

**ANÁLISIS ECONÓMICO DE CONSTRUCCIÓN DE MUROS CON MATERIAL
RECICLADO**

**ARQ. DAIRO CUADRO BENÍTEZ
ING. GLORIA PAOLA MESA ALBARRACÍN**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA E INTERVENTORÍA
DE OBRAS CIVILES
2011**

**ANÁLISIS ECONÓMICO DE CONSTRUCCIÓN DE MUROS CON MATERIAL
RECICLADO**

**ARQ. DAIRO CUADRO BENÍTEZ
ING. GLORIA PAOLA MESA ALBARRACÍN**

**Monografía como requisito para optar
al título de Especialistas en Gerencia e Interventoría
de Obras Civiles**

**Director:
CLAUDIA PATRICIA RETAMOSO LLAMAS
M.I.C. Ingeniera Civil**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA E INTERVENTORÍA
DE OBRAS CIVILES
2011**

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bucaramanga, Marzo de 2011.

*El apoyo diario de mis padres que lograron que Alcanzara mis metas **Orlando Cuadro Enciso** y **Sixta Benítez**, a mis hermanas **Yurany Cuadro Benítez** y **Nayra Milena Martínez Benítez**, por el apoyo incondicional y las buenas energías. A mis amigos **Samir Quintero**, **Gustavo López**, **Rito Antonio**, **Juan Sebastián Reyes**, **Jorge Andrés Gonzales**, a mi novia por el apoyo incondicional. Le doy gracias a Dios por ayudarme a alcanzar una meta más en mi vida por conocer personas en esta especialización que me regalaron conocimientos, aportes y lindas amistades.*

Dairo Cuadro Benítez

A mi mami **Gloria Inés Albarracín** (Q.E.P.D), que desde hace 14 años ha sido mi ángel celestial que siempre está conmigo, a mi padre **Néstor Mesa Duarte**, que con su apoyo siempre ha logrado que culmine mis metas y siempre me da las energías para crecer como profesional. A mi tía **Esperanza Albarracín**, y a mis dos hermanos **Yuliana Carolina** y **Néstor Julián** por el soporte incondicional que me brindan. A mi novio **Fabián José Romero**, por creer en mí y alimentar día a día ese amor que me inspira para alcanzar mis metas. A todos los compañeros de la especialización en especial a **Helena Serrano**, por haber descubierto en ella una verdadera amistad.

Gloria Paola Mesa Albarracín

AGRADECIMIENTOS

A nuestra Alma Mater, Universidad Pontificia Bolivariana.

A nuestra directora de trabajo de grado, mentora y amiga y de quien recibimos todo el apoyo necesario para realizar este proyecto la MIC. Claudia Patricia Retamoso Llamas, con sus conocimientos y experiencia facilitó la construcción de esta monografía para optar el título de Especialistas en Gerencia e Interventoría de Obras Civiles.

Al señor Vicente Páez, auxiliar de laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Pontificia Bolivariana, quien con su apoyo práctico en la ejecución de las pruebas de laboratorio, ayudo a la obtención de todos los resultados de estos ensayos.

Por último a todos los que indirectamente colaboraron con su apoyo, Gracias.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	7
1. OBJETIVOS.....	9
1.1. Objetivo General.....	9
1.2. Objetivos Específicos.....	9
2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	10
3. JUSTIFICACIÓN.....	11
4. METODOLOGÍA	12
5. MARCO TEÓRICO.	14
5.1. LA IMPORTANCIA DE LAS CONSTRUCCIONES SOSTENIBLES.	14
5.2. ARQUITECTURA SOSTENIBLE.	14
5.3. CONSTRUCCIÓN CON BOTELLAS PLÁSTICAS EN MUROS DIVISORIOS. REFERENTE HISTÓRICO.	15
5.3.1. Obras en Colombia.	17
5.4. EL TIEMPO EN LA CONSTRUCCIÓN.	19
5.5. CONSTRUCCIONES VERDES.	20
5.6. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS.....	21
5.6.1. Gravas o Arenas. GW,GP,SW,SP	23
5.6.2. Gravas y Arenas. GM, GC, SM,SC.....	23
5.6.3. Las Gravas y Arenas. GW-GC, SW-SC, GP-GC, SP-SC, GW-GM, SW-SM, GP-GM , SP-SM.	23
5.7. Suelos de grano fino (mas del 50% pasa el tamiz No.200). ML, OL,CL	23
5.7.1. Suelos de grano fino son. MH, CH,OH	24
6. ENSAYOS DE LABORATORIO.....	25
6.1. LÍMITES DE PLASTICIDAD Y HUMEDAD NATURAL.	26
6.1.1. Límite Líquido y Humedad Natural.....	26
6.1.2. Límite Plástico e índice de plasticidad.	28
6.1.3. Resultados de Laboratorio para Límites de Plasticidad.	29
6.2. GRANULOMETRÍA.....	30
6.3. ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CUBOS DE MATERIAL AGLOMERANTE MUROS CON BOTELLAS PET.....	34
7. RESULTADOS DE ESFUERZOS EN MUROS CON MATERIAL RECICLADO.....	38
7.1. DISEÑO GRÁFICO DE LA DISTRIBUCIÓN DE BOTELLAS EN LOS MURETES A FALLAR EN EL LABORATORIO.	39
7.2. LLENADO DE BOTELLAS CON ARENA.	40
7.3. CONSTRUCCIÓN DE MURETES.	40
7.4. PRUEBA DE COMPRESIÓN DE MURETES.	40
8. ANÁLISIS ECONÓMICO DE MUROS DE MATERIAL RECICLADO VS MUROS DE MAMPOSTERÍA.	46
8.1. TIEMPO DE CONSTRUCCIÓN DE MUROS CON MATERIAL RECICLADO.....	46
8.2. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS.	47
8.2.1. Datos Iniciales del Modelo.	47
8.2.2. Actividades a Realizar.	48

8.3.	COMPARACIÓN DE LOS PRECIOS UNITARIOS POR PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE MUROS EN MATERIAL RECICLADO CON BOTELLAS PET Y MUROS EN MAMPOSTERÍA.	51
9.	CONCLUSIONES	53
10.	RECOMENDACIONES.....	54
11.	BIBLIOGRAFÍA.....	55

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Muestras a desarrollar para la pega del muro con material reciclado.	12
Tabla 2.	Sistema unificado de clasificación de suelos.	22
Tabla 3.	Límites de Plasticidad	29
Tabla 4.	Resultados granulometría por mallas	32
Tabla 5.	Tolerancias en la Edad del Cubo de Ensayo.	35
Tabla 6.	Muestras a desarrollar para la pega del muro con material reciclado.	35
Tabla 7.	Resultados a la compresión de muestras	37
Tabla 8.	Cantidad de Muestras de Laboratorio	39
Tabla 9.	Tiempo de Construcción de Muros con Material Reciclado del Proyecto.....	40
Tabla 10.	Esfuerzos de Compresión en Muretes.....	42
Tabla 11.	Esfuerzos Compresión Muretes con ladrillo H – 10.	43
Tabla 12.	Tiempo de Construcción de Muros con Material Reciclado	46
Tabla 13.	Análisis Unitario de Construcción de un metro cuadrado de Muro.	48
Tabla 14.	Análisis rentabilidad Económica de un metro cuadrado de muro con material reciclado con Botellas PET.....	50
Tabla 15.	Análisis rentabilidad económica de la construcción de un muro con mampostería convencional.	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Construcción columnas con botellas plásticas.....	16
Figura 2.	Llenado de las botellas plásticas	16
Figura 3.	Vivienda construida con botellas plásticas.....	17
Figura 4.	Amarre con nylon de botellas plásticas formando una columna. .	17
Figura 5.	Proceso Construcción del Muro – Autoconstrucción.	18
Figura 6.	Muro Terminado.	18
Figura 7.	Definición de Clasificación de Suelos.	22
Figura 8.	Plasticidad para la Clasificación Unificada de Suelos.....	24
Figura 9.	Resumen Gráfico Procedimientos Ensayos de Laboratorio.....	25
Figura 10.	Máquina Casagrande.....	26
Figura 11.	Registro Fotográfico del procedimiento de laboratorio de Límite Líquido.	27
Figura 12.	Realización de Muestras para el Límite Plástico.	29
Figura 13.	Límite Líquido	30
Figura 14.	Gráfica de Granulometría.	32
Figura 15.	Procedimiento de Granulometría por Mallas.....	33
Figura 16.	Orden de Compactación de Capas para Moldes de Compresión.	34
Figura 17.	Procedimiento Fotográfico Elaboración de Muestras Material Aglomerante.	36
Figura 18.	Procedimiento Fotográfico de Construcción de Muros con Botellas Recicladas.	38
Figura 19.	Distribución de Botellas en Muros	39
Figura 20.	Pruebas a compresión	41
Figura 21.	Comparación de Esfuerzos de Compresión entre Muretes contruidos con Material Reciclado y Mampostería Convencional de Ladrillo H – 10.....	44
Figura 22.	Procedimiento de Ensayo de Muretes con Material Reciclado sometidos a Compresión.	45

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TÍTULO:	ANÁLISIS ECONÓMICO DE CONSTRUCCIÓN DE MUROS CON MATERIAL RECICLADO
AUTOR(ES):	ING. GLORIA PAOLA MESA ALBARRACÍN ARQ. DAIRO CUADRO BENÍTEZ
FACULTAD:	Especialización en Gerencia e Interventoría de Obras Civiles.
DIRECTOR(A):	Claudia Patricia Retamoso Llamas

RESUMEN

Es un hecho conocido, que desde el punto de vista cultural, se encuentra permanentemente con un sentimiento de rechazo hacia todo lo relacionado con la basura y un progresivo alejamiento con respecto a los residuos en relación con la convivencia y actividades cotidianas. Por ello mismo, los vertederos y las incineradoras se han convertido en el sistema más usado a la hora de manejar los residuos de los núcleos urbanos. No se debe olvidar que, ya por más de treinta años se viene observando, con mayor o menor intensidad, una crisis ecológica, escasez de recursos y problemas ambientales globales. El objetivo que se trazó para este proyecto es identificar factibilidades en cuanto a datos técnicos civiles y arquitectónicos para la construcción con materiales reciclables como lo son las botellas plásticas; que tan aptos son estos materiales específicamente para soportar carga axial en los muros de edificaciones, y observando los resultados obtenidos, se puede recomendar esta solución para la construcción de espacios habitacionales para personas de bajos recursos. Que dentro de las funciones como Gerentes de proyectos de acuerdo con las conclusiones obtenidas de la investigación y pruebas de laboratorio, comparación de los procedimientos, rendimientos y tiempos, se pueden establecer las especificaciones definitivas que se consideren más convenientes dada la aceptabilidad en el mercado pero siempre dentro de los costos presupuestados.

PALABRAS CLAVES: Residuos de Núcleos Urbanos. Crisis Ecológica. Recursos Sostenibles. Bio- construcción. Resistencia Compresión. Reciclaje. Construcción.

MONOGRAPH GENERAL SUMMARY

TITLE: ECONOMIC ANALYSIS OF CONSTRUCTION APPLIED TO RECYCLED WALLS.

AUTHOR(S): ING. GLORIA PAOLA MESA ALBARRACÍN ARQ. DAIRO CUADRO BENÍTEZ

FACULTY: Especialización en Gerencia e Interventoría de Obras Civiles.

DIRECTOR): Claudia Patricia Retamoso Llamas

ABSTRACT

It is a fact known, that since the cultural point, is a permanently with a feeling of rejection about all the related whit the garbage and a progressive distance about the waste in a relation whit the living and daily activities. As result, the pouring and incinerators have become in the most system used at the moment to use the waste of the urban cores. The objective of this project is to identify feasibilities about civil and architectural technical data for the construction using recyclable materials like the plastic bottles; how useful are these materials specifically to support axial load on the walls of buildings, and observing the results, can recommend this solution for the construction of living spaces for low-income people. A function as Project Managers in agreement with the conclusions of the investigation and laboratory tests, comparison of procedures, performance and time, can to create the definitive specification based in the market acceptability, but always in accordance to the budget.

KEY WORDS: Urban's waste. Ecological Crisis. Sosteinable Resources. Bio-construction. Compressive Strenght. Recycling. Construction.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo económico y de la sociedad de consumo implica una gran producción de residuos sólidos en una localidad. Hecho que se constituye en un serio problema ambiental si no se cuenta con la infraestructura adecuada para su gestión integral.

En la vida moderna el plástico ha constituido un fenómeno de indudable trascendencia. Hoy en día el hombre vive rodeado de objetos plásticos que en siglos anteriores no eran necesarios para la vida cotidiana. Los plásticos se han fabricado para satisfacer las demandas de una gran variedad de usos, dando lugar a una vasta industria donde la civilización debería llamarse la civilización del plástico, debido al papel determinante que ha desempeñado este material en su desarrollo, en el mejoramiento de las condiciones de la vida del hombre y el acelerado crecimiento de la ciencia y la tecnología.

En general, las personas tienen muy poco conocimiento sobre lo que es un plástico, cómo se obtiene, cuáles son los tipos de plástico y sus aplicaciones, y cuáles son los procesos de transformación del mismo. Estas informaciones son importantes para quienes trabajan en la comercialización de plásticos, e industrias de producción o transformación del plástico, o apenas curiosos por el asunto. Es fácil percibir cómo los desechos plásticos, por ejemplo de envases de líquidos como el aceite de cocina, no son susceptibles de asimilarse de nuevo en la naturaleza, porque su material tarda aproximadamente unos 180 años en degradarse. Ante esta realidad, se ha establecido el reciclado de tales productos de plástico, que ha consistido básicamente en colectarlos, limpiarlos, seleccionarlos por tipo de material y fundirlos de nuevo para usarlos como materia prima adicional, alternativa o sustituta para el moldeado de otros productos. De esta forma la humanidad ha encontrado una forma adecuada para evitar la contaminación de productos que por su composición, materiales o componentes, no son fáciles de desechar de forma convencional.

Un buen proceso de reciclaje es capaz de generar ingresos. Por lo anteriormente expuesto, se hace ineludible mejorar y establecer nuevas tecnologías en cuanto a los procesos de recuperación de plásticos y buscar solución a este problema tan nocivo para la sociedad y que día a día va en aumento deteriorando al medio ambiente. Cabe destacar que el plástico es una sustancia muy importante para el desarrollo de la industria ya que su material sintético o natural que contiene como ingredientes esenciales sustancias orgánicas de elevada masa molecular llamada polímero.

Así mismo surge como problema asociado la contaminación ambiental, muchas veces producto del desecho de los plásticos de alta y baja densidad. Actualmente estos plásticos son muy utilizados a nivel comercial como envases

o envolturas, de sustancias o artículos alimenticios los cuales son desechados al medio ambiente luego de su utilización. Como es evidente el desecho de estos plásticos al ambiente trae graves consecuencias a las comunidades como lo son las enfermedades.

De tal forma surge como necesidad en este proyecto mostrar una parte importante; y concientizar a las personas que este material aunque es un gran potencial de contaminación puede ser parte de una solución de espacios habitaciones, Ya que puede convertirse en un excelente material de construcción que genere mejoramiento en la calidad de vida y confort habitacional para las personas de bajos recursos.

1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo General.

Realizar un análisis económico de la construcción de muros con materiales reciclados y observar su comportamiento de resistencia a la compresión.

1.2. Objetivos Específicos.

Identificar los materiales que se van a disponer a utilizar para la elaboración del proyecto.

Construir los muros con material reciclado para poder realizar las pruebas de laboratorio y comparar estos resultados con los obtenidos con ensayos de mampostería convencional en compresión, con datos de trabajos de grado anteriores.

Analizar los procedimientos y tiempos de construcción de los muros con material reciclado.

Analizar la viabilidad económica de la construcción con este tipo de material.
Determinar la resistencia a la compresión de muros construidos con material reciclado.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Se pretende establecer el costo de la construcción de muros divisorios a base de materiales reciclados. La idea es evaluar la factibilidad para la comunidad de cualquier estrato de construir con materiales disponibles, reciclados, por ejemplo bolsas plásticas, botellas de vidrio, botellas plásticas, cartón etc., e identificar el beneficio económico que el aprovechamiento de estos residuos puede proporcionar a la construcción. La reutilización de residuos sólidos aporta a la mitigación de impactos ambientales negativos generados por la disposición inadecuada. Adicionalmente, se observará cual es el comportamiento de estos elementos a esfuerzos de compresión.

También despertar inquietudes relacionadas con el interés de los constructores en cambiar el sistema constructivo. ¿Sería importante para la construcción actual? ¿Las constructoras de hoy lo tomarían como modelo de construcciones nuevas? ¿Los clientes y/o personas les gustaría utilizar este tipo de construcción?

3. JUSTIFICACIÓN

La sociedad está generando un sin número de desechos que se pueden aprovechar para realizar construcciones nuevas y elaborarlas estéticamente para cualquier estrato. Esto sería una gran ayuda para el planeta, aprovechar algunos de los productos que se desechan para construir, contribuir social, económica y culturalmente con un mejor ambiente. En este caso El reciclaje del plástico cada día que pasa es más importante en el mercado de todo el mundo existen cincuenta diferentes formas de plástico. El polietileno, plástico empleado para envases de refresco es uno de los tipos de plástico reciclado en mayor cantidad.

La separación de plásticos diferentes es costosa, ya que muchos productos tienen de cinco a seis capas de plásticos distintos y para obtener un nuevo producto, de alta calidad, es necesario utilizar cada tipo por separado. Cada día son descubiertas nuevas aplicaciones para el plástico reciclado: envases para refrescos, ganchos para colgar ropa, juguetes etc.

se pretende manejar el plástico (PET) en este caso como el recurso principal para una nueva idea de sistema constructivo con un producto que no solo innove si no que cumple las características y requisitos de durabilidad y resistencia que brinde una construcción o espacio habitacional.

¿Cómo se puede beneficiar la sociedad?

Este tipo de construcciones pueden generar que día a día las personas conozcan que existen variantes para solucionar el problema de la vivienda esperar que pronto puedan ponerse en marcha y en forma masiva, por iniciativa de los mismos constructores y personas naturales.

¿Cómo se puede beneficiar económicamente?

Los bajos costos son evidentes puesto que los materiales provienen de productos ya consumidos y ahora reciclados y en cuanto a la mano de obra tenga menos costo de construcción la posibilidad de la autoconstrucción, es decir, que el usuario pueda hacer una construcción autosostenible.

¿Existe un beneficio cultural?

Se debe entender que el culturizar a las personas que viven en un mismo sector, ciudad o país, brinda la posibilidad de evolucionar y desarrollar conceptos distintos de convivencia; generando soluciones para la problemática social que se presenta en personas de bajos y medianos recursos. Se considera que este proyecto sea un beneficio a esta problemática marcada en el país dando una alternativa de solución a la vivienda.

4. METODOLOGÍA

Realizar la granulometría correspondiente al suelo utilizado en el material aglomerante de las botellas PET con el cual se van a realizar los muros con material reciclado.

Realizar pruebas de compresión simple a tres diferentes porcentajes de dosificación de mezcla suelo-cemento, para obtener los esfuerzos independientes del material de relleno. En la Tabla 1, se muestra la distribución de los materiales.

Tabla 1. Muestras a desarrollar para la pega del muro con material reciclado.

Suelo – Cemento (% - %)	No Muestras
85 – 15	9
83 – 17	9
80 – 20	9

Las normas para la elaboración de los cubos de mezclas, se rigen por la Norma Técnica Colombiana NTC 220.

Posteriormente de obtener las muestras, se evalúa el comportamiento de las mezclas de suelo- cemento y se determina cual es el porcentaje de mezcla más favorable para utilizarse como masa aglomerante del muro con botellas recicladas.

Inmediatamente de tener estos resultados, se construyen 12 muros con botellas plásticas de 40cm x 40cm de sección transversal, teniendo en cuenta los siguientes pasos:

- Manualmente se rellena las botellas con arena.
- Se realiza la distribución de botellas en el muro
- Se adiciona el material aglomerante, con el cual se obtuvo mejor resistencia de la mezcla suelo-cemento.

Se lleva a cabo el proceso de fraguado y curado de los muros durante 28 días, tiempo en el cual alcanza su máxima resistencia el mortero.

Realizar las pruebas a compresión de los muros con material reciclado, en la Máquina Universal de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.

Realizar un análisis comparativo entre los resultados obtenidos de las pruebas a compresión para muros construidos con material reciclado, contra resultados a compresión de muros en mampostería convencional obtenidos con Trabajos de Grado anteriores y observar su comportamiento.

Realizar un análisis económico en la construcción de muros divisorios contruidos con material reciclado, de tal manera que se observe que tan viable es construir un muro con material reciclado, esto con el fin de mejorar las construcciones futuras e innovar en los procesos constructivos llevados a cabo hasta el momento.

5. MARCO TEÓRICO.

5.1. LA IMPORTANCIA DE LAS CONSTRUCCIONES SOSTENIBLES.

Muchos se preguntaran cómo rescatar al mundo de la contaminación ya que se está pasando por cambios que están afectando el entorno. Pero hay muchas soluciones que se pueden dar, entre estas reutilizar los materiales de desecho, ya que existen en abundancia. Hay mucha basura reutilizable que se puede analizar y estudiar sus componentes para aplicar en la industria de la construcción, de tal manera que se adapte a esta tecnología, así evitando que el planeta sufra por los errores humanos. En el artículo que se presenta a continuación, se observa este problema.

la creciente conciencia sobre el impacto de las actividades humana en el entorno, a raíz de la evidencias innegables del cambio climático, el agotamiento de algunos recursos no renovables y la desaparición de especies de plantas y animales, ha volcado la atención hacia el concepto de desarrollo sostenible.¹

El sector de la construcción por encima de la industria y el transporte, es una de las actividades económicas más contaminantes, pues las edificaciones utilizan cantidades importantes de recursos naturales y durante su operación emiten altos niveles de dióxido de carbono, a causa de la gran concentración de personas en su interior, así como de los implementos que estas requieren en su diario vivir.

La construcción sostenible es, sin lugar a dudas, una tendencia novedosa en un mercado que debe innovarse constantemente, esta práctica, entendida en conjunto como planeación, diseño, construcción, operación y habitación de proyectos integrales de construcción que generan un impacto positivo para el ambiente, los usuarios y la comunidad, ha marcado nuevos espacios de generación de valor.²

Colombia sobre sale como pionera en construcción sostenible, varios proyectos han ganado premios internacionales, en los cuales se destacan, la innovación de materiales, el uso de la guadua y otras fibras naturales, así como en la incorporación de diseño bioclimático y el uso eficiente de aguas en las edificaciones.³

5.2. ARQUITECTURA SOSTENIBLE.

La arquitectura sostenible busca incluir y articular eficientemente elementos innovadores en el diseño de las edificaciones, con el fin de aprovechar al máximo los ciclos de luz solar y los vientos en un entorno particular. De igual manera, apunta a hacer un uso eficiente del terreno, de la energía a partir de

¹ GAMBOA, Cristian. MEDINA, María del Pilar. No todo lo que brilla es verde. En: Construcción Sostenible. Construdata. Diciembre 2009, Junio 2010, No.1,p.32-33

² Ibid

³ Ibid

sistemas de reciclaje del aire y de la recolección de aguas lluvias para sustituir elementos que no requieren agua potable, como inodoros o duchas.⁴

Con el fin de identificar claramente si una edificación es realmente sostenible, la certificación LEED (Liderazgo en Energía y Diseño Medioambiental, por sus siglas en inglés) es una herramienta aplicada en más de 100 países, la cual permite monitorear todo el ciclo de un proyecto inmobiliario.⁵

En Colombia es cada vez más evidente la voluntad de los empresarios del sector por desarrollar proyectos comprometidos con el uso responsable de los recursos y la potencialización de los mismos.⁶

5.3. CONSTRUCCIÓN CON BOTELLAS PLÁSTICAS EN MUROS DIVISORIOS. REFERENTE HISTÓRICO.

La iniciativa que surgió hace siete años en Honduras, ya se ha propagado en Bolivia, Brasil, Argentina y Colombia. Sus promotores argumentan que al dejar de percibir los plásticos como inservibles se genera un mayor cuidado del medio ambiente y se promueve el desarrollo social de las clases menos favorecidas, ya que pueden acceder a vivienda propia a bajos costos.

Gracias al desarrollo de esta forma alternativa de edificar, la basura generada por las botellas está dejando de ser vista como una problemática para ser considerada una especie de *ladrillo* duradero y económico. Además de los recipientes plásticos desechables se utiliza tierra y escombros. El proceso consiste en tomar las botellas, llenarlas con arena, sellarlas y luego pegarlas con una mezcla hecha a base de tierra, arcilla, aserrín y un poco de cemento para proporcionar mayor firmeza y duración.

Bancos para paraderos de buses también han sido contruidos con botellas de plástico como material principal. El proyecto, en el que participaron personas discapacitadas, pretendía demostrar que muchos tipos de infraestructuras urbanas pueden ser contruidas usando este perdurable elemento.

Desde el punto de vista ecológico, se considera que la medida es de beneficio para el medio ambiente porque a través de ella es posible darle reuso a los elementos que se consideran desechos y mostrarle a la que gente que sí es posible reducir los niveles de basura.⁷

En la Figura 1, se observa la construcción de una columna de una casa con botellas y con el aglomerante. No se puede establecer si esta columna es

⁴ GAMBOA, Cristian. MEDINA, María del Pilar. Buscando el verde perdido. En: Construcción Sostenible. Construdata. Diciembre 2009, Junio 2010, no.1,p.34

⁵Ibid.

⁶ Ibid.

⁷ CÁRDENAS, Mery. Construcción con botellas plásticas desechables [on line].[cited 12 Nov., 2010]. Avalaible from Internet: <http://construccionconbotellas.blogspot.com/2008/11/construccin-con-botellas-plsticas.html>

sismo resistente, por cuanto no se han realizado estudios de este material como estructura principal de una edificación.



Fuente: <http://www.desechos.net/articles/17-problemas-que-se-vuelven-soluci-n> [Consulta. 15-03-2011].

Figura 1. Construcción columnas con botellas plásticas

En la Figura 2, se observa el llenado de las botellas con arena, para ser utilizadas como material de los muros y columnas de la construcción sostenible.



Fuente: <http://www.desechos.net/articles/17-problemas-que-se-vuelven-soluci-n> [Consulta. 15-03-2011].

Figura 2. Llenado de las botellas plásticas

En la Figura 3, se observa el acabado de las viviendas, que es muy campestre y es agradable a la vista. Las botellas se observan en la fachada y se pintaron de tal manera que se acoplan con su entorno.



Fuente: <http://www.desechos.net/articles/17-problemas-que-se-vuelven-soluci-n> [Consulta. 15-03-2011].

Figura 3. Vivienda construida con botellas plásticas

En la Figura 4, se observa internamente como funciona la columna construida con las botellas recicladas, de tal manera que se amarran con una cuerda de nylon.



Fuente: <http://www.desechos.net/articles/17-problemas-que-se-vuelven-soluci-n> [Consulta. 15-03-2011].

Figura 4. Amarre con nylon de botellas plásticas formando una columna.

5.3.1. Obras en Colombia.

En Cali, al lado del Río Cauca, la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca construyó en el año 2010, un parque ecológico con botellas de plástico, escombros y tierra. El proceso que inició separando los residuos sólidos aprovechables de los no aprovechables busca disminuir el número de toneladas de residuos que llegan al relleno sanitario.

En la Figura 5, se observa la gente de la comunidad, construyendo el muro, por lo cual se conoce como una construcción sostenible, el mismo dueño del proyecto lo puede realizar, siempre y cuando tenga unos pasos técnicos de guía para poder realizar bien el proceso.



Fuente: <http://www.desechos.net/articles/17-problemas-que-se-vuelven-soluci-n> [Consulta. 15-03-2011].

Figura 5. Proceso Construcción del Muro – Autoconstrucción.

En la Figura 6, se observa el muro terminado, arquitectónicamente se observa un terminado muy agradable a la vista, que permite que la construcción este acorde con el entorno.



Fuente: <http://www.desechos.net/articles/17-problemas-que-se-vuelven-soluci-n> [Consulta. 15-03-2011].

Figura 6. Muro Terminado.

La medida es muy beneficiosa para el medio ambiente porque a través de ella es posible darle reusó a los elementos que se consideran desechos y mostrarle a la gente que sí es posible reducir los niveles de basura. No obstante, se aclaró que la construcción con este material no es tan económica como se cree. “El proceso exige mucha mano de obra, hay que moler los escombros en partículas pequeñas, cernirlas y hacer el llenado de cada una de las botellas”.

Otras obras que se han hecho en el país son un tanque de reserva de agua para 9.000 litros y una caseta de recolección para desechos sólidos en Guarne, Antioquia.⁸

5.4. EL TIEMPO EN LA CONSTRUCCIÓN.

Por su misma naturaleza, el proceso de planeación, construcción, y venta de un proyecto de construcción es relativamente lento comparando con otros procesos productivos. La mayor o menor duración de un proyecto de construcción, incluidas estas tres etapas, dependerá del tamaño del mismo, de los sistemas constructivos que se utilicen, de las condiciones de mercado y en buena parte de la disponibilidad de financiación. En el caso de Colombia, la gran mayoría de los proyectos tienen una duración total entre 12 y 24 meses, siendo el año y medio la más corriente. De estos 18 meses, 4 se requieren para hacer los planos y estudios necesarios y obtener la licencia correspondiente, 12 meses dura la construcción y 2 meses adicionales para terminar ventas.⁹

Los tiempos citados pueden variar notablemente por los factores mencionados, pero lo que importa aquí es resaltar que la duración de un proyecto es cosa de varios meses y que por lo tanto la inversión requerida se distribuirá durante gran parte de la vida del proyecto.¹⁰

Por lo tanto, el análisis financiero debe tener en cuenta este hecho y deberá ser, al igual que el proceso constructivo, de carácter eminentemente dinámico. De lo contrario, será muy cuestionable la validez de sus resultados.¹¹

Por esta razón, es necesario elaborar un programa detallado de los ingresos y egresos asociados al proyecto, utilizando la unidad de programación de se haya decidido. Para elaborar un programa deberán tenerse presente los siguientes aspectos:¹²

- Presupuesto de costos incluyendo desde la etapa de planeación hasta liquidación final de proyecto.

⁸ CÁRDENAS, Mery. Construcción con botellas plásticas desechables [on line]. [cited 12 Nov., 2010]. Available from Internet: <http://construccionconbotellas.blogspot.com/2008/11/construccion-con-botellas-plasticas.html>

⁹ TELLEZ LUNA, Miguel. Finanzas de la Construcción: El tiempo en la Construcción. Pág. 86-88. Bhandar Editores. 4ta Edición 2010.

¹⁰ Ibid

¹¹ Ibid

¹² Ibid

- El programa de avance físico de la obra.
- La situación del mercado de edificaciones que determinara la velocidad con que la demanda podrá absorber la oferta que genere el proyecto y los precios de venta.
- Las reglamentaciones vigentes que incidan en el desarrollo y duración del proyecto. Por ejemplo, licencia de construcción, permisos de ventas. Etc.
- Las posibilidades de tener financiación son determinadas no solamente por las características del proyecto y por la capacidad operativa y financiera del constructor que lo ejecutara, sino también por la situación de liquidez del sistema financiero de vivienda y las condiciones que rigen los préstamos que conceden.

Cuando se hace la programación de egresos, principalmente la relacionada con los costos de materiales y mano de obra, debe tenerse presente que su distribución en el tiempo, generalmente no corresponde exactamente con el programa de avance de obra, ya que en muchos casos podrán presentarse pago de anticipos, pagos durante la obra y pagos que podrán convenirse un tiempo después de entregada la obra.¹³

5.5. CONSTRUCCIONES VERDES.

El mundo enfrenta dos de sus más grandes retos: la estabilización de la economía mundial y la prevención de los cambios climáticos. Se evidencio una falla latente en la Conferencia de Cambio Climático en Copenhague en diciembre de 2009, donde se observo una falta de cooperación mundial para resolver estos problemas.¹⁴

Yvo de Boer, el secretario ejecutivo de las Naciones Unidas en el convenio marco de cambio climático, estableció que la conferencia “no produjo un total acuerdo, el cual se necesita para resolver colectivamente los problemas del cambio climático”. Un claro ejemplo, es la omisión de la meta de reducir para el año 2050 en un 80% las emisiones de dióxido de carbono.¹⁵

Como consecuencia de esta conferencia, se evidencia la necesidad de incursionar más en el mundo en la construcción verde, de tal manera que se hagan menos emisiones de dióxido de carbono para poder disminuir la polución mundial.

Esto se consigue con la utilización de recursos de desecho en las construcciones, como en los muros divisorios de las construcciones, utilizar las botellas plásticas, que son desechos humanos, que no se biodegradan tan fácilmente.

¹³ TELLEZ LUNA, Miguel. Finanzas de la Construcción: El tiempo en la Construcción. Pág. 86-88. Bhandar Editores. 4ta Edición 2010.

¹⁴ BRADBURY Alexandra. Green Construction: An answer to the twin financial and climate changes. Harvard International Review [serial online]. 2010. No 32. Pág:28-31. Available from: Academic Search Complete, Ipswich, MA. Consultado: Marzo 15, 2011.

¹⁵ Ibid.

La sostenibilidad está tomando cada vez más importancia, pero existe una confusión entre que se constituye en una construcción sostenible y muchos materiales que se utilizan en la construcción y se consideran materiales “sostenibles”.¹⁶

En la realidad, estas cosas no son sostenibles ni insostenibles por sí mismas. Sin embargo, usadas de una manera apropiada pueden contribuir a la sostenibilidad de una comunidad, sociedad o un estilo de vida.¹⁷

La construcción sostenible puede considerarse como sujeto de desarrollo sostenible, siempre y cuando el crecimiento económico y el progreso social para todos sus componentes tengan una protección efectiva del medio ambiente y un prudente uso de los recursos naturales.¹⁸

Por las razones expuestas anteriormente, este material que se está estudiando en la monografía, no necesariamente es un material sostenible, pero brinda un pequeño aporte para la sostenibilidad en la región, ya que usado en proyectos globales de sostenibilidad, podría generar menos consumo de energía, más construcción amigable con el medio ambiente y menos impacto ambiental.

5.6. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS.

Ya que como material aglomerante de los muros a construir en esta monografía, se utiliza el suelo – cemento, se debe realizar una investigación teórica sobre la clasificación de los suelos en laboratorio, por esto, a continuación se realiza esta recopilación.

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 aeropuertos.¹⁹

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.²⁰

Todos los sistemas de clasificación de interés primordial para el ingeniero geotécnico utilizan los límites de Atterberg, con un análisis parcial o total de granulometría, y el proceso de eliminación para la clasificación de un suelo.²¹

¹⁶ Plank R. The principles of sustainable construction. *IES Journal Part A: Civil & Structural Engineering* [serial online]. Noviembre de 2008;No 1. Pág:301-307. Disponible en: Academic Search Complete, Ipswich, MA. Acceso: Marzo 15, 2011.

¹⁷ Ibid

¹⁸ Ibid

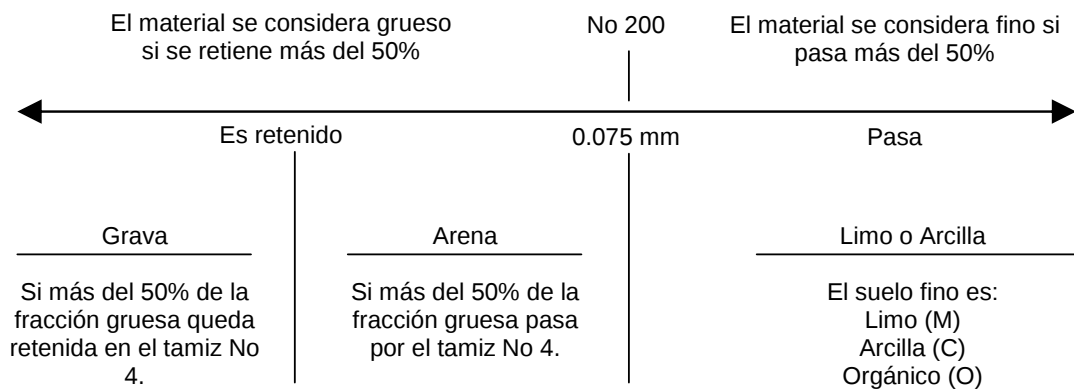
¹⁹ BOWLES, Joseph. Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil. Editorial: McGraw – Hill. 1978. Pág 73 – 77.

²⁰ Ibid

²¹ Ibid

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.

En la Figura 8, se observa el esquema de clasificación de los suelos, dependiendo de su ubicación en la granulometría desarrollada al material.²²



Fuente: BOWLES, Joseph. Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil. Editorial: McGraw – Hill. 1978. Pág 73.

Figura 7. Definición de Clasificación de Suelos.

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).

Tabla 2. Sistema unificado de clasificación de suelos.

Divisiones mayores			Símbolo de grupo	Nombres típicos
Suelos de grano grueso (más del 50 % del material es mayor en tamaño que el tamiz No 200)	Gravas (más de la mitad de la fracción gruesa es mayor que el tamiz No 4)	Gravas limpias (pocos o ningún fino)	GW	Gravas bien gradadas, mezclas gravosas o ningún fino
			GP	Gravas pobremente gradadas, mezclas grava-arenas, pocos o ningún fino
		Gravas con finos (Cantidad apreciable de finos)	GM	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.
			GC	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcillosa
	Arenas (Mas del 50% de la fracción gruesa es menor que el tamiz No 4)	Arenas limpias (pocos o ningún finos)	SW	Arena bien gradadas, arena gravosa, pocos o ningún fino
			SP	Arena pobremente gradadas, arena gravosa, pocos o ningún fino
		Arenas con finos (Cantidad apreciable de finos)	SM	Arenas limosas, mezclas arena- limo
			SC	Arenas arcillosas, mezcla arena-arcilla

²² Ibid

Continuación Tabla 2. Sistema unificado de clasificación de suelos.

Divisiones mayores		Símbolo de grupo	Nombres típicos
Suelos de grano fino (mas de 50% del material pasa el tamiz No 200)	Limo y arcillas (límite líquido WL<50)	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas, o limos arcillosos con poca plasticidad
		CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras
		OL	Limos orgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad
	Limo y arcillas (límite líquido > 50)	MH	Limos orgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o diatomáceos, suelos elásticos
		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas
		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos
	Suelos altamente orgánicos	Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos.

Fuente: BOWLES, Joseph. Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil. Editorial: McGraw – Hill. 1978. Pág 74.

A continuación se consideran estas subdivisiones en más detalle:

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

Si menos del 5% del material pasa a través del tamiz No.200; G= grava, S= arena, W= bien gradada, P= Pobremente gradada.

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

Si más del 12% del material pasa a través del tamiz No.200; M=limo, C=arcilla. La designación limo o arcilla se determina después de obtener los valores de los límites líquido y plástico de la fracción menor al tamiz No.40, y utilizando los criterios de la carta de plasticidad de la figura 8.2. 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.

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

Si entre 5% y 12% del material pasa a través del tamiz No.200.

5.7. Suelos de grano fino (mas del 50% pasa el tamiz No.200). ML, OL,CL

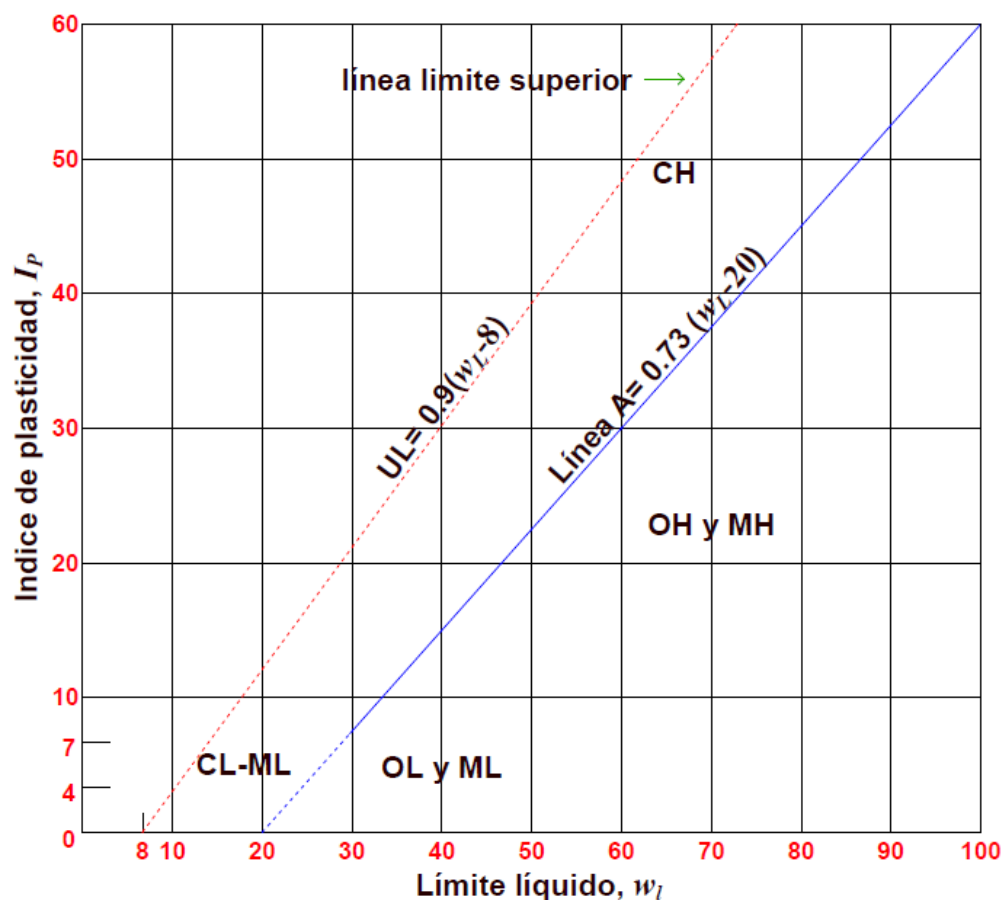
Si los límites líquidos son menores que 50%; M= limo; O= Suelo Orgánico, C= arcilla

5.7.1. Suelos de grano fino son. MH, CH, OH

Si los límites líquidos son superiores al 50%; H= mayor que 50%

Los límites líquido y plástico se ejecutan sobre material correspondiente a la fracción menor del tamiz No.40 de todos los suelos incluyendo gravas, arena, y suelos finos utilizado en la ejecución del ensayo. Estos límites se utilizan con la carta de plasticidad (cuadro A de Casagrande) para determinar el prefijo M, O, ó C, dependiendo de la localización de las coordenadas de plasticidad del suelo dentro de la carta.

En la Figura 8, se observa en mayor detalle esta clasificación.



Fuente: BOWLES, Joseph. Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil. Editorial: McGraw – Hill. 1978. Pág 75.

Figura 8. Plasticidad para la Clasificación Unificada de Suelos.

6. ENSAYOS DE LABORATORIO.

En este capítulo se hará mención a la realización de los ensayos de laboratorio de los materiales utilizados en la construcción de los muros con material reciclable.



Fuentes: propia

Figura 9. Resumen Gráfico Procedimientos Ensayos de Laboratorio.

En la Figura 9, se observa un registro fotográfico de los procedimientos que se siguieron en el Laboratorio de Suelos y Pavimentos de la Facultad de

Ingeniería Civil de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. Estos procedimientos, se desarrollaron siguiendo las Normativas de los mismos y en los siguientes numerales se especificará el procedimiento y los resultados de cada uno de ellos.

6.1. LÍMITES DE PLASTICIDAD Y HUMEDAD NATURAL.

6.1.1. Límite Líquido y Humedad Natural.²³

El límite líquido de un suelo es el contenido de humedad expresado en porcentajes del suelo en el horno, cuando este se halla en el límite entre el estado líquido y el estado plástico.

Para realizar este ensayo se necesita una vasija de evaporación de porcelana de 4 1/2" de diámetro una espátula de hoja flexible de 3" de longitud y 3/4" de ancho aproximadamente. Como se observa en la Figura 10.



FUENTE. http://www.ingenieracivil.com/2007_10_01_archive.html. [Consultado: 24 - 03 - 2011]

Figura 10. Máquina Casagrande.

Se toma una muestra que pese aproximadamente 100g de una porción de material completamente mezclado que pase el tamiz de 0.425 mm (No.40).

Se coloca la muestra de suelo en la vasija de evaporación y se mezcla completamente con 15g a 20ml de agua destilada, agitándola, amasándola y tajándola con una espátula en forma alterna y repetida. Cuando se tiene la mezcla adecuada se requiere de 30 a 35 golpes de la cazuela de bronce para que se ocasione el cierre.

Se coloca una porción de la mezcla en la cazuela sobre el sitio en que ésta reposa en la base y se comprime hacia abajo, extendiéndose el suelo hasta tener la porción mostrada.

²³ República de Colombia. Ministerio de Transporte. Instituto Nacional de Vías. Subdirección de Apoyo Técnico. Normas de Ensayo. Norma No 125 – INV 07. Determinación del Límite Líquido de los Suelos. 2007

En la Figura 11, se observa el resumen de todo el procedimiento llevado a cabo para la realización del ensayo de límite líquido y humedad natural.



Fuente: Propia

Figura 11.

Registro Fotográfico del procedimiento de laboratorio de Límite Líquido.

Luego se saca una tajada de suelo aproximadamente del ancho de la espátula y se pesa. Se ubica el suelo dentro de un recipiente en el horno a 110 +/- 5°C hasta obtener un peso constante y se vuelve a pesar apenas se haya enfriado y se anota el peso.

Después de esto se pasa el suelo sobrante a la cazuela de porcelana para repetir el ensayo.

Los cálculos requieren el contenido de humedad del suelo, se expresa como porcentaje del peso del suelo seco al horno:

$$\%Humedad = \frac{Peso\ del\ Suelo\ Húmedo - Peso\ del\ Suelo\ Seco}{Peso\ del\ Suelo\ Seco} \cdot 100$$

De tal forma se puede hallar la curva de fluidez y el límite líquido se toma el porcentaje de humedad correspondiente a la intersección de la curva de flujo con la ordenada de 25 golpes como límite líquido del suelo y se aproxima el valor a un número entero.

6.1.2. Límite Plástico e índice de plasticidad.²⁴

El objetivo de este ensayo es la determinación de límite plástico de un suelo y el cálculo del índice de plasticidad. De igual forma se denomina límite plástico a la humedad más baja con la que se pueden formar cilindros de suelo de unos 3mm de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa, sin que dichos cilindros se desmoronen.

Se enrolla el suelo con la mano sobre una superficie lisa, con presión suficiente para moldearlo en forma de cilindro, con movimiento hacia delante y hacia atrás unas 80 veces. Cuando se llega aproximadamente a unos 3mm se debe romper en pequeños pedazos y con ellos moldear nuevamente unas bolas que a su vez vuelvan a enrollarse. Cuando el cilindro de desmorona a un diámetro superior a tres milímetros, se puede concluir que es satisfactoria para definir el límite plástico.

El límite plástico es el promedio de las humedades de ambas terminaciones y se expresa como porcentaje de humedad. Y se calcula así.

$$Límite\ Plástico = \frac{Peso\ del\ Suelo\ Húmedo - Peso\ del\ Suelo\ Seco}{Peso\ del\ Suelo\ Seco} \cdot 100$$

Y el índice de plasticidad del suelo es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

²⁴ República de Colombia. Ministerio de Transporte. Instituto Nacional de Vías. Subdirección de Apoyo Técnico. Normas de Ensayo. Norma No 126 – INV 07. Determinación del Límite Plástico de los Suelos. 2007



Fuente: Propia

Figura 12. Realización de Muestras para el Límite Plástico.

6.1.3. Resultados de Laboratorio para Límites de Plasticidad.

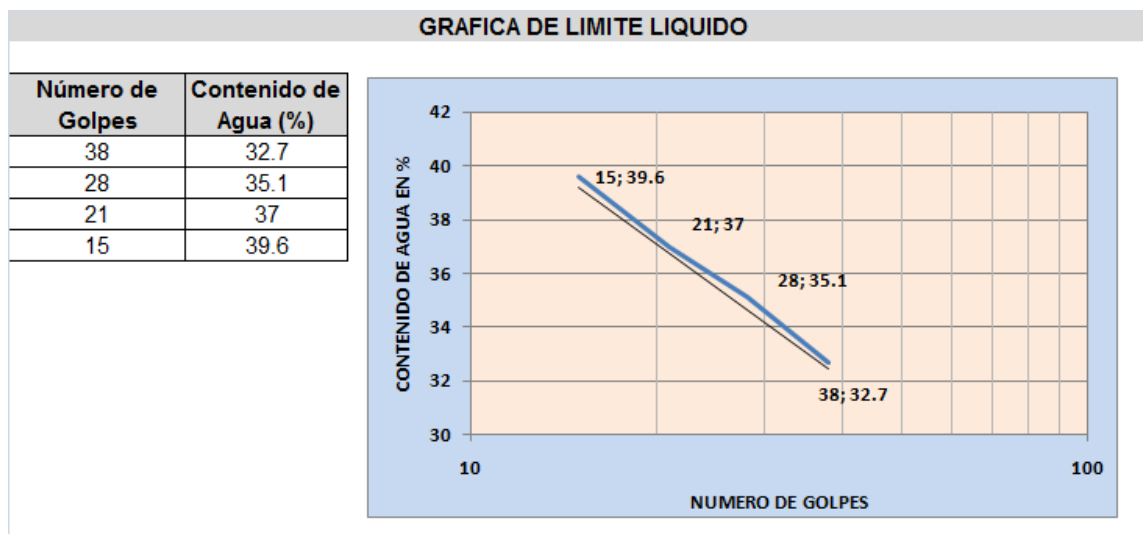
En la Tabla 3, se observan los resultados del límite líquido y límite plástico del suelo utilizado para el aglomerante del muro construido con material reciclado.

Tabla 3. Límites de Plasticidad

LIMITE LIQUIDO								
Prueba No.	Capsula No.	Numero de Golpes	Peso Capsula+	Peso Capsula+Suel	Peso del Agua	Peso de la Capsula	Peso del Suelo Seco	Contenido de Agua (%)
1	9	38	40.88	35.29	5.59	18.2	17.09	32.7
2	15	28	37.69	32.11	5.58	16.22	15.89	35.1
3	53	21	37.44	33.12	4.32	21.44	11.68	37
4	33	15	41.75	35.32	6.43	19.07	16.25	39.6
LIMITE PLASTICO								
1	137		14.93	13.79	1.14	8.43	5.36	21.3
2	59		14.71	13.33	1.38	6.87	6.46	21.4

Fuente: Adaptado Formato de Laboratorio de Ing. Civil de la UPB seccional B/manga.

En la Figura 13, se observan los resultados gráficos para obtener el valor del límite líquido a los 25 golpes, con los datos obtenidos en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ingeniería Civil. Estos datos obtenidos se graficaron y se obtuvo que aproximadamente el límite líquido es 36%.



Fuente: Adaptado Formato de Laboratorio de Ing. Civil de la UPB seccional B/manga.

Figura 13. Límite Líquido

6.2. GRANULOMETRÍA

El objeto del análisis granulométrico es la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo.

El método busca determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el No 200.

El análisis con tamices se hace, con la muestra entera o parte de ella después de separar el material fino por lavado. Si la necesidad del lavado no se puede determinar por examen visual, se seca en el horno una pequeña porción húmeda del material y luego se examina su resistencia en seco rompiéndola entre los dedos. Si se puede romper fácilmente y el material fino se pulveriza bajo la presión de aquellos, entonces el análisis con tamices se puede efectuar sin previo lavado.

El procedimiento para el análisis granulométrico por lavado se inicia separando aproximadamente 115g para suelos arenosos y 65g para suelos arcillosos y limosos, pesándolos con exactitud. Luego para sacar la humedad higroscópica se pesa una porción de 10g a 15g del material separado anteriormente y se seca en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Luego de aproximadamente 12 horas, se pesa nuevamente el material y se anotan los pesos, se coloca la muestra seca en un recipiente, cubriéndola con agua y se deja en remojo hasta que todos los terrones se ablanden.

Inmediatamente se lava la muestra en el tamiz No. 200 (en este caso se lavaron 17 veces con abundante agua) evitando frotarla contra el tamiz y teniendo mucho cuidado de que no se pierda ninguna partícula de la retenidas en él. Este lavado se ejecuta con el objetivo de realizar la prueba de granulometría con el material totalmente limpio.

Se recoge lo retenido en un recipiente, se seca en una estufa o en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ y se pesa.

Se procede a realizar el tamizado en seco utilizando los tamices de 3/4", 1/2", 3/8", No. 4, No. 10, No. 20, No. 40, No. 60, No. 100, No. 200 y pasa 200. O los que sean necesarios dependiendo del tipo de muestra, o de las especificaciones para el material que se ensaya.

En la operación del tamizado manual se mueve el tamiz o tamices de un lado a otro y recorriendo circunferencias de forma que la muestra se mantenga en movimiento sobre la malla. Debe comprobarse al desmontar los tamices que la operación está terminada; esto se sabe cuándo no pasa más del 1% de la parte retenida al tamizar durante un minuto, operando cada tamiz individualmente. Si quedan partículas apresadas en la malla, deben separarse con un pincel o cepillo y reunir las con el material retenido en el tamiz.

Para finalizar, se determina el peso de cada fracción en una balanza con una sensibilidad de 0.1%. La suma de los pesos de todas las fracciones y el peso inicial de la muestra seca no debe diferir en más del 1%.

Para calcular el porcentaje de material que pasa por el tamiz No. 200 se procede de la siguiente manera:

$$\%Pasa_{200} = \frac{\text{Peso Total} - \text{Peso Ret. en el tamiz No200}}{\text{Peso Total}} \cdot 100$$

Se calcula el porcentaje retenido sobre cada tamiz así:

$$\%Retenido = \frac{\text{Peso Retenido en el tamiz}}{\text{Peso Total}} \cdot 100$$

Se calcula el porcentaje más fino. Restando en forma acumulativa de 100%, los porcentajes retenidos sobre cada tamiz.

$$\%Pasa = 100\% - \%Retenido \text{ Acumulado}$$

El porcentaje de humedad higroscópica se calcula considerando la humedad higroscópica como la pérdida de peso de una muestra seca al aire y posteriormente se seca en el horno, expresada como un porcentaje del peso de la muestra seca al horno. Se determina de la manera siguiente:

$$\%Humedad \text{ Higroscópica} = \frac{W - W_1}{W_1} \cdot 100$$

Donde,

W= Peso del suelo seco al aire.

W₁= Peso del suelo seco en el horno.

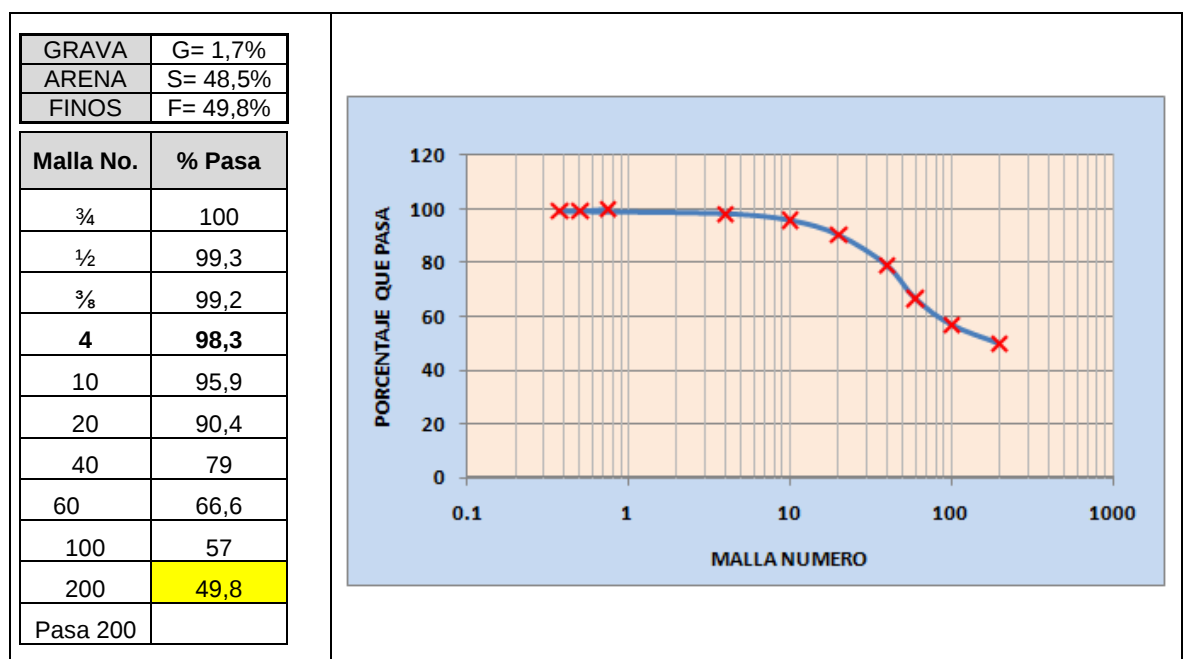
En la Tabla 4, se muestran los resultados del ensayo de granulometría del suelo utilizado como aglomerante con el cemento en los muretes construidos con botellas PET recicladas y rellenas de arena.

Tabla 4. Resultados granulometría por mallas

GRANULOMETRÍA POR MALLAS				
PESO DE LA MUESTRA (grs)= 1645,1gr				
Malla No.	Abertura (mm)	Peso Suelo Retenido (gr)	%Retenido Parcial	% Pasa
¾"	19,05	0	0	100
½"	12,7	11,4	0,7	99,3
3/8"	9,52	1,6	0,1	99,2
No.4	4,75	15,2	0,9	98,3
10	2	39,4	2,4	95,9
20	0,84	91,2	5,5	90,4
40	0,42	187,6	11,4	79
60	0,52	203,2	12,4	66,6
100	0,149	158,2	9,6	57
200	0,074	118	7,2	49,8
Pasa 200		819,3	49,8	

Fuente: Adaptado Formato de Laboratorio de Ing. Civil de la UPB seccional B/manga.

En la Figura 14 se muestra gráficamente el resultado de la granulometría por mallas.



Fuente: Adaptado Formato de Laboratorio de Ing. Civil de la UPB seccional B/manga.

Figura 14. Gráfica de Granulometría.

	
Peso del suelo seco después de salir del horno	Lavado de material
	
Secado de material en estufa eléctrica	Granulometría por mallas, colado de material por entre tamices
	
Suelo final después del ensayo de Granulometría por Mallas.	

Fuente: Propia.

Figura 15. Procedimiento de Granulometría por Mallas

En la Figura 15, se observa el procedimiento completo que se siguió en el laboratorio para realizar el ensayo de granulometría por mallas.

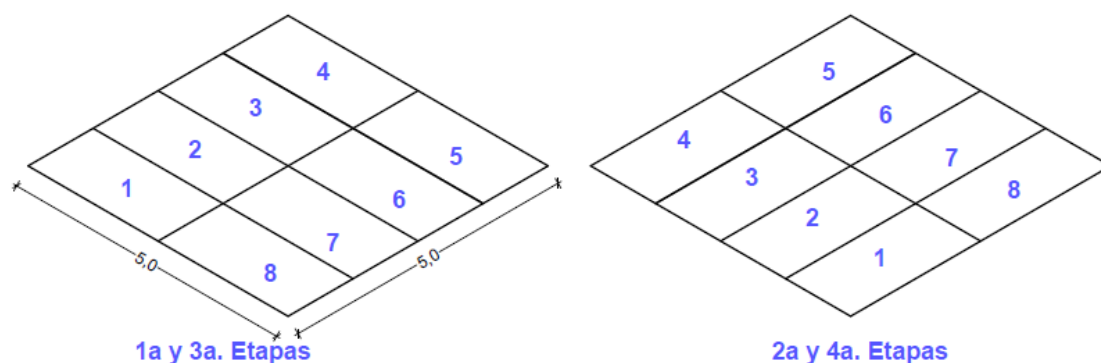
6.3. ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CUBOS DE MATERIAL AGLOMERANTE MUROS CON BOTELLAS PET.²⁵

El objetivo de este ensayo es determinar los esfuerzos de compresión soportados por el material aglomerante de los muros con botellas Pet.

Para la preparación de los moldes se debe aplicar en las caras interiores un recubrimiento delgado de un agente desmoldante, puede ser aceite o grasa.

Luego de tener los moldes listos se mezcla mecánicamente el suelo con el cemento. El proceso de llenado de los moldes debe iniciar antes de 150s, contados desde la realización de la mezcla inicial de suelo - cemento.

En cada compartimiento se coloca una capa de 25mm de mezcla aproximadamente la mitad del molde. Se apisona con 32 golpes del compactador en 10 s en 4 etapas de 8 golpes adyacentes, como se muestra en la Figura 16.



Fuente: Adaptado Norma Técnica Colombiana 220. Determinación de la Resistencia de Morteros de Cemento Hidráulico Usando Cubos de 50 mm ó 50.8 mm de Lado. 2004-12-01. ICONTEC. 4a Edición. Pág. 5-9.

Figura 16. Orden de Compactación de Capas para Moldes de Compresión.

En cada etapa debe golpearse siguiendo una dirección perpendicular a los de la anterior. La presión del compactador debe ser de forma que se asegure un llenado uniforme de los compartimientos. Se deben completar las cuatro etapas de compactación es decir 32 golpes en cada compartimiento antes de seguir con el siguiente. Una vez terminada la operación anterior, en todos lo compartimientos se llenan con una segunda capa y se apisonan nuevamente.

Luego de llenar todo los moldes con los pasos anteriores. Las formaleas se deben colocar en un gabinete húmedo o cuarto húmedo en un periodo de 20h a 72 h con las caras superiores de los cubos expuestos al aire húmedo pero protegidas de gotas de agua.

²⁵ Norma Técnica Colombiana 220. Determinación de la Resistencia de Morteros de Cemento Hidráulico Usando Cubos de 50 mm ó 50.8 mm de Lado. 2004-12-01. ICONTEC. 4a Edición. Pág. 5-9.

Después de pasar 24 horas o 72 horas los cubos se desmoldan y se sumergen en agua a una temperatura de 23°C . Todos los cubos se ensayaron dentro de las siguientes tolerancias de tiempo de la siguiente tabla.

Tabla 5. Tolerancias en la Edad del Cubo de Ensayo.

Edad del ensayo	Tolerancia permisible
24h	+/- 1/2 h
3 d	+/- 1 h
7 d	+/-3 h
28 d	+/- 12 h

Fuente: Adaptado Norma Técnica Colombiana 220. Determinación de la Resistencia de Morteros de Cemento Hidráulico Usando Cubos de 50 mm ó 50.8 mm de Lado. 2004-12-01. ICONTEC. 4a Edición. Pág. 5-9.

Luego de esto, los cubos se secan y se quita toda partícula suelta sobre las caras donde los bloques de apoyo de la máquina va a estar en contacto con la muestra, debido a que esto podría causar resultados no deseados. Se comprueban muy bien que las caras estén completamente planas con una regla, de lo contrario el cubo no sirve.

En esta parte del documento, se realizará una breve descripción del ensayo realizado a las mezclas de tres porcentajes de suelo – cemento, de tal manera que se pueda establecer con los esfuerzos soportados por el material, cual es la pega de los muros que funciona mejor.

En la Tabla 6, se muestra la dosificación de los materiales escogidos para realizar las muestras, suelo que se caracterizó en los ensayos descritos en los numerales 6.1 y 6.2, del presente documento.

Tabla 6. Muestras a desarrollar para la pega del muro con material reciclado.

Suelo – Cemento (% - %)	No Muestras
85 – 15	9
83 – 17	9
80 – 20	9

Fuente: propia

Después de realizar la selección de las dosificaciones de los materiales que componen el aglomerante (suelo – cemento), se procede a desarrollar el procedimiento de construcción de los cubos para realizar el ensayo de compresión en la máquina de pruebas del laboratorio de Materiales y Resistencia de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.

En la Figura 17, se puede observar el registro fotográfico de las muestras:



Fuente: propia

Figura 17. Procedimiento Fotográfico Elaboración de Muestras Material Aglomerante.

En la Tabla 7, se observan los resultados de resistencia a la compresión promedio de todas las mezclas analizadas y se realiza un promedio entre las nueve muestras utilizadas para cada porcentaje de material. Después de

desarrollar este análisis, se observó que el mayor esfuerzo obtenido (7.14MPa), se obtuvo con la mezcla suelo – cemento de 83% y 17 %, respectivamente para cada material. Es importante aclarar, que para cada construcción de muros, se debe realizar una clasificación respectiva del suelo a utilizar, para poder establecer las propiedades específicas del proyecto.

Tabla 7. Resultados a la compresión de muestras

Porcentaje Cemento	Muestra No	F (kN)	σ (MPa)	σ_{prom} (MPa)
15%	1	11.4	4.56	4.82
	2	14	5.60	
	3	12.2	4.88	
	4	10.1	4.04	
	5	11.2	4.48	
	6	12.6	5.04	
	7	10.9	4.36	
	8	14	5.60	
	9	12.1	4.84	
17%	1	19.3	7.72	7.14
	2	17.6	7.04	
	3	15.5	6.20	
	4	19	7.60	
	5	17.4	6.96	
	6	19.5	7.80	
	7	17.5	7.00	
	8	15.6	6.24	
	9	19.3	7.72	
20%	1	10.3	4.12	3.88
	2	9.3	3.72	
	3	9.5	3.80	
	4	9.3	3.72	
	5	10.2	4.08	
	6	10.3	4.12	
	7	8.8	3.52	
	8	9.5	3.80	
	9	10.1	4.04	

Fuente: propia

Se decide a partir de estos resultados utilizar la mezcla de 83% suelo y 17% cemento para realizar el material aglomerante de los muros construidos con botellas recicladas.

7. RESULTADOS DE ESFUERZOS EN MUROS CON MATERIAL RECICLADO

En esta sección del documento, se realizará el resumen del procedimiento desarrollado para construir las muestras a ensayar de muros construidos con botellas plásticas embebidas en material aglomerante de suelo – cemento con un porcentaje de 83 y 7, respectivamente.

El procedimiento que se siguió en esta monografía para desarrollar los ensayos de los muretes en el laboratorio, no tiene ninguna especificación técnica y es propio del trabajo, por cuanto no se cuenta con Normativa vigente respecto a este material de construcción.

En la Figura 18, se observa el procedimiento completo de la construcción de muros con botellas recicladas.



Fuente: Propia

Figura 18.

Procedimiento Fotográfico de Construcción de Muros con Botellas Recicladas.



Fuente: propia

Continuación Figura 18. Procedimiento Fotográfico de Construcción de Muros con Botellas Recicladas.

7.1. DISEÑO GRÁFICO DE LA DISTRIBUCIÓN DE BOTELLAS EN LOS MURETES A FALLAR EN EL LABORATORIO.

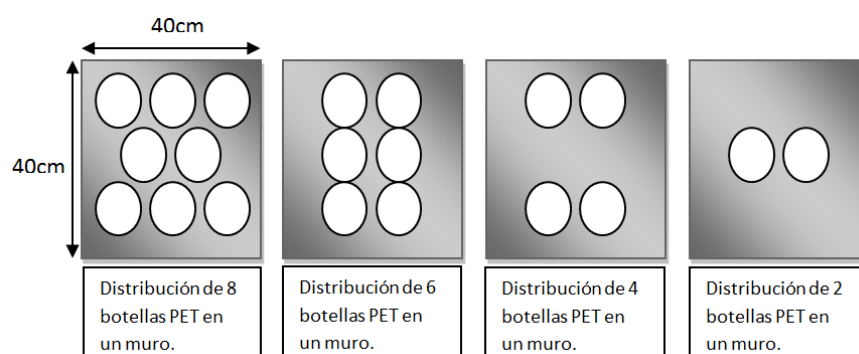
Un factor importante para la construcción de los muros con botellas plásticas fue la distribución que se realizó de las mismas dentro del proceso de construcción de los muretes, en la Tabla 8 se observa esta distribución. Para este procedimiento se utilizaron 8800 gr de suelo y 1802 gramos de cemento por cada muro.

Tabla 8. Cantidad de Muestras de Laboratorio

Cantidad de Botellas por Muro	No de Muros
8	3
6	3
4	3
2	3

Fuente: Propia

En la Figura 19, se observa la distribución de muros con botellas PET.



Fuente: propia

Figura 19. Distribución de Botellas en Muros

7.2. LLENADO DE BOTELLAS CON ARENA.

Se tomó la decisión en el trabajo de realizar el relleno de las botellas con arena seca.

El llenado de las botellas se realizó manualmente, antes de la construcción de todos los muros. Este proceso se puede observar en los pasos a seguir para la construcción de los muros en la Figura 18.

7.3. CONSTRUCCIÓN DE MURETES.

Después que las botellas están llenas de arena, se procede a realizar la construcción de los muretes, en este proceso se toman los tiempos de ejecución que tarda en realizar el espécimen por parte del obrero, se observan estos resultados en la Tabla 9.

Tabla 9. Tiempo de Construcción de Muros con Material Reciclado del Proyecto.

Número de Botellas Por Muro	Tiempo Construcción (minutos)
2	25 – 30
4	17
6	10
8	6

Fuente: Propia

Cuando los muros están contruidos, se espera aproximadamente un tiempo de 28 – 30 días para poder realizar las pruebas de compresión, esperando que la mezcla suelo – cemento, alcance su máxima resistencia a la compresión.

7.4. PRUEBA DE COMPRESIÓN DE MURETES.

En el laboratorio del Edificio I Primer Piso de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, se realizaron las pruebas de compresión de los cilindros, 28 días después para tener en cuenta el proceso de fraguado del suelo cemento, material aglomerante de los muretes.

En la Figura 20, se observa el procedimiento completo que se lleva a cabo en el laboratorio para realizar las pruebas de compresión en la Máquina Universal. El traslado de los muretes desde donde estaban contruidos, hasta el sitio de prueba, fue bastante dispendioso.

Se recomienda al laboratorio, contar con un equipo para transportar este tipo de muestras y evitar que con la manipulación de estas manualmente, se puedan dañar.

	
Muro con 2 botellas para fallar por compresión en Máquina Universal	Muro con 4 botellas para fallar por compresión en Máquina Universal
	d 
Muro con 6 botellas para fallar por compresión en Máquina Universal	Muro con 8 botellas para fallar por compresión en Máquina Universal
	
Falla a compresión de muro construido con botellas plásticas	Pantalla con Resultados Digitales de la Máquina Universal

Fuente: propia

Figura 20. Pruebas a compresión

En la Tabla 10, se observan las medidas promedio de los muretes con su espesor (E), el ancho (A) y la altura (H), cada una de estas medidas se realizó en tres partes diferentes del material y se obtuvo un promedio entre las mismas. La sección transversal es el área obtenida de multiplicar el espesor (E) por el ancho (A). La altura se utiliza para realizar una corrección por esbeltez de los muros, según lo que se observa en las medidas, no hay necesidad de realizar esta corrección por cuanto los muros son casi cúbicos aproximadamente en sus medidas, por lo cual no se presenta el fenómeno de esbeltez en las muestras.

Se observó en la máquina universal, que la platina con la cual se realizan las pruebas de compresión, no abarca la totalidad del espesor de los muros (el espesor de la platina es de aproximadamente 200 mm), por lo cual se puede inducir un error en los resultados, ya que no se está distribuyendo la carga en toda la superficie del área transversal del muro de material reciclado, si no que se aplica solamente en una franja menor y puede generar una falla local.

Tabla 10. Esfuerzos de Compresión en Muretes.

Botellas	E (mm)	A (mm)	H(mm)	P (kN)	σ (MPa)	σ_{promedio} (MPa)
2	306.67	403.33	390.00	61	0.49	0.76
2	303.33	403.33	400.00	146	1.19	
2	303.33	400.00	420.00	71	0.59	
4	356.67	423.33	403.33	62	0.41	0.44
4	300.00	400.00	420.00	69	0.58	
4	330.00	396.67	400.00	44	0.34	
6	353.33	390.00	396.67	22	0.16	0.24
6	310.00	423.33	393.33	47	0.36	
6	316.67	396.67	403.33	25	0.20	
8	300.00	400.00	393.33	19	0.16	0.16

Fuente: Propia

En los resultados obtenidos de compresión, se observa que entre mayor la cantidad de botellas que se adiciona a la muestra, menor es el esfuerzo que se alcanza, esto tiene su razón de ser en que el esfuerzo realmente lo están soportando las botellas rellenas con arena. En los primeros ensayos donde únicamente existen dos (2) botellas dentro del murete, el esfuerzo todo lo soporta el material aglomerante.

En la Tabla 10, se observa además que el muro construido con ocho (8) botellas, se destruyó antes de llevarlo a la máquina de prueba, por lo cual se establece que esta distribución por metro cuadrado de muro, no es apropiada, porque desde su construcción, el material aglomerante no está trabajando de tal manera que aglutine las botellas embebidas en el murete.

En el trabajo de grado titulado COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE REFRENTADO DE NEOPRENO Y YESO EN UNIDADES DE MAMPOSTERÍA

Y MURETES FALLADOS A COMPRESIÓN²⁶, realizado por los Ingenieros Jorge Luis González Reyes y Jose Mario Torres Ustariz, en la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, se observaron los siguientes resultados de esfuerzos de compresión en muretes de mampostería construida con ladrillos H – 10, refrentados con una mezcla de 70% yeso y 30% caolín.

Tabla 11. Esfuerzos Compresión Muretes con ladrillo H – 10.

Muretes H-10 Refrentado 70% Yeso - 30% Cal				
muestra	L1(cm)	L2(cm)	kN	σ (MPa)
1	29.9	40.4	41	0.3394
2	29.8	40.6	31.7	0.2620
3	30	40.7	77.8	0.6372
4	30.1	40.2	59.2	0.4892
5	29.9	40.8	44.7	0.3664
6	29.9	40.5	55.2	0.4558
7	29.7	40.3	50.2	0.4194
8	29.8	40.1	42.7	0.3573
9	29.6	40.5	70.2	0.5856
10	29.8	40.2	38.5	0.3214
11	30	40.8	62.7	0.5123
12	30.2	40.2	87.2	0.7183
13	30.1	40.7	50.7	0.4139
14	29.7	40.5	62.2	0.5171
15	29.9	40.2	58.2	0.4842
16	29.9	40.6	41.5	0.3419
17	29.8	40.4	39.7	0.3298
18	29.9	40.1	48.5	0.4045
19	29.8	40.5	55.2	0.4574
20	29.7	40.8	57.5	0.4745
21	29.9	40.3	50.2	0.4166
22	29.8	40.2	47.2	0.3940
23	30	40.4	44.5	0.3672
24	30.1	40.1	42.7	0.3538
25	29.8	40.3	41.8	0.3481
26	29.6	40.7	38.2	0.3171
27	29.8	40.5	46.5	0.3853
28	29.8	40.5	51.2	0.4242
29	29.29	40.2	47.5	0.4034
30	30.1	40.7	39.7	0.3241

Promedio 0.4207

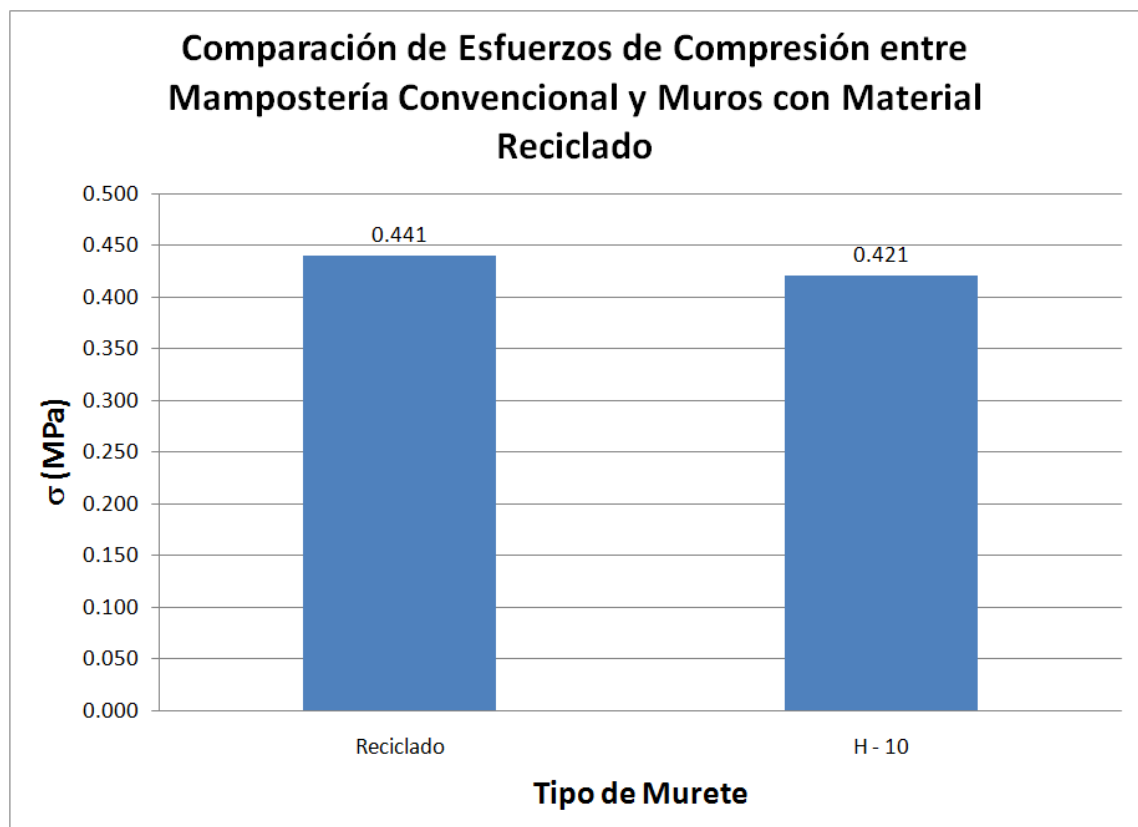
Desviación Estándar 0.1005

Fuente: GONZÁLEZ REYES, Jorge Luis. TORRES USTARIZ, Jose Mario. Comparación de Resultados entre Refrentado de Neopreno y Yeso en Unidades de Mampostería y Muretes Fallados a Compresión. Trabajo de Grado para Optar al título de Ingenieros Civiles. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. 2010.

²⁶ GONZÁLEZ REYES, Jorge Luis. TORRES USTARIZ, Jose Mario. Comparación de Resultados entre Refrentado de Neopreno y Yeso en Unidades de Mampostería y Muretes Fallados a Compresión. Trabajo de Grado para Optar al título de Ingenieros Civiles. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. 2010.

Como se puede observar en la Tabla 11, los esfuerzos de compresión de muretes H – 10, en promedio el resultado fue 0.4207 MPa, mientras que el murete construido con botellas en muros de material reciclado que arrojó un promedio similar fue el construido con cuatro (4) botellas, en el cual se encontró un resultado de 0.44 MPa, con lo cual si es por resistencia a la compresión, se comporta similarmente a un murete construido con mampostería tradicional en H – 10.

En la Figura 21, se observa el comportamiento de los esfuerzos promedios de los dos tipos de muros, el de mampostería convencional y el de muros con material reciclado.



Fuente: Propia

Figura 21. Comparación de Esfuerzos de Compresión entre Muretes construidos con Material Reciclado y Mampostería Convencional de Ladrillo H – 10.

En la Figura 22, se observa el procedimiento que se sigue al momento de realizar el ensayo de compresión de muretes con material reciclado en el laboratorio. Se observa que la platina que se ubica en la parte superior de los muretes de ensayo, no cubre toda la superficie y este puede generar una variación en los resultados de ensayo.

	
Muro con 6 botellas para fallar por compresión en Maquina Universal	Muro con 5 botellas para fallar por compresión en Maquina Universal
	
Muro con 5 botellas llegando a su máxima compresión en Maquina Universal	Muro con 5 botellas llegando a su máxima compresión en Maquina Universal
	
Escombros	Escombros

Fuente: Propia

Figura 22.

Procedimiento de Ensayo de Muretes con Material Reciclado sometidos a Compresión.

8. ANÁLISIS ECONÓMICO DE MUROS DE MATERIAL RECICLADO VS MUROS DE MAMPOSTERÍA.

En este capítulo del trabajo de grado, se realizará el análisis de tiempos y el análisis económico de la construcción de muros con material reciclado y mampostería convencional, para poder establecer costos en una constructora que se dedique a este sistema constructivo.

8.1. TIEMPO DE CONSTRUCCIÓN DE MUROS CON MATERIAL RECICLADO.

En cuanto al procedimiento y tiempos de construcción de los muros con material reciclado se determinó que se requiere más tiempo que realizar un muro con mampostería convencional.

Es importante anotar que se demora en llenar con arena las botellas de 2½ litros entre 8 a 10 minutos por botella. Es decir, con un tiempo total de llenado por botella de 10 minutos, y 25 botellas por metro cuadrado, una persona dedicada a llenar las 25 botellas requiere un tiempo de 4 horas y 12 minutos por las 25 botellas del metro cuadrado.

Dentro del análisis del tiempo requerido se suman 10 minutos más para la preparación de la mezcla de suelo-cemento en un muro de 0.4 m x 0.4 m, ya que este material de pega de muros es pesado y denso, por cuanto se debe adicionar suficiente agua para lograr una mezcla adecuada. Para la realización de un muro de un metro cuadrado (1 m²) se tendría un tiempo de 62.5 minutos.

Cuando la mezcla está lista, la construcción de un muro de 40cm x 40cm de 4 botellas Pet tarda 3 minutos en levantarse. Realizando una regla de tres, se obtiene el tiempo de ejecución de un muro de 1 metro cuadrado. En la Tabla 12, se muestra este cálculo numérico. Es importante aclarar, que el tiempo obtenido no tiene en cuenta el llenado de las botellas, ni la realización de la mezcla suelo – cemento para el aglomerante.

Para construir un muro de 120 metro cuadrados, el ayudante se demoraría en una jornada de 8 horas al día, un total de cuatro días y 5 horas del día siguiente, es decir, aproximadamente, una semana de trabajo para obtener la construcción de un muro divisorio normal.

Tabla 12. Tiempo de Construcción de Muros con Material Reciclado

No Botellas	Área (m ²)	Tiempo
4	0.16	3 minutos
25	1.00	18 minutos y 45 segundos
3000	120.00	4 días 5 horas y 27 minutos (Jornada de 8 horas diarias).

Fuente: propia

Cuando el trabajador realiza la construcción de un muro de mampostería convencional de ciento veinte metros cuadrados (120 m^2), se demora alrededor de dos (2) días y cuatro (4) horas, en jornada de 8 horas al día. Es decir, el ayudante de construcción, aproximadamente gasta la mitad del tiempo de construcción en la mampostería convencional comparada con el muro construido en material reciclado.

8.2. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS.

La intención de este análisis es determinar el máximo rendimiento de la inversión de este tipo de proyectos y facilitar comparaciones racionales de las posibles opciones de construcción sostenible y asegurar que las decisiones sobre las inversiones de este tipo se adopten con responsabilidad detallando su costo y beneficio.

Con el propósito investigar que tan viable es construir con este tipo de material era necesario efectuar la construcción y observar en la práctica que tiempos y que dinero era necesario, tomando esto como base para llegar a conclusiones acertadas.

En el numeral 8.1, se observa detalladamente el análisis de tiempos de construcción de muros con material reciclado y mampostería convencional.

Con los datos obtenidos se realizó una estructura de costos para un metro cuadrado de muro en material reciclado.

8.2.1. Datos Iniciales del Modelo.

Para realizar el análisis económico se debe tener en cuenta unas suposiciones respecto a los costos generados para la construcción de edificaciones con este tipo de material, que dependen directamente de la región en donde se está desarrollando.

En el caso particular, se trabajo en Bucaramanga y además se tienen en cuenta estos otros aspectos.

Las botellas de plástico se consiguen en los centros de reciclaje de la ciudad.

La totalidad de los materiales que se necesitan para la construcción del muro, son de fácil obtención. Cuando no exista disponibilidad de los materiales, adicional al análisis de precios aquí contemplado, se debe adicionar el transporte del material al sitio de ejecución.

Es importante aclarar, que la construcción de este tipo de muro, no requiere de ningún equipo tecnológico, ni maquinaria; por lo tanto, no hay capital fijo invertido.

Para poder construir un muro con cualquier tipo de material, antes de iniciar el proceso de construcción, se debe realizar la clasificación de los suelos que se emplearán para la construcción y realizar los ensayos correspondientes, para poder obtener los esfuerzos de compresión soportados tanto por el material aglomerante de suelo – cemento y el esfuerzo de compresión soportado por el murete de material reciclado ya construido. En el caso particular, se empleo un suelo tipo SC – Arena Arcillosa.

8.2.2. Actividades a Realizar.

En base a esto se despliega que tipos de actividades se deben tener en cuenta para el desarrollo y construcción del muro en material reciclado.

Se debe tener en cuenta el costo de la mano de obra, transporte de materiales y el costo del personal, lo cual está desglosado en la Tabla 13.

Tabla 13. Análisis Unitario de Construcción de un metro cuadrado de Muro.

MATERIALES					
MANO DE OBRA			DIARIO	HORAS	VALOR HORA
JORNAL DIARIO OFICIAL DE CONSTRUCCIÓN			\$ 37,909	8	\$ 4,739
JORNAL AYUDANTE DE CONSTRUCCIÓN			\$ 28,081	8	\$ 3,510
HONORARIOS PROMEDIO INGENIERO			\$ 80,000	8	\$ 10,000
HONORARIOS PROMEDIO ARQUITECTO			\$ 80,000	8	\$ 10,000
HONORARIOS ADMINISTRATIVO			\$ 66,000	8	\$ 8,250
VALOR HORA DE LA MANO OBRA TOTAL					\$ 36,499
VOLQUETADA DE ARENA	CANTIDAD MATERIAL	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	CANTIDAD kg	VALOR UNITARIO
ARENA(140 butlos x 4400)	140	\$ 4,400	\$ 616,000	7000	\$ 88
TRANSPORTE	1	\$ 250,000	\$ 250,000	7000	\$ 36
VALOR KILO DE ARENA					\$ 124
CAMIONADO DE BOTELLAS	CANTIDAD MATERIAL	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	CANTIDAD kg	VALOR UNITARIO
BOTELLAS	3000	\$ 100	\$ 300,000	2000	\$ 150
TRANSPORTE	1	\$ 150,000	\$ 150,000	2000	\$ 75
VALOR UNIDAD DE BOTELLA					\$ 225
VOLQUETADA DE SUELO	CANTIDAD MATERIAL	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	CANTIDAD kg	VALOR UNITARIO
SUELO(140 bultos x 5000)	140	\$ 5,000	\$ 700,000	7000	\$ 100
TRANSPORTE	1	\$ 250,000	\$ 250,000	7000	\$ 36
VALOR KILO DE SUELO					\$ 136
CAMIONADO 3,5 DE CEMENTO	CANTIDAD MATERIAL	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	CANTIDAD kg	VALOR UNITARIO
CEMENTO (75 bultos x 18000)	75	\$ 18,000	\$ 1,350,000	3750	\$ 360
TRANSPORTE	1	\$ 100,000	\$ 100,000	3750	\$ 27
VALOR KILO DE CEMENTO					\$ 387
METRO CUBICO DE AGUA DE ACUEDUCTO			VALOR TOTAL	CANTIDAD LT	VALOR UNITARIO
AGUA			\$ 3,500	1000	\$ 3.5
TOTAL LITRO DE AGUA					\$ 4
INVERSIÓN FIJA EN HERRAMIENTA	CANTIDAD MATERIAL	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	VIDA UTIL EN METROS	VALOR X METRO
EMBUDOS	1	\$ 700	\$ 700	1,000	\$ 0.7
PALAS	1	\$ 14,750	\$ 14,750	2,000	\$ 7.4
PALUSTRES	1	\$ 8,550	\$ 8,550	2,000	\$ 4.3
NIVELADORES	1	\$ 10,000	\$ 10,000	2,000	\$ 5.0
PLOMADA	1	\$ 33,500	\$ 33,500	2,000	\$ 16.8
TOTAL COSTO HERRAMIENTA X METRO CUADRADO					\$ 34

Fuente: Propia

Para lograr el objetivo de obtener el título de Especialistas en Gerencia e Interventoría de Obras Civiles, el análisis unitario desarrollado, no es para auto construcción, si no, para la construcción de vivienda con muros divisorios en material reciclado en una supuesta empresa que los autores presidirían. El análisis unitario realizado en la Tabla 13, puede ser utilizado tanto para construcción de muros con material reciclado y construcción de muros en mampostería convencional.

Para realizar el análisis de la rentabilidad económica de la construcción de muros con material reciclado, se requiere determinar el tiempo en jornal/día para establecer la cantidad de dedicación de un ayudante de construcción para la realización de muros con material reciclado.

Primero se determina cuanto tiempo se demora el ayudante en el llenado de las botellas:

$$\text{Tiempo Llenado con Arena} = \frac{4\text{horas} + \frac{12\text{ min utos}}{60\text{ min utos}}}{8\text{ horas jornal}} = 0.525\text{días}$$

Para la realización de la mezcla del aglomerante que se utilizará en la construcción del muro, el ayudante se demora:

$$\text{Tiempo Realización Mezcla} = \frac{0\text{horas} + \frac{62.5\text{ min utos}}{60\text{ min utos}}}{8\text{ horas jornal}} = 0.1302\text{días}$$

Para la construcción del muro con material reciclado el ayudante se demora el tiempo siguiente:

$$\text{Tiempo Construcción Muro} = \frac{0\text{horas} + \frac{18\text{ min utos} + \frac{45\text{segundos}}{60}}{60\text{ min utos}}}{8\text{ horas jornal}} = 0.0391\text{días}$$

Después de obtener el tiempo de ejecución por parte de un ayudante de construcción para la realización de muros con material reciclado, se procede a realizar el análisis de la rentabilidad económica de la construcción de un metro cuadrado de muro en material reciclado con botellas PET y un muro en mampostería convencional.

En la Tabla 14, se muestra este análisis, de tal manera que se obtiene el valor de la construcción de un muro de un metro cuadrado de material reciclado.

Tabla 14. Análisis rentabilidad Económica de un metro cuadrado de muro con material reciclado con Botellas PET.

Actividades y Costos para la elaboración de 1 metro cuadrado de muro con material reciclado					
ACTIVIDADES	MATERIALES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO UNIDAD	PRECIO TOTAL
LLENADO DE BOTELLAS	ARENA	KILOGRAMOS	150	\$ 124	\$ 18,600.00
	BOTELLAS	UNIDADES	25	\$ 225	\$ 5,625.00
	MANO DE OBRA	DÍA	0.5250	\$ 36,499	\$ 19,161.98
TOTAL COSTO ACTIVIDAD					\$ 43,386.98
PREPARACIÓN DE MEZCLA	SUELO	KILOGRAMOS	200	\$ 136	\$ 27,200
	CEMENTO	KILOGRAMOS	100	\$ 387	\$ 38,700
	AGUA	LITROS	20	\$ 4	\$ 70
	MANO DE OBRA	DÍA	0.1302	\$ 36,499	\$ 4,752
TOTAL COSTO ACTIVIDAD					\$ 70,722.47
CONSTRUCCIÓN DEL MURO	MANO DE OBRA	DÍA	0.0391	\$ 36,499	\$ 1,426
	HERRAMIENTAS	VALOR METRO	1	\$ 34	\$ 34
TOTAL COSTO ACTIVIDAD					\$ 1,460
COSTO BRUTO DEL METRO CUADRADO DE MURO					\$ 115,569.3
RENTABILIDAD DEL SECTOR (30% DE RENTABILIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN)					\$ 34,670.8
GASTOS ADMINISTRATIVOS					0
IMPUESTOS					
OTROS					
PRECIO DEL PRODUCTO PARA EL MERCADO					\$ 150,240.1

Fuente: propia

Se puede apreciar que la mano de obra en el total de la actividad 1 un metro cuadrado cuesta ciento cincuenta mil doscientos cuarenta pesos con un centavo (\$150.240.1)

Para realizar el análisis de la mampostería convencional se requiere determinar el tiempo que se demora un ayudante en realizar la mezcla de mortero. Este tiempo, se tomó en obra con la construcción de un muro de un metro cuadrado.

$$Tiempo Realización Mortero = \frac{0 \text{ horas} + \frac{3 \text{ min } utos}{60 \text{ min } utos}}{8 \text{ horas } jornal} = 0.00625 \text{ días}$$

Para la construcción del muro de mampostería, el obrero por un metro cuadrado se demora aproximadamente 10 minutos, por lo cual se debe realizar la misma conversión a días jornal, así:

$$\text{Tiempo Construcción Muro} = \frac{0 \text{ horas} + \frac{10 \text{ min utos}}{60 \text{ min utos}}}{8 \text{ horas jornal}} = 0.02083 \text{ días}$$

En la Tabla 15, se observa el análisis económico de la construcción de un metro cuadrado de muro en mampostería convencional, después de realizar el análisis de tiempo de ejecución de un ayudante.

Tabla 15. Análisis rentabilidad económica de la construcción de un muro con mampostería convencional.

Actividades y Costos para la elaboración de 1 metro cuadrado de Mampostería					
ACTIVIDADES	MATERIALES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO UNIDAD	PRECIO TOTAL
LADRILLOS	LADRILLOS H-10	UNIDAD	15	\$ 365	\$ 5,480
PREPARACIÓN DE MEZCLA					
	CEMENTO	KILOGRAMOS	50	\$ 387	\$ 19,350
	AGUA	LITROS	3	\$ 4	\$ 11
	MANO DE OBRA	DÍAS	0.00625	\$ 36,499	\$ 228
TOTAL COSTO ACTIVIDAD					\$ 19,588.62
CONSTRUCCIÓN DEL MURO	MANO DE OBRA	DÍAS	0.0208333	\$ 36,499	\$ 760
	HERRAMIENTAS	VALOR METRO	4	\$ 33	\$ 134
TOTAL COSTO ACTIVIDAD					\$ 894
COSTO BRUTO DEL METRO CUADRADO DE MURO					\$ 20,482.6
RENTABILIDAD DEL SECTOR	(30% DE RENTABILIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN)				\$ 6,144.8
GASTOS ADMINISTRATIVOS					0
IMPUESTOS					
OTROS					
PRECIO DEL PRODUCTO PARA EL MERCADO					\$ 26,627.4

Fuente: propia

El valor del precio unitario de la construcción de un muro de metro cuadrado en mampostería convencional es de veintiséis mil seiscientos veintisiete pesos con cuatro centavos (\$26.627.4)

8.3. COMPARACIÓN DE LOS PRECIOS UNITARIOS POR PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE MUROS EN MATERIAL RECICLADO CON BOTELLAS PET Y MUROS EN MAMPOSTERÍA.

En el numeral 8.2, se muestra este análisis unitario por forma de construcción, se obtuvo que en una empresa particular, con precios de la ciudad de Bucaramanga, construir un metro cuadrado (1 m²) de muro con botellas PET, tiene un costo de ciento cincuenta mil doscientos cuarenta pesos con un centavo (\$150.240.1), mientras que el muro de mampostería H – 10, tiene un costo de veintiséis mil seiscientos veintisiete pesos con cuatro centavos (\$26.627.4).

Es importante anotar que esta diferencia de costos entre los dos sistemas de construcción, se presenta principalmente por el tiempo de ejecución en el sistema en los muros con material reciclado, ya que el ayudante (mano de obra) debe rellenar las botellas, realizar el material aglomerante (cuya cantidad es mayor que el mortero de pega de los muros de mampostería) y construir el muro, que demanda una mayor cantidad de tiempo por metro cuadrado.

El costo de la mano de obra para construir un metro cuadrado de muro de mampostería es novecientos ochenta y nueve pesos (\$989), mientras que la mano de obra para un muro construido con botellas recicladas PET es de veintiséis mil trescientos cuarenta con diecinueve centavos (\$26.340.19). En esta diferencia de costos, se observa que se incrementa en 25.63 veces el valor de este ítem, por lo cual se concluye que el tiempo de construcción de este sistema constructivo es más largo, que el sistema convencional, lo cual no genera rentabilidad en una empresa.

Además es importante resaltar que la construcción en el tiempo, en vez de valorizar su costo, se puede desvalorizar, por lo que representa para un comprador el hecho que vaya a adquirir una vivienda que está construida con muros, en los cuales visualmente observa que tiene botellas embebidas dentro de su estructura.

Este aporte es muy importante para el medio ambiente, pero no es viable en el sentido económico, por cuanto el costo de construcción es muy elevado en las dos formas que se puede realizar, como auto-construcción o como empresa.

9. CONCLUSIONES

Se realizó la caracterización de los materiales a utilizar en el aglomerante del muro construido con botellas PET, por cuanto se requería antes de la construcción de los muros determinar el porcentaje de suelo y cemento que se necesitaba para obtener un máximo esfuerzo de compresión en la mezcla.

Se pudo observar con los especímenes realizados para ensayar a compresión en el laboratorio, comparándolos con los esfuerzos obtenidos en la mampostería, que presenta un comportamiento similar respecto a los esfuerzos de compresión, por cuanto un muro de mampostería convencional H – 10, soporta un esfuerzo de compresión de 0.421 MPa, mientras que un muro construido con botellas PET (25 botellas por metro cuadrado) presenta un esfuerzo de compresión de 0.441 MPa.

Al realizar el análisis económico de los dos tipos de sistemas, se pudo observar que el costo se incrementa en 5.64 veces, respecto a la construcción de muros de forma convencional, lo que no genera rentabilidad para una empresa que quiera incursionar en estos procedimientos.

Respecto a la mano de obra en la ejecución de uno y otro sistema, se puede establecer que por el tiempo llenado de botellas, de realización de la mezcla de aglomerante y por el levantamiento del muro, que es más detallado, el ayudante de construcción demora más tiempo en construir un muro con material reciclado de botellas PET rellenas de arena, que en construir un muro de mampostería convencional con unidades H – 10. El costo en el sistema con material reciclado, se incrementa en 25.63 veces respecto al convencional.

El método de construcción es viable para el medio ambiente pero económicamente no es apto para construir, puesto que la mano de obra de este tipo de construcción no es económica y los gastos son mucho mayores que una construcción con mampostería convencional.

El tiempo de construcción es flemático en este nuevo método de construcción sostenible, por cuanto se requiere llenar las botellas con arena y esto tarda el avance de la obra y entre más tiempo, más dinero se invierte.

La obtención de los materiales reciclados a utilizar en el sistema constructivo estudiado, en este caso las botellas PET, es de fácil alcance, por cuanto la sociedad consume grandes cantidades de este producto, que abundan en los centros de reciclaje de la ciudad de Bucaramanga y se venden a muy bajos precios.

La inversión de mano de obra no justifica el costo de materiales y sistema constructivo planteado llegando a la conclusión de que el sistema tradicional ofrece mejores condiciones costos y beneficios.

10. RECOMENDACIONES

Se puede plantear otro tipo de material de relleno diferente a la arena como escombros de construcciones o material no biodegradable como bolsas de plástico, residuos de poliestireno expandido, residuos de madera de tal manera que se puedan bajar los costos del relleno utilizado para las botellas, a lo cual se debe realizar un análisis económico y de esfuerzos, independiente al desarrollado en esta monografía.

Se debe buscar un procedimiento adecuado, de tal manera que al realizar el aprovechamiento de los materiales reciclados, no se genere un alto costo y de esta manera pueda ser un proceso utilizable en viviendas de interés social, para producir soluciones sostenibles y viables.

La tecnificación para el llenado de las botellas de este sistema constructivo, sería necesaria para en un futuro lograr su máxima optimización.

Se recomienda realizar un estudio con acerca de la distribución de las botellas, ya que si se colocan de manera vertical, pueden lograrse mejores esfuerzos de compresión, ya que la carga se distribuye de mejor manera a través de la botella.

11. BIBLIOGRAFÍA

GAMBOA, Cristian. MEDINA, María del Pilar. No todo lo que brilla es verde. En: Construcción Sostenible. Construdata. Diciembre 2009, Junio 2010, No.1,p.32-33

GAMBOA, Cristian. MEDINA, María del Pilar. Buscando el verde perdido. En: Construcción Sostenible. Construdata. Diciembre 2009, Junio 2010, no.1,p.34

CÁRDENAS, Mery. Construcción con botellas plásticas desechables [on line].[cited 12 Nov., 2010]. Available from Internet: <http://construccionconbotellas.blogspot.com/2008/11/construccin-con-botellas-plsticas.html>

TELLEZ LUNA, Miguel. Finanzas de la Construcción: El tiempo en la Construcción. Pág. 86-88. Bhandar Editores. 4ta Edición 2010.

BRADBURY Alexandra. Green Construction: An answer to the twin financial and climate changes. Harvard International Review [serial online]. 2010. No 32. Pág:28-31. Available from: Academic Search Complete, Ipswich, MA. Consultado: Marzo 15, 2011.

Plank R. The principles of sustainable construction. *IES Journal Part A: Civil & Structural Engineering* [serial online]. Noviembre de 2008;No 1. Pág:301-307. Disponible en: Academic Search Complete, Ipswich, MA. Acceso: Marzo 15, 2011.

BOWLES, Joseph. Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil. Editorial: McGraw – Hill. 1978. Pág 73 – 77

República de Colombia. Ministerio de Transporte. Instituto Nacional de Vías. Subdirección de Apoyo Técnico. Normas de Ensayo. Norma No 123-125 –126-INV 07. Determinación del Límite Líquido de los Suelos. 2007

Norma Técnica Colombiana 220. Determinación de la Resistencia de Morteros de Cemento Hidráulico Usando Cubos de 50 mm ó 50.8 mm de Lado. 2004-12-01. ICONTEC. 4a Edición. Pág. 5-9.

GONZÁLEZ REYES, Jorge Luis. TORRES USTARIZ, Jose Mario. Comparación de Resultados entre Refrentado de Neopreno y Yeso en Unidades de Mampostería y Muretes Fallados a Compresión. Trabajo de Grado para Optar al título de Ingenieros Civiles. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. 2010.