p>
	
<p>3. Mezcla homogénea</p>	<p>4. Elaboración de los cubos</p>
	
<p>5. Secado de los cubos</p>	<p>6. Ensayo de compresión</p>

Figura 17. Elaboración de Cubos De Tierra.
Fuente: Propia

N° Cubo	Peso (g.)	Carga (Kg)	Area (cm ²)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Esfuerzo (Mpa)
1	180,0	46	26,27	131,33	1,371	1,751	0,17
2	194,6	57	26,16	133,43	1,458	2,179	0,21
3	195,5	56	26,32	136,58	1,431	2,128	0,21
4	184,1	55	25,55	130,83	1,407	2,152	0,21
5	192,7	53	25,76	132,38	1,456	2,058	0,20
6	186,1	44	25,70	131,35	1,417	1,712	0,17
7	187,8	49	25,81	131,61	1,427	1,899	0,19
8	180,7	36	25,45	129,55	1,395	1,414	0,14

Tabla 23. Cubos En Tierra.

Fuente: Propia

N° Cubo	Peso (g.)	Carga (Kg)	Area (cm ²)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Esfuerzo (Mpa)
1	184,23	120	25,70	131,08	1,405	4,669	0,46
2	183,06	62	25,65	131,33	1,394	2,417	0,24
3	185,65	56	25,86	132,39	1,402	2,166	0,21
4	182,48	84	25,65	130,82	1,395	3,275	0,32
5	190,41	78	25,91	133,94	1,422	3,011	0,30
6	189,59	73	26,06	134,21	1,413	2,801	0,27
7	185,86	72	25,70	131,35	1,415	2,801	0,27
8	189,77	90	26,01	133,17	1,425	3,460	0,34
9	185,74	82	25,76	132,38	1,403	3,184	0,31

Tabla 24. Cubos En Tierra, Cal y Cemento.

Fuente: Propia

N° Cubo	Peso (g)	Carga (Kg)	Area (cm ²)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Esfuerzo (Mpa)
1	212,4	712	25,45	130,82	1,623	27,974	2,74
2	200,3	651	25,35	128,78	1,555	25,680	2,52
3	215,3	1150	25,40	129,04	1,669	45,273	4,44
4	215,8	1034	25,65	131,09	1,646	40,306	3,95
5	220,4	971	25,86	131,87	1,671	37,552	3,68
6	212,9	910	25,35	130,05	1,637	35,896	3,52
7	202,6	627	25,25	129,28	1,567	24,832	2,44
8	197,5	412	25,35	129,29	1,527	16,252	1,59
9	206,8	728	25,81	132,13	1,565	28,210	2,77

Tabla 25. Cubos En Tierra, Cal, Cemento y Agua.

Fuente: Propia

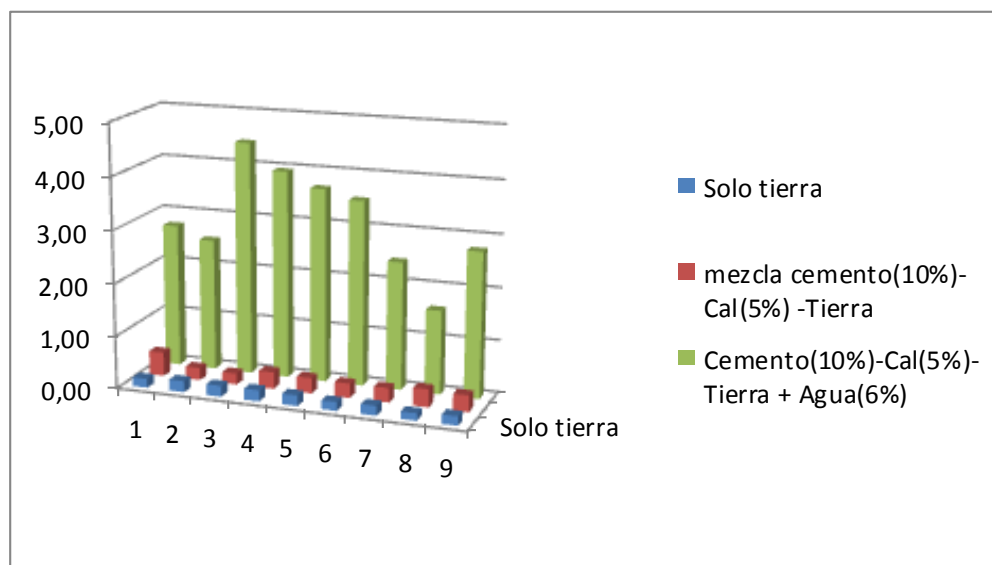


Figura 18. Resistencia De Cubos En Tierra.
Fuente: Propia

Con lo anterior, se pudo observar los resultados obtenidos con el ensayo de resistencia a la compresión de los cubos en tierra; en los cuales claramente se avizoró el aumento de la resistencia de los cubos, a medida que se iba incrementado la humedad del suelo utilizado.

6.5. Elaboración De Los Muretes

Los muretes fueron construidos sobre una superficie plana y nivelada, y en un lugar que pudieran permanecer sin ser perturbados hasta que sean transportados para el ensayo.

Para la elaboración de los muros con ladrillo tradicional se realizó con H-10 y con un mortero 1:3 de relación cemento-arena con unas dimensiones del murete de 63 x 63 centímetros.

Preparación de los materiales para elaborar los muros con ladrillo H-10 se muestra en la figura 15.





		
1. Preparando arena	2. Porcentaje de cemento	3. Mezclar hasta homogeneizar
		
4. Homogenea	5. Ladrillos	6. Ladrillos medios o chazos

Figura 19. Materiales Para La Construcción de Muros tradicionales
Fuente: Propia

El procedimiento de la construcción de los muretes tradicionales se muestra a continuación en la figura 20.

		
1. Ancho del muro	2. Nivelar	3. Mortero entre ladrillos

Figura 20. Construcción de Muretes Tradicionales.
Fuente: Propia

		
<p>4. Mortero de pega</p>	<p>5. Distribución del mortero</p>	<p>6. Segunda fila de ladrillos</p>
		
<p>7. Aplomar bordes</p>	<p>8. Aplomar frente</p>	<p>9. Ajustar ladrillos</p>
		
<p>10. Nivelar la segunda fila de ladrillos</p>		<p>11. Repetir pasos</p>

Continuación Figura 21. Construcción de Muretes Tradicionales.
Fuente: Propia



Continuación Figura 22. Construcción de Muretes Tradicionales.
Fuente: Propia

El proceso de llenado de las botellas PET se muestra en la siguiente figura.



Figura 23. Llenado De Botellas PET.
Fuente: Propia



Continuación Figura 24. Llenado De Botellas PET.
Fuente: Propia

Construcción de muros de tierra con botellas PET.


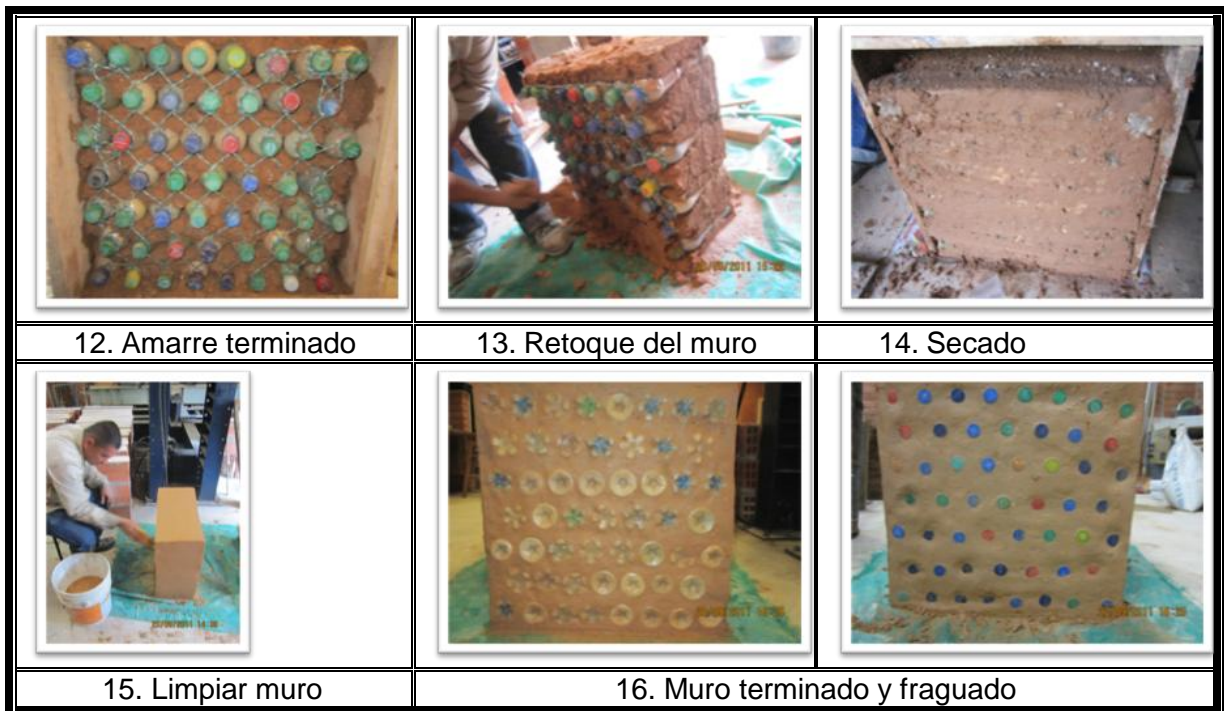
		
<p>1. Porcentaje se materiales</p>	<p>2. Mezcla de pega</p>	<p>3. Cabuya</p>
		
<p>4. Primera capa de mezcla de pega</p>	<p>5. Amarre de botella</p>	
		
<p>6. Nivelar botellas</p>	<p>7. Primera fila botellas</p>	<p>8. Segunda capa de mezcla de pega</p>
		
<p>9. Segunda fila botellas</p>	<p>10. Repetir pasos</p>	<p>11. Amarre de picos de botella</p>

Figura 25. Construcción De Muretes De Tierra Con Botellas PET.
Fuente: Propia



Continuación Figura 26. Construcción De Muretes De Tierra Con Botellas PET.
Fuente: Propia

6.5.1. Refrentado de los muretes tradicionales

El refrentado en los muros tradicionales, se debe realizar para que la superficie irregular que tienen las unidades de mampostería no altere el resultado del ensayo de compresión al cual van a ser sometidos.

Para la elaboración se tomo como referencia la tesis que se realizó en la Universidad Pontificia Bolivariana sobre el refrentado en unidades de mampostería utilizando porcentajes de mezcla yeso – caolín el cual se determinó que la proporción 60% de yeso y 40% de caolín eran las mas adecuadas para cumplir con el esfuerzo necesario de la mezcla del material del refrentado¹⁴.

Antes de iniciar el procedimiento de refrentado de los muros se debe garantizar que este limpio, seco y en una superficie estable y nivelada.

¹⁴ ORTIZ, Luis y RAMÍREZ Edwin. Validación del refrentado en unidades de mampostería utilizando porcentajes de mezcla yeso - caolín (Fase I). Bucaramanga, 2008. Tesis (Ingeniería Civil). Universidad Pontificia Bolivariana. Escuela de Ingenierías y Administración. Facultad de Ingeniería Civil p 40.

Luego se colocaron dos reglas acrílicas livianas en los bordes del muro y se ajustaron con unas mordazas en tres puntos diferentes para formar una capa no mayor a 3 mm de espesor y se nivelan longitudinalmente como transversalmente.

Se pesó el yeso y el caolín en los porcentajes ya mencionados y se procede a mezclar hasta obtener un color uniforme después se le agrega agua en un 50% de la muestra y se mezcla hasta obtener una pasta semi - líquida.

Se vierte la pasta y se distribuye sobre toda la superficie a refrentar. Con una llana metálica se enraza hasta formar la capa de 3mm aproximadamente, lo cual se puede lograr con las guías que forma las reglas.

Después de unos minutos se procede a retirar las mordazas y las reglas, teniendo en cuenta que estas no vayan a fisurar o partir la capa de yeso/caolín. Por ultimo con una espátula se cortan los bordes que sobresalieron el muro.



Figura 27. Refrentado De Muretes Con Ladrillo Tradicional.
Fuente: Propia

Este procedimiento se repite por la otra cara del muro, dejando como mínimo un día, de tal manera que garantice que la pasta este completamente seca.

6.6. Resistencia a La Compresión De Los Muretes.

El objetivo del ensayo que se observará a continuación, es básicamente poder determinar la resistencia que tienen los muretes de los dos tipos de mampostería estudiados a la compresión, para ello se realizó el ensayo en el laboratorio de resistencia de materiales de la Universidad Pontificia Bolivariana utilizando la máquina universal, 28 días después de la elaboración para tener en cuenta el tiempo de fraguado de la mezcla de pega que fue utilizada.



Figura 28. Ensayo De Resistencia a La Compresión de Muros Con Ladrillo.
Fuente: Propia

El mismo procedimiento se realizó para el ensayo en los muros con el material reciclable el cual se puede observar en la figura 25







		
1. Trasladar muro	2. Ubicar muro	3. Centrar muro
		
4. Acomodar máquina universal	5. Ensayo de compresión	6. Escombros

Figura 29. Ensayo De Resistencia a La Compresión de Muros con Botellas PET.
Fuente: Propia

7. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Vistas las imágenes del procedimiento utilizado en el ensayo, se procederá a mostrar los resultados de carga obtenidos en la máquina universal del laboratorio de la Universidad Pontificia Bolivariana, y los cálculos de esfuerzo de los dos tipos de muros objeto de estudio.

En primera medida, en el contenido de la Tabla No. 26, se verán plasmados los resultados del referido ensayo, usando los muros tradicionales y/o de ladrillo.

N° Muro	Carga (Kg)	Carga (KN)	Area (cm ²)	Area (m ²)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Esfuerzo (Mpa)
1	9785,93	96,0	630,00	0,063000	15,533227	1,52
2	8399,59	82,4	630,00	0,063000	13,332686	1,31
3	8613,66	84,5	630,00	0,063000	13,672475	1,34
4	7135,58	70,0	630,00	0,063000	11,326311	1,11
5	7104,99	69,7	630,00	0,063000	11,277770	1,11
6	8634,05	84,7	630,00	0,063000	13,704836	1,34
7	7013,25	68,8	630,00	0,063000	11,132146	1,09
8	9949,03	97,6	630,00	0,063000	15,792114	1,55
9	9174,31	90,0	630,00	0,063000	14,562400	1,43
10	7461,77	73,2	630,00	0,063000	11,844085	1,16
11	6350,66	62,3	630,00	0,063000	10,080417	0,99
12	7563,71	74,2	630,00	0,063000	12,005890	1,18
13	4230,38	41,5	630,00	0,063000	6,714884	0,66
14	7145,77	70,1	630,00	0,063000	11,342491	1,11
15	4250,76	41,7	630,00	0,063000	6,747245	0,66
16	7155,96	70,2	630,00	0,063000	11,358672	1,11
17	6901,12	67,7	630,00	0,063000	10,954161	1,07
18	6839,96	67,1	630,00	0,063000	10,857078	1,07
19	7003,06	68,7	630,00	0,063000	11,115965	1,09
20	6269,11	61,5	630,00	0,063000	9,950973	0,98
21	8562,69	84,0	630,00	0,063000	13,591573	1,33
22	8460,75	83,0	630,00	0,063000	13,429769	1,32
23	8460,75	83,0	630,00	0,063000	13,429769	1,32
24	5107,03	50,1	630,00	0,063000	8,106403	0,80
25	11223,24	110,1	630,00	0,063000	17,814669	1,75
26	6799,18	66,7	630,00	0,063000	10,792356	1,06
27	7390,42	72,5	630,00	0,063000	11,730822	1,15
28	3741,08	36,7	630,00	0,063000	5,938223	0,58
29	8939,86	87,7	630,00	0,063000	14,190250	1,39
30	10356,78	101,6	630,00	0,063000	16,439331	1,61

Tabla 26. Esfuerzo De Compresión En Muretes Con Ladrillo.
Fuente: Propia

De otro lado, a continuación, la Tabla No. 27, se reflejará los resultados de carga y los cálculos de esfuerzo que se obtuvieron con el ensayo usando los muretes con botellas.

N° Muro	Carga (Kg)	Carga (KN)	Area (cm ²)	Area (m ²)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Esfuerzo (Mpa)
1	5759,43	56,50	1308,97	0,13	4,40	0,43
2	6544,34	64,20	1297,78	0,13	5,04	0,49
3	6320,08	62,00	1326,24	0,13	4,77	0,47
4	7716,62	75,70	1366,08	0,14	5,65	0,55
5	6014,27	59,00	1321,30	0,13	4,55	0,45
6	7492,35	73,50	1331,00	0,13	5,63	0,55
7	6574,92	64,50	1313,25	0,13	5,01	0,49
8	5657,49	55,50	1406,82	0,14	4,02	0,39
9	6269,11	61,50	1346,48	0,13	4,66	0,46
10	6472,99	63,50	1350,62	0,14	4,79	0,47
11	10163,10	99,70	1317,69	0,13	7,71	0,76
12	7492,35	73,50	1315,20	0,13	5,70	0,56
13	6289,50	61,70	1339,07	0,13	4,70	0,46
14	7003,06	68,70	1318,40	0,13	5,31	0,52
15	6697,25	65,70	1331,00	0,13	5,03	0,49
16	7033,64	69,00	1343,02	0,13	5,24	0,51
17	5677,88	55,70	1348,51	0,13	4,21	0,41
18	6340,47	62,20	1332,39	0,13	4,76	0,47
19	6799,18	66,70	1317,60	0,13	5,16	0,51
20	4760,45	46,70	1319,50	0,13	3,61	0,35
21	5759,43	56,50	1308,97	0,13	4,40	0,43
22	6544,34	64,20	1297,78	0,13	5,04	0,49
23	6320,08	62,00	1326,24	0,13	4,77	0,47
24	7716,62	75,70	1366,08	0,14	5,65	0,55
25	6014,27	59,00	1321,30	0,13	4,55	0,45
26	7492,35	73,50	1331,00	0,13	5,63	0,55
27	6574,92	64,50	1313,25	0,13	5,01	0,49
28	5657,49	55,50	1406,82	0,14	4,02	0,39
29	6269,11	61,50	1346,48	0,13	4,66	0,46
30	6472,99	63,50	1350,62	0,14	4,79	0,47

Tabla 27. Esfuerzo De Compresión En Muretes Con Botellas.

Fuente: Propia

La norma NTC 4205, estipula que la resistencia mínima a la compresión de muros con ladrillo de hueco horizontal no debe ser inferior a 3.0MPa; y de

acuerdo a los valores obtenidos en las tablas Nos. 26 y 27, ningún tipo de muro cumple con dicho requerimiento.

Cabe resaltar que en el momento del ensayo de compresión en los muros con botellas se tomo como valor de la carga el primero en mostrar una caída, pero el muro después de un tiempo siguió soportando hasta llegar casi tres veces el valor inicial, a diferencia de los muros convencionales el valor de la carga es el mismo de falla. Un ejemplo de esto sería tomando el valor promedio de la carga ($P=64,7\text{KN}$) e incrementar el valor a $161,75\text{KN}$ que sería 2,5 veces mas, y con una área de sección de $0,1296\text{m}^2$ calcular el esfuerzo, con esto, el esfuerzo a compresión sería $1,25\text{MPa}$ lo cual muestra un valor más cercano al de los muros tradicionales.

La siguiente gráfica, muestra el comportamiento mecánico esfuerzo Vs deformación de los muros con botellas plásticas, donde se observa claramente una similitud a los muros con ladrillo.

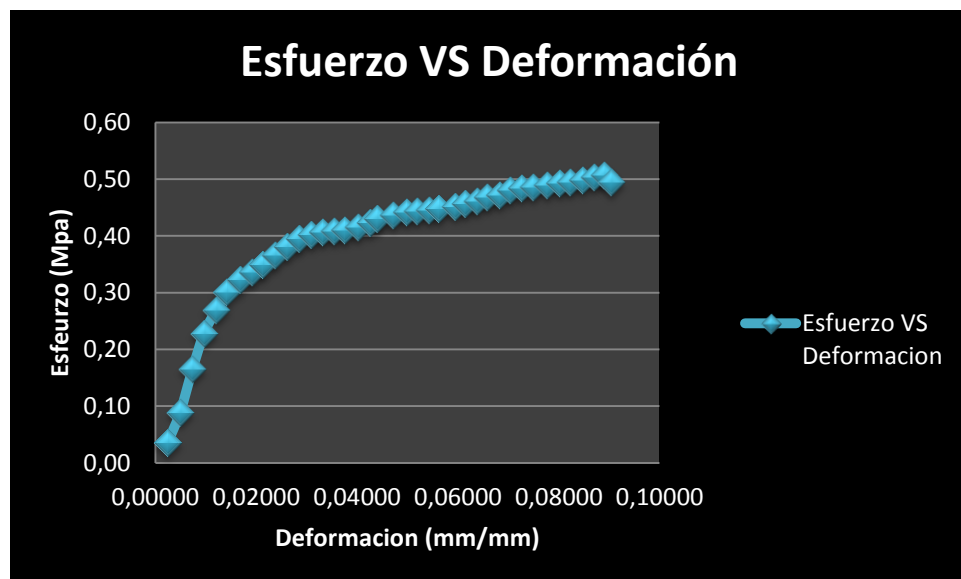


Figura 30. Esfuerzo Vs Deformación De Muros Con Botellas.
Fuente: Propia

De acuerdo con el análisis estadístico descriptivo que se realizó, muestra que los muros con botellas plásticas tiene una mayor distribución a diferencia de los muros tradicionales. Del análisis estadístico produjo una media de 1,19 y una desviación estándar de 0,14 en los muros convencionales la media fue de 0,50 y la desviación estándar 0,09 en los de material reciclable. Esto indica que los muros con botellas plásticas tiene un comportamiento muy similar en cada uno de los

especímenes elaborados mientras que los muros con ladrillos se encuentran muy dispersos.

Según el análisis estadístico también podemos decir que los muros con ladrillo, no tiene una distribución definida, es muy variable; caso contrario pasa con los muros con materiales reciclables, ya que muestra una distribución mas definida

Grafica comparativa de la resistencia de los dos sistemas en estudio.

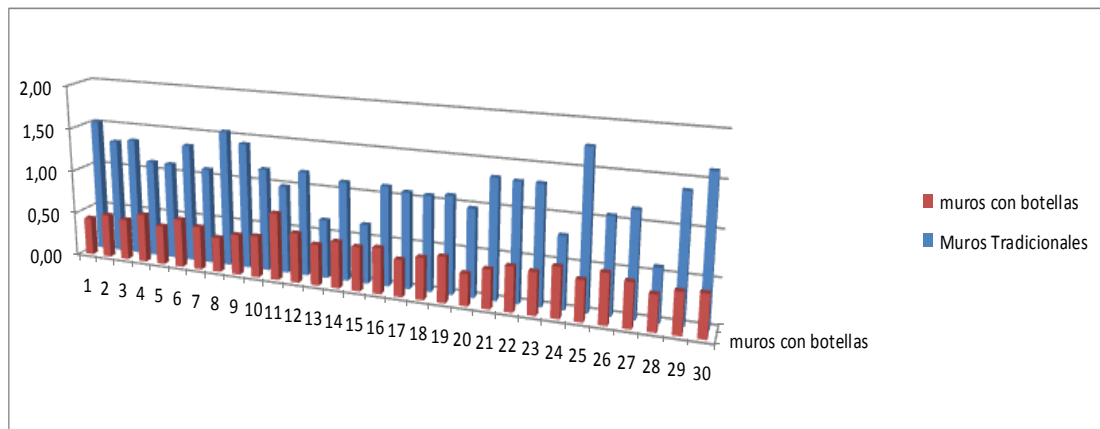


Figura 31. Resistencia de los dos sistemas construidos.
Fuente: Propia

8. CONCLUSIONES

Como se pudo observar de la información arrojada en las tablas referenciadas, la resistencia máxima a la compresión que se obtuvo en el laboratorio, en los dos tipos de muros – con ladrillo convencional y con material reciclable - fue de 1,75 MPa y 0,76 Mpa respectivamente saltando a la vista un mayor resultado del comportamiento mecánico de los muros tradicionales.

De otro lado, claramente de los resultados obtenidos del ensayo, se puede extraer que el comportamiento esfuerzo - deformación de los muros con botellas y/o material reciclable, es muy similar a los de tipo tradicional.

De acuerdo a lo que se pudo observar en el desarrollo de proyecto, en las construcciones elaboradas con material reciclable, pueden reducirse costos aproximados de un 22.35%; toda vez que en este tipo de obras, puede hacerse una reducción en la mano de obra, siendo este el principal factor responsable del incremento del valor de la construcción.

A su vez, quedó claro que cuando de cuidar el ambiente se trata, la elaboración de proyectos con botellas de plástico, es una excelente manera de contribuir con esto, puesto que con la obra, se reduce al planeta, una gran cantidad de elementos, que tardan cientos de años en desintegrarse., dándole una debida utilidad.

De otro lado, el desarrollo del presente proyecto, las construcciones a base de material reciclable y/o con botellas de plástico, son más prácticas que las de carácter tradicional, puesto que requieren mano de obra menos calificada; por lo que al momento de elaborarlas, cualquier tipo de persona puede contribuir, sin ningún tipo de discriminación de genero, ni edad; lo que permite, que si se emplea este método, mas personas con bajos recursos, puedan tener posibilidades de acceder a sus viviendas, aportando su apoyo y el de la familia en la mano de obra, para así reducir costos, en la obtención de sus hogar.

Igualmente, se torna alcanzable para todo tipo de personas, por cuanto hay una mayor posibilidad de adquirir los materiales empleados; factor este, que disminuye aún más costos.

9. RECOMENDACIONES

Una vez culminada la investigación evaluativa del comportamiento mecánico de la mampostería con material reciclable, se hace imperioso trascender el estudio al aspecto ambiental que hoy requiere de un fortalecimiento en distintos sectores, es por ello, que los proyectos civiles que se enmarquen en la salvaguarda del medio ambiente deben ser respaldados significativamente por los entes académicos e investigativos.

Así mismo, con el propósito de evidenciar el comportamiento del material frente a otro tipo de variables, resulta ineludible concentrar y confrontar la información recopilada en un análisis estadístico más profundo.

Finalmente, en pro de la investigación en el campo de la construcción sostenible se propone extender a otro nivel académico el estudio presentado, con énfasis en la obtención de nuevas variables tales como: resistencia a la comprensión

10. BIBLIOGRAFÍA

PONS, Gabriel. La tierra como material de construcción: Introducción. San Salvador: sn, 2001.

DAVILA, Sandra y PUENTES Jorge. Determinación y análisis de la caracterización de los diferentes tipos de tierra utilizados en el proceso constructivo con tapia pisada por medio de ensayos geomecánicos y mineralógicos. Bucaramanga, 2003, 36 p Tesis (Ingeniería Civil). Universidad Pontificia Bolivariana. Escuela de Ingenierías y Administración. Facultad de Ingeniería Civil.

RED IBEROAMERICANA PROTERRA. Terminología de arquitectura de terra. [base de datos en línea]. [Consultado 15 Nov. 2011]. Disponible en <<http://redproterra.org/>>.

RIVEROS BOLAÑOS, Santiago. El uso masivo de la tierra como material de construcción en Colombia. En: Apuntes. Vol. 20, Núm. 2 (2007)

CONCIENCIA AMBIENTAL. Campaña de conciencia ambiental. [base de datos en línea]. [Consultado 19 Nov. 2011]. Disponible en <<http://www.concienciaambiental.com.mx/cca/pet.html>>.

BOWLES, Joseph. Manual De Laboratorio De Laboratorio De Suelos En Ingeniería Civil. Editorial: McGraw – Hill. 1978

ORTIZ, Luis y RAMÍREZ Edwin. Validación del refrentado en unidades de mampostería utilizando porcentajes de mezcla yeso - caolín (Fase I). Bucaramanga, 2008. Tesis (Ingeniería Civil). Universidad Pontificia Bolivariana. Escuela de Ingenierías y Administración. Facultad de Ingeniería Civil.

NORMA TECNICA COLOMBIANA. Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos. Bogotá: ICONTEC 2000 (NTC 4205).

CUADROS, Darío y MESA Gloria. Análisis económico de construcción de muros con material reciclado. Bucaramanga, 2011. Tesis (Especialización en gerencia e interventoría de obras civiles). Universidad Pontificia Bolivariana. Escuela de Ingenierías y Administración. Facultad de Ingeniería Civil.

ECO – TEC SOLUCIONES AMBIENTALES. Proyectos realizados. [en línea]. [Consultado 3 Jun. 2011]. Disponible en < <http://www.eco-tecnologia.com>>.