

**EVALUACIÓN MECÁNICA DE ECOLADRILLOS ELABORADOS CON RESIDUOS
PLASTICOS**

NÉSTOR DARÍO HERNÁNDEZ VARGAS
ID: 000138498

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2014

**EVALUACIÓN MECÁNICA DE ECOLADRILLOS ELABORADOS CON RESIDUOS
PLASTICOS**

NESTOR DARIO HERNANDEZ VARGAS
Id: 000138498

DIRECTOR:
MARÍA FERNANDA SERRANO GUZMÁN, PH.D.

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2013

Nota de aceptación.

Firma del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga, fecha _____

DEDICATORIA

A Dios todo poderos, Luz, camino y verdad de la vida.

A mis padres Luis Darío y Luz Helena por su paciencia, apoyo incondicional y fortalecer mi vida con sus consejos y siempre estar ahí cuando los necesito.

A mi abuela Florinda Bernal, por ser la persona más influyente en mi vida y creer siempre en mí.

A mi Hermana Daniela Fernanda, por ser una personal incondicional y acompañarme en todos mis proyectos.

A mi sobrino Luis Miguel, quien ha sido el motor fundamenta de mi vida en estos últimos cinco años.

A mis hermanos y demás familiares que siempre me apoyan.

A mis amigos incondicionales Nathalie Silva, Astrid Pérez, Adrián Villamizar, Elkin Suarez, Wilmer Méndez, Rafael Cassaleth.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial a la doctora María Fernanda Serrano Guzmán, por creer, apoyar e impulsar este proyecto que es fundamental en mi vida.

A la Ingeniera Consuelo Castillo por permitirme desarrollar este proyecto.

A la Universidad Pontificia Bolivariana por el proceso formativo como profesional.

A la selección de Ultimate UPB, por formar en mí el sentido de pertenencia durante estos últimos cuatro años y de seguir luchando día a día.

A todos mis compañeros y amigos con quienes compartí y sigo compartiendo mi proceso de formación integral.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION.....	14
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	15
1.3 ALCANCE DEL TRABAJO DE GRADO.....	15
1.4 OBJETIVOS.....	16
1.5 RELEVANCIA DEL TEMA.....	17
1.6 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO DE TESIS.....	17
2. MARCO TEÓRICO.....	19
2.1 MARCO LEGAL	19
2.1.1 Construcción Sostenible o Verde.....	21
2.1.2 Materiales bioclimáticos.....	22
2.1.3 Tierra base como base fundamental de la construcción.....	23
2.2 LOS PLÁSTICOS COMO MATERIA PRIMA PARA PRODUCCIÓN DE ECO-LADRILLOS	24
2.2.1 Eco-ladrillo	25
2.2.2 Eco-ladrillos en Colombia	25
2.2.3 Tipos de plásticos	26
3. METODOLOGIA.....	29
3.1 IDENTIFICACIÓN Y VALORIZACIÓN DE MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DE ECOLADRILLOS	29
3.2 FABRICACIÓN DE ECO-LADRILLOS	29
3.4 ESTUDIOS DE RESISTENCIA A LOS ECOLADRILLOS MEDIANTE PRUEBAS MECÁNICAS DE COMPRESIÓN Y CARGA DE MURETES.....	35
3.5 EVALUAR LA VIABILIDAD ECONÓMICA DE LA PUESTA EN MARCHA DE UNA FÁBRICA DE ECOLADRILLOS.....	35
4. RESULTADOS	36
4.1 SELECCIÓN DE MATERIALES.....	36
4.2 PREPARACIÓN DE LOS ECO-LADRILLOS	38
4.2.1 Especificaciones mampuestos de concreto aligerado	38
4.2.2 Especificaciones mampuestos de Arcilla.....	40
4.2.3 Especificaciones muretes	41
4.2.4 ANÁLISIS DE COMPRESIÓN PARA LOS TUBOS DE CARTÓN	46
4.3 ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA PARA FÁBRICA DE ECO-LADRILLOS	48
4.3.1 ESTUDIO DEL MERCADO.....	48
4.3.1.1 Producto.....	48
4.3.1.2 Servicio.....	50
4.3.1.3 Oferta	50

4.3.1.4	Comercialización	50
4.3.1.5	Precio	50
4.3.2	Estudio técnico	51
4.3.2.1	Optimización del tamaño y localización de la planta	51
4.3.2.2	Ingeniería del proyecto	53
4.3.2.3	Análisis administrativo	56
4.3.3	Estudio económico	57
4.3.3.1	Determinación de costos totales e inversión inicial	57
4.3.3.4	Evaluación económica.....	59
5	ANALISIS DE RESULTADOS	60
6	CONCLUSIONES.....	68
7	RECOMENDACIONES	70
8	BIBLIOGRAFIA.....	72
9	ANEXOS	74

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Normatividad ambiental.....	20
Figura 2. Ciudad amurallada de Shibam.	
Figura 3. Ciudad de hibam(Yemen).	24
Figura 4 Ksar Ait Ben Haddou (Marruecos).....	24
Figura 5: a) Puerto Libertador, Monte Líbano, Córdoba Construcción de un Muro para dividir un aula y hacer la sala de computadores. b) Banca en Forma de Espiral, GIMFA, Bogotá, c) Mesa Redonda, GIMFA, Bogotá	26
Figura 6. Estadísticas de producción de plásticos entre 1950 y 2012.....	28
Figura 7. Metodología para la elaboración de ecoladrillos.	30
Figura 8. Materiales para la fabricación de concreto.....	39
Figura 9. Construcción de bloque de concreto	
Figura 10 Construcción de bloque de concreto.....	39
Figura 11 Fraguado	
Figura 12 Secado.....	39
Figura 13 Material para la fabricacion de adobes.	
Figura 14 Mezcla de materiales para fabricacion de adobes	40
Figura 15 Mezcla de materiales para fabricacion de adobes	
Figura 16 Prototipos iniciales	41
Figura 17 Secado de adobe.	
Figura 18 Prototipos finales.....	41
Figura 19 Muretes de concreto.	
Figura 20 Muretes de concreto.....	42
Figura 21 Muretes de concreto.....	42
Figura 22. Muretes de Arcilla	
Figura 23 Muretes de Arcilla.....	42
Figura 24. Muretes de Arcilla	
Figura 25. Muretes de Arcilla.....	43
Figura 26 Montura en la maquina universal.	
Figura 27 Fallas después de la prueba de compresión.....	44
Figura 28 Montura en la maquina universal.	
Figura 29 Fallas después de la prueba de compresión.....	44
Figura 30 Fallas después de la prueba de compresión.....	45
Figura 31. Montura en la maquina universal	
Figura 32 Fallas después de la prueba de compresión.....	45
Figura 33 Fallas después de la prueba de compresión.....	45

Figura 34. Tubos de cartón.	
Figura 35. Prueba mecánica	47
Figura 36. Falla del tubo.....	47
Figura 37. Localización de la planta de ecoladrillos.	52
Figura 38. Etapa de planeación.....	53
Figura 39. Etapa de ejecución.....	54
Figura 40. Etapa de operación.	54
Figura 41. Distribución de la planta	55
Figura 42. Analisis administrativo.....	56
Figura 43. Comportamiento del peso frente al volumen aligerado en ejemplares de concreto.....	61
Figura 44. Comportamiento del esfuerzo frente al peso en ejemplares de concreto.....	61
Figura 45. Ladrillo convencional H10	62
Figura 46. Comparación del esfuerzo para muretes de arcilla.	64
Figura 47. Mampuesto arcilla.	
Figura 48. Mampuesto arcilla- yeso 4-1	64
Figura 49 . Mampuesto arcilla-yeso 2-1.	
Figura 50. Mampuesto A-Y-Ps	65
Figura 51. Error al fallar murete A_1	
Figura 52. Error al fallar murete A_2	65
Figura 53. Error al fallar murete en concreto aligerado.	65
Figura 54. Ensayo de compresión de muretes H10	66

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de plásticos.	27
Tabla 2. Resultado pruebas preliminares al agregado fino:	31
Tabla 3. Resultado pruebas preliminares al agregado grueso:	31
Tabla 4. Residuos seleccionados de acuerdo a su composición estructural y condición física, para la elaboración de los ecoladrillos.	36
Tabla 5. Especificaciones de los residuos sólidos, para análisis de laboratorio.....	38
Tabla 6. Especificaciones de elaboración para prototipos de concreto aligerado	38
Tabla 7. Promedio de resultados de los prototipos elaborados con arcilla.....	40
Tabla 8. Especificaciones y resultados de la prueba de compresión a muretes de concreto aligerado.....	43
Tabla 9. Especificaciones y resultados de la prueba de compresión a muretes de arcilla-yeso.....	43
Tabla 10. Especificaciones y resultados de la prueba de compresión a muretes de arcilla-yeso-pasto.	44
Tabla 11. Tubo de cartón 7 ml de espesor	46
Tabla 12. Tubo de cartón 14 ml de espesor.....	46
Tabla 13. Características del producto.....	49
Tabla 14.	51
Tabla 15. Opciones para localización de la planta.	52
Tabla 16. Convenciones.....	56
Tabla 17. Presupuesto.	57
Tabla 18. Primer año.....	59
Tabla 19. Flujo a tres años.....	59
Tabla 20. evaluación económica para el primer años	59
Tabla 21. Evaluación económica para los tres primeros años.	59
Tabla 22. Comportamiento de mampuesto en concreto aligerado mediante residuos plásticos, en cuanto a su peso y el esfuerzo expuesto.	60
Tabla 23. Comportamiento del peso y esfuerzo, en mampuestos en arcilla.	62
Tabla 24. Comparación en peso de mampuestos	63
Tabla 25. Comparación del esfuerzo para muretes en arcilla.	63
Tabla 26. Propiedades físicas de las unidades de mampostería estructural.....	66
Tabla 27. Propiedades físicas de las unidades de mampostería no estructural.....	66

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1	74
Anexo 2	80
Anexo 3	81
Anexo 4	83
Anexo 5	85
Anexo 6	87
Anexo 7	89

RESUMEN

Título: Evaluación mecánica de ecoladrillos elaborados con residuos plásticos
Autor: Néstor Darío Hernández Vargas
Facultad: Ingeniería Ambiental
Directora: María Fernanda Serrano Guzmán, Ph.D.

La evaluación mecánica de ecoladrillos consistió en aprovechar diferentes tipos de residuos sólidos, en especial los residuos plásticos que por su condición y composición no tiene ningún valor comercial en la cadena del reciclaje y que debido a su alta producción generan diversos impactos al ambiente. Inicialmente se contó con diversos residuos plásticos generados en la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, a los cuales se les sumo los tubos de cartón provenientes de litografías y residuos de excavación (escombro) del fase de adecuación del terreno del Hospital Internacional de Colombia, teniendo en cuenta este material y contando con un alto porcentaje de botellas plásticas de 500ml se llevó a cabo la construcción de diferentes prototipos con el objetivo de seleccionar los más indicados para elaborar muretes, establecidos los prototipos de ladrillos ecológicos y muretes se llevó a cabo compresión mecánica de estos en la maquina universal de compresión, obtenidos los diferentes resultados al someter los mampuestos a diferentes esfuerzos, se realizó el estudio de viabilidad económica para la creación de una fábrica de ecoladrillos teniendo como fuerte el aprovechamiento de los residuos de excavación para la creación de adobes o ladrillos ecológicos. De acuerdo a lo anterior se concluye que la fabricación de ecoladrillos es proceso encaminado hacia un desarrollo sostenible fomentando la construcción de viviendas a base de residuos sólidos.

PALABRAS CLAVES:

Ecoladrillo, muretes, adobe, residuos y pruebas mecánicas

ABSTRACT

Title: Evaluación mecánica de ecoladrillos elaborados con residuos plásticos
Author: Néstor Darío Hernández Vargas
Faculty: Ingeniería Ambiental
Director: María Fernanda Serrano Guzmán, Ph.D.

The ecobricks mechanical evaluation consisted in taking advantage of different types of solid waste, plastic waste in special which by their condition and composition doesn't have any commercial value in the recycling chain and due to their high production generate different impacts on the environment. At first, several plastic waste generated at Universidad Pontificia Bolivariana sectional Bucaramanga was taken, to which were added cardboard tubes from lithographs and excavation waste (debris) of the adequacy phase of Colombia's International Hospital terrain, taking into consider this material and counting with a high percentage of 500ml plastic bottles, the construction of different prototypes was made in order to select the most suitable for making walls, once prototypes of ecologic bricks and walls were established, the mechanical compression of these took place in the compression universal machine, when the results of subjecting the masonry to different efforts were obtained the economic feasibility study for the creation of a ecobricks factory, having as a strength the leveraging of excavation waste for the elaboration of bricks or ecologic bricks, was made. According to the above, it is concluded that the manufacturing of ecobricks is a process aimed towards a sustainable development by promoting the construction of housing based on solid waste.

KEYWORDS:

Ecoladrillo, low walls, mud, debris and mechanical tests

1. INTRODUCCION

Desde los años 70 se viene formando un proceso investigativo, práctico y cultural en el que interactúan diferentes corrientes del conocimiento para proveer bienestar y garantizar el equilibrio con la naturaleza, que independiente de su origen aplican el concepto de Ecología establecido por Ernst Heinrich Philipp August Haeckel, palabra que tiene como significado etimológico el estudio de la casa, y que a partir de este concepto personas como: Hernet Minke arquitecto alemán conocido como el padre de la bioconstrucción ha impulsado y promovido esta práctica en las últimas décadas donde tiene como motor fundamental la construcción a base de tierra (Minke 1974), de igual manera por esta década el señor Bill Mollison (Australiano) conocido como padre de la permacultura (Mollison, 1970), viene impulsando este movimiento que ha tomado fuerza en todo el mundo, promoviendo buenas prácticas para el aprovechamiento adecuado de los recursos. De igual manera por esta década se lleva a cabo la primera cumbre de la tierra en Estocolmo 1972 donde se empieza a formar el concepto de Desarrollo Sostenible.

Teniendo en cuenta esta década y partiendo de estos grandes investigadores, hoy en día el arquitecto estadounidense Mike Reynolds ha construido comunidades a base de residuos sólidos, donde aplica sus conocimientos de arquitectura y el enfoque del Desarrollo Sostenible para generar bienestar a comunidades necesitadas (Reynolds 1998), basado en esta información y en la experiencia transmitida por estas personas se plantea realizar una evaluación mecánica a mampuestos elaborados a base de residuos sólidos, donde se seleccionaran y clasificaran diferentes materiales desechados con o sin ningún valor comercial para transformarlos e incluirlos en los procesos de construcción de vivienda.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Hoy en día es importante implementar iniciativas que propendan por el cuidado ambiental con las cuales se logre la conservación y en lo posible, el mejoramiento de los ecosistemas. Por ello, existen corrientes temáticas en las cuales se buscan alternativas para el aprovechamiento de diferentes tipos de residuos. Los residuos plásticos representan un problema particular de disposición, debido a su extenso proceso de descomposición y a la constante entrada de estos en los rellenos sanitarios y botaderos. También la gran variedad que se tienen y que un alto porcentaje de estos no son incluidos en las cadenas del reciclaje por su composición estructural y las pocas alternativas que hay para reutilizarlos e incorporarlos en las distintas cadenas productivas.

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

El estudio de los ecoladrillos, no solo se basa en desarrollar unas pruebas físicas a los diferentes elementos que la componen, sino también realizar una valorización de estos elementos, asimismo es importante reconocer que para implementar esta práctica se debe ejecutar programas y proyectos que impulsen la fabricación de ecoladrillos, basados en el concepto de consumidor responsable. Teniendo en cuenta, la problemática que generan los diferentes residuos, es significativo ejecutar prácticas sencillas que permitan aprovechar los residuos de manera eficaz, para emplearlos en la construcción de vivienda.

1.3 ALCANCE DEL TRABAJO DE GRADO

La evaluación mecánica de ecoladrillos, abarcó la fabricación de ladrillos ecológicos, utilizando un envase pet relleno con material no reciclable para el aligeramiento del concreto, de igual manera se dio aprovechamiento a los residuos de excavación provenientes de la adecuación del terreno de obras civiles, para la elaboración de adobes. Para esto se tuvieron en cuenta los diferentes materiales que son desechados a diario en el ámbito social de cualquier comunidad. Con esta investigación se establece la importancia de recuperar diferentes materiales desechados, para incluirlos nuevamente en el ciclo de vida, pero no con el objetivo principal para el cual fueron creados, sino con el objetivo de implementarlos en los procesos de construcción, y así garantizar un aprovechamiento óptimo, mostrando alternativas de materiales a base de residuos sólidos. Este estudio sugiere también otros temas para continuar aportando sobre el tema.

Los ecoladrillos evaluados se establecieron en dos grupos: 1) concreto aligerado con cuatro prototipos, 2) ladrillos base de residuos de excavación con 8 prototipos.

1.4 OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar la capacidad mecánica de ecoladrillos elaborados con residuos plásticos.

Objetivos específicos

- Identificar materiales para la fabricación de los ecoladrillos.
- Seleccionar un prototipo de ecoladrillo.
- Realizar las pruebas mecánicas de carga de muretes construidos con los ecoladrillos.
- Evaluar la viabilidad económica de la puesta en marcha de una fábrica de ecoladrillos.

1.5 RELEVANCIA DEL TEMA

En el marco del convenio de colaboración convenio Ecopetrol-UPB N°AC-02 adscrito al convenio marco ICP 5211508. Se incluyó el tema de materiales bioclimáticos, en el cual se incluyen los ecoladrillos. Resultados de este trabajo fueron presentados en el 6^{to} Encuentro Nacional de Residuos Sólidos. “Convirtiendo los Residuos Sólidos en Energía: Hacia la Sustentabilidad, en el mes de septiembre de 2013 con el artículo Ladrillos verdes: opción para materiales recuperados sin valor comercial reconocido. (Anexo 1). Participación en el X encuentro regional de semilleros de investigación Nodo Santander en el mes de mayo de 2014.

1.6 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO DE TESIS

La metodología y resultados de este trabajo están organizados de la siguiente forma:

Capítulo 1 Introducción.

En la primera etapa se muestran las razones que motivaron este trabajo, teniendo en cuenta los antecedentes y se plantean los objetivos del mismo.

Capítulo 2 Marco Teórico.

En este capítulo se establecen la información en la cual se fundamenta el documento, partiendo de su marco legal ambiental, estadísticas, antecedentes, e información relevante sobre procesos de construcción ecológica.

Capítulo 3 Metodología de investigación.

Aquí se describen las etapas seguidas para este trabajo, principalmente: Identificación y valorización de materiales para la fabricación de eco-ladrillos, Fabricación de Eco-ladrillos, Fabricación de muretes, Evaluar la viabilidad económica de la puesta en marcha de una fábrica de eco-ladrillos.

Capítulo 4 Resultados.

Los resultados obtenidos se organizaron para dar cumplimiento a los objetivos trazados por lo cual se incluyen resultados con relación a la selección de los materiales, preparación del eco-ladrillo y las especificaciones de mampuestos con concreto aligerado y con arcilla, de los ensayos de los muretes, así como también de la viabilidad económica para fabricación de eco-ladrillos.

Capítulo 5 Análisis de Resultados.

Aquí se encuentran el análisis realizado al comportamiento de los diferentes mampuestos de acuerdo a sus composiciones físicas, el análisis en la variación de resultados que corresponde a los mampuestos y muretes de características similares y los factores que pudieron alterar los resultados esperados.

Capítulo 6 Conclusiones.

En este capítulo se encuentran especificados y justificados todos los aciertos a los objetivos planteados en la investigación.

Capítulo 7 Recomendaciones.

Se organizaron una serie de recomendaciones con el objetivo de darle continuidad a esta investigación y promover el aprovechamiento de los diferentes residuos sólidos que se generan en la Universidad.

Capítulo 8 Bibliografía.

Aquí se encuentran todos los referentes bibliográficos los cuales fundamentan el estudio realizado.

Capítulo 9 Anexos

En este capítulo se encuentran las tablas detalladas de los resultados obtenidos en todo el proceso de investigación.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 MARCO LEGAL

Los residuos como todo material se encuentran clasificados dependiendo de sus características, su composición física, su origen, si son aprovechables o no aprovechables, al igual si son un riesgo para la comunidad. El hombre al paso de la historia se ha ingeniado gran variedad de herramientas y materiales, que le han servido para satisfacer las necesidades y cumplir con sus obligaciones, facilitando así los trabajos que realiza y reduciendo sus esfuerzos. Para esto ha empleado la naturaleza como la fuente principal para conseguir estas herramientas, pero con el tiempo las ha venido tecnificando dejando obsoletas las anteriores, desechándolas y arrojándolas en los lugares donde no le estorben. He aquí el comienzo de los residuos que con el paso del tiempo se ha venido intensificando convirtiéndose en un problema global que tiene como fuente el hombre. La Figura 1 resume las principales normas ambientales relacionadas con el uso y cuidado de los recursos naturales y residuos sólidos.

Particularmente, el decreto 2981 de diciembre de 2013 (Congreso de la República, 2013) y 838 del 2005 (Congreso de la República, 2005) de Colombia dan las siguientes definiciones a los residuos sólidos y los clasifican, aquí no se toma en cuenta la clasificación dependiendo del origen. A continuación se presentan definiciones extractadas de esta normatividad:

“Residuo sólido o desecho. Es cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios, que el generador abandona, rechaza o entrega y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o de disposición final.

Los residuos sólidos se dividen en aprovechables y no aprovechables. Igualmente, se consideran como residuos sólidos, aquellos provenientes del barrido y limpieza de áreas y vías públicas, corte de césped y poda de árboles.

Residuos de barrido de áreas públicas. Son los residuos sólidos acumulados en el desarrollo del barrido y limpieza de las mismas.

Residuos de limpieza de parques y jardines. Son los residuos sólidos provenientes de la limpieza o arreglo de jardines y parques, corte de césped y poda de árboles o arbustos ubicados en zonas públicas.

Residuo o desecho peligroso. Es aquel que por sus características infecciosas, tóxicas, explosivas, corrosivas, inflamables, volátiles, combustibles, radiactivas o reactivas puedan causar riesgo a la salud humana o deteriorar la calidad ambiental hasta niveles que causen riesgo a la salud humana. También son residuos peligrosos aquellos que sin serlo en su forma original se transforman por procesos naturales en residuos peligrosos. Así mismo, se consideran residuos peligrosos los envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con ellos.

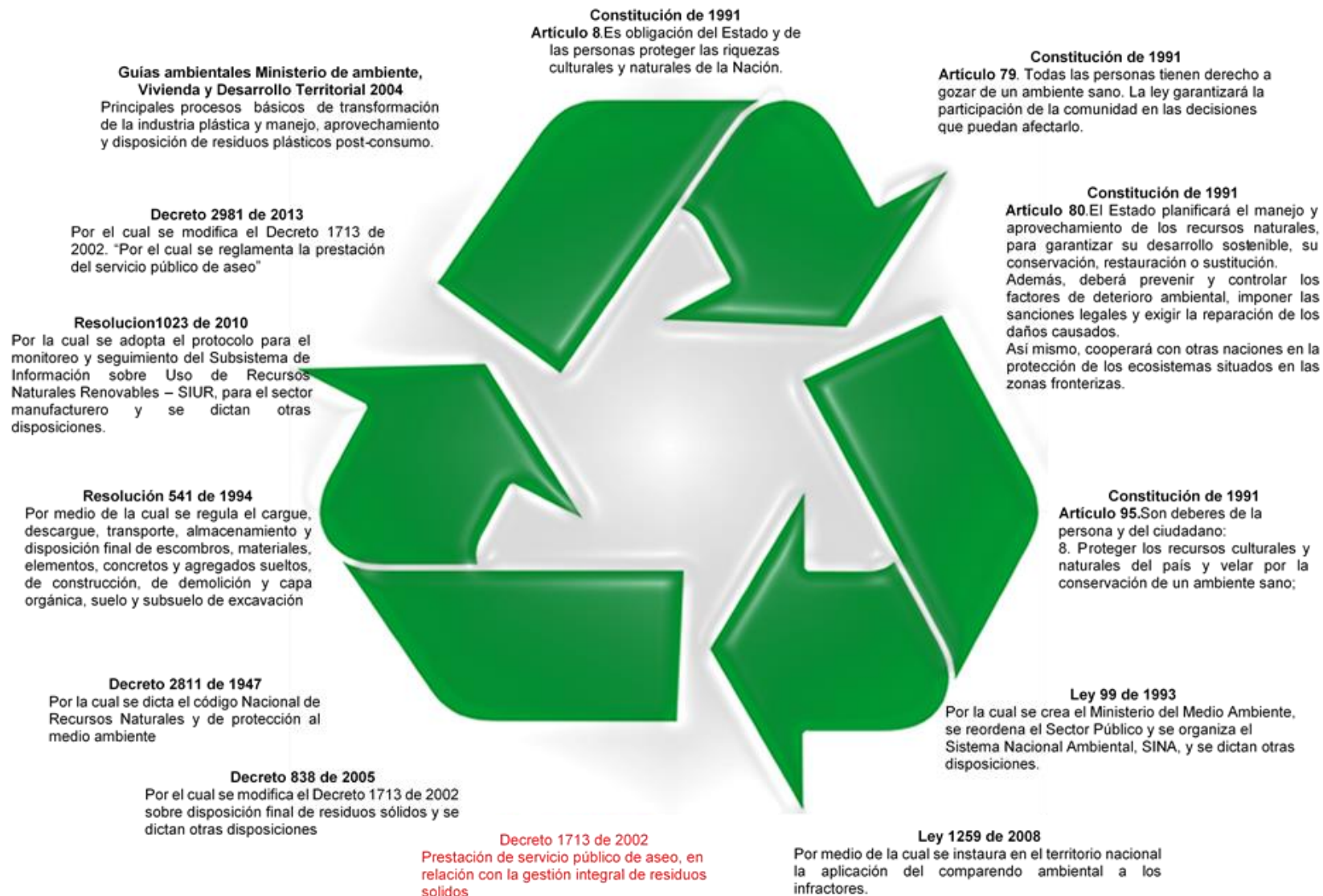


Figura 1. Normatividad ambiental

Residuo sólido aprovechable. Es cualquier material, objeto, sustancia o elemento sólido que no tiene valor de uso directo o indirecto para quien lo genere, pero que es susceptible de incorporación a un proceso productivo.

Residuo sólido no aprovechable. Es todo material o sustancia sólida o semisólida de origen orgánico e inorgánico, putrescible o no, proveniente de actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios, que no ofrece ninguna posibilidad de aprovechamiento, reutilización o reincorporación en un proceso productivo. Son residuos sólidos que no tienen ningún valor comercial, requieren tratamiento y disposición final y por lo tanto generan costos de disposición.

Generador o productor. Persona que produce residuos sólidos y es usuario del servicio.

Escombros: Es todo residuo sólido sobrante de las actividades de construcción, reparación o demolición, de las obras civiles o de otras actividades conexas, complementarias o análogas.”¹

2.1.1 Construcción Sostenible o Verde

La construcción sostenible es un ejemplo claro de la aplicación del concepto Desarrollo Sostenible, definición establecida en 1987, en el libro Nuestro Futuro Común que finalmente se conoció como Comisión de Brundtland (ONU, Informe de Brundtland, desarrollo sostenible, 1987). El uso racional de los recursos naturales y el aprovechamiento de los residuos, para emplearlos en los procesos de construcción, son estrategias y mecanismos que muestran la aplicación del concepto establecido en 1987, el cual permite preservar los recursos, para garantizar la estabilidad natural, social y económica de las siguientes generaciones.

La construcción sostenible, verde o ecológica, al estar ligada al concepto de Desarrollo Sostenible, involucrando procesos de producción limpia durante el periodo de vida de la edificación, basados en una planificación coherente, la CCCS (Consejo Colombiano de Construcción sostenible) lo define como “*las mejores prácticas durante todo el ciclo de vida de las edificaciones (diseño, construcción y operación)*”². Se busca con esto promover proyectos integrales donde se realice una armonía entre la edificación y su entorno teniendo en cuenta el componente social, el cual es fundamental para desarrollar las diferentes prácticas y responsabilidades que este proceso trae para la preservación de los recursos naturales y la disminución de todos aquellos impactos que afecten al ambiente. En el esquema de proyectos integrales se establecen mecanismos para el manejo eficiente de la energía, el agua, el manejo integral de los residuos sólidos. De ahí la importancia de la planificación, porque se abarca todos los

¹Definiciones Decreto 1713 de 2002, Decreto 838 de 2005 para Colombia, enero 2014.

²Definición construcción sostenible por el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, (<http://www.ccs.org.co/construccion-sostenible/que-es>), octubre 2013.

procesos que se van a desarrollar en la edificación como : ubicación del lugar o la zona donde se va a construir, materiales, diseño estructural, diseño interno de la obra; esto para la etapa de construcción, donde se contemplan aspectos importantes como la ventilación y la iluminación natural, al igual los criterios de diseño para los sistemas hidráulicos para el reúso del agua lluvia de manera interna, de la misma manera los sistemas sanitarios para el reúso de las aguas grises para jardines, y en la etapa de operación ya se nombraron con anterioridad donde se dará uso racional y eficientes de los servicios básicos.[2]

La construcción sostenible tiene tres bases fundamentales: el ambiente, la economía y la sociedad (Concejo Colombiano de Construcción Sostenible, 2013). Esto garantiza que los programas y proyectos a desarrollar, se lleven a cabo de manera integral; ya que es importante que este tipo de edificaciones de manera individual y masiva no generen grandes impactos negativos al ambiente, de igual manera no deben tener un alto costo, porque se convertirían en un lujo más que en una solución y a su vez las comunidades deben estar preparadas para adaptarse y asumir las responsabilidades que éstas conllevan. [3]

La construcción sostenible es una solución a los diferentes procesos de construcción convencional, siendo una estrategia amigable para el ambiente, teniendo en cuenta que es un proceso integrado y no procesos aislados como el darle aprovechamiento al agua lluvia o instalar paneles solares. Un factor importante es integrar diferentes procesos que garanticen una eficiencia energética, un ahorro económico y la mejor solución que mitigue y reduzca los impactos ambientales ocasionados por las viviendas y los centros urbanos.

Los procesos de mejora continua en la industria de la construcción han incentivado a la creación de construcciones ecológicas, que promueven el respeto por el ambiente disminuyendo los impactos causados por esta, fomentando nuevas alternativas de construcción, que son meritorias de certificados internacionales teniendo en cuenta las siguientes categorías: emplazamiento, gestión de agua, calidad de ambiente interior, materiales, energía y atmosfera. LEED (Líder en Eficiencia Energética en Diseño Ambiental), y que finalmente es considerada el estándar en construcción ecológica con mayor prestigio en el mundo”³. [2]

2.1.2 Materiales bioclimáticos

La naturaleza como eje central de la vida es un sistema equilibrado que independientemente de sus cambios, siempre tiende a un comportamiento estable, autorregulándose para garantizar la vida y mantener un equilibrio

³Green Living

http://www.greenlivingprojects.com/leed_doc.php?ID=9 , septiembre 2013.

climático; esto se ve en los diferentes ecosistemas, donde interactúan los sistemas bióticos y abióticos. El hombre al ver este comportamiento ha querido utilizar los diferentes elementos que componen la naturaleza para satisfacer sus necesidades y ahí generar un confort que le permita tener calidad de vida y estar en armonía con la naturaleza.

Estudios que se desarrollan hoy en día han demostrado que materiales provenientes de recursos renovables como: Fibras naturales de origen vegetal, elementos y materiales que se encuentran en abundancia como el suelo y sus componentes, material forestal y residuos sólidos, que por sus características estructurales tiene la capacidad de generar confort térmico, son considerados materiales bioclimáticos (Restrepo, 2012). Muchos de los materiales mencionados anteriormente en su estado natural y agrupados de manera ordenada proporcionan estabilidad climática en las edificaciones y otros al combinarse garantizan este equilibrio térmico. [6]

2.1.3 Tierra base como base fundamental de la construcción

La tierra es una mezcla de arcilla, limo y arena y también con agregados mayores como grava y piedra (componentes gruesos). Aunque su distribución no es uniforme los suelos poseen diferentes propiedades que dependen de sus componentes estructurales debido a que éstos determinan su textura, estructura, color, permeabilidad, porosidad, drenaje, consistencia.

Teniendo en cuenta estas propiedades el suelo ha sido la base fundamental de la construcción a lo largo de la historia del hombre, se han encontrado edificaciones en barro elaboradas hace uno 9000 años (Minke 2005). Así mismo, se encuentran varias comunidades que han construido sus viviendas a lo largo de la historia como: La antigua ciudad amurallada de Shibam (Yemen), es conocida como "la Manhattan del desierto" o la ciudad de rascacielos más vieja en el mundo (ver Figura 2 y 3), su existencia data del siglo II a.C y del siglo III dc, en esta ciudad en el medio del desierto se encuentra edificios que cuentan con 8 pisos de altura. También se encuentra Ksar Ait Ben Haddou (Marruecos), pueblo construidos a base de barro y paja (ver Figuras 4). Todas las culturas milenarias han construido a base de arcilla sus viviendas y fortalezas combinándolas con los diferentes materiales que la misma naturaleza le proveía, como la piedra, la paja y la madera. [4], [14]

Figura 2. Ciudad amurallada de Shibam.



Figura 3. Ciudad de hibam(Yemen).



Ciudad amurallada de Shibam (Yemen). Es conocida como la Manhattan del desierto, incluida en las ciudades del patrimonio mundial. Fuente: <http://whc.unesco.org/en/list/192>, enero 2014.

Figura 4 Ksar Ait Ben Haddou (Marruecos)



Ksar Ait Ben Haddou (Marruecos) ciudad echa a base de barro y paja, y lugar de grabación de películas importantes. Fuente: <http://whc.unesco.org/en/list/444>
El suelo y sus componentes han sido la base de la construcción a lo largo de la historia y en Colombia no ha sido la acepción, desde la época de la colonización las casas eran elaboradas a base de adobes, caña y barro, al igual que los techos, pues muchos de ellos eran de tejas de barro y otros de paja inicialmente, estas técnicas de construcción,

2.2 LOS PLÁSTICOS COMO MATERIA PRIMA PARA PRODUCCIÓN DE ECO-LADRILLOS

Los plásticos son compuestos que tienen como fuente principal el petróleo; son transformados mediante el proceso de polimerización en la materia prima básica de la industria de los plásticos. Estos polímeros son llevados a las diferentes fábricas donde se les realiza su transformación final, que es como se conocen finalmente. Básicamente esta es la cadena de producción que consta de una

extracción, una transformación primaria (polimerización), transformación secundaria y la venta al público. Las diferentes empresas utilizan estos materiales para empaquetar, envasar o recubrir y transportar todo tipo de material o productos, de igual manera estos productos poliméricos se venden al público en general para que empaque, recubra o los utilice de acuerdo a su necesidad y después desecharlos, cuando ya hayan cumplido su utilidad.[13]

Los residuos plásticos en Colombia componen un alto porcentaje, debido a la alta producción que desarrollan y los ciclos de vida útil tan cortos que manejan, en comparación con el tiempo de vida que tienen, los cuales los llevan a superar en un rango del 100% al 200% sus ciclos de vida útil, para el cual fueron diseñados inicialmente.

2.2.1 Eco-ladrillo

Es un ladrillo o bloque elaborado con material desechado que no tiene ningún valor comercial y que no representa peligro para la comunidad, comúnmente se conoce un tipo de eco-ladrillo, el cual consta de una botella pet rellena de residuos no comercialmente reciclables, compactada con el fin de darle la rigidez necesaria para soportar las diferentes cargas, de igual manera se tiene otro tipo de eco-ladrillo fabricado con material desechado en las excavaciones en los procesos de construcción.

2.2.2 Eco-ladrillos en Colombia

En Colombia los eco-ladrillos se vienen fabricando hace alrededor de diez años y han sido promovidos por empresas, fundaciones, corporaciones e instituciones educativas, que han implementado esta metodología en diferentes comunidades, sembrando la cultura ambiental ciudadana, e incentivando a niños, jóvenes y adultos en el cuidado del ambiente mediante el aprovechamiento de residuos plásticos que no tiene ningún valor comercial y que en su mayoría son desechados de manera indiscriminada.

Este material ha sido de gran utilidad en los diferentes proyectos sociales donde se han elaborado estructuras como bancas, mesas, jardineras, muros divisorios y casas (Figura 5). En los últimos años esta práctica junto a la permacultura se ha incrementado debido a los impactos negativos que se generan por el manejo irracional que tiene los residuos sólidos en los grandes centros urbanos. [1].

Figura 5.



Fuente: ereciclaje.com

Figura 5: a) Puerto Libertador, Monte Líbano, Córdoba Construcción de un Muro para dividir un aula y hacer la sala de computadores. b) Banca en Forma de Espiral, GIMFA, Bogotá, c) Mesa Redonda, GIMFA, Bogotá

2.2.3 Tipos de plásticos

Los plásticos se encuentran clasificados en tres grandes grupos los termoplásticos, los termoestables o no termoplásticos y los elastómeros, aunque solo los termoplásticos poseen un subgrupo ya establecido (ver tabla 1). Este tipo

de materiales tiene un alto potencial de recuperación e incorporación en la cadena del reciclaje, debido a su maleabilidad al ser sometido a altas temperaturas son incluidos nuevamente en las cadenas de producción.

Los termoestables por tener una composición estructural más fuerte los convierte en un material rígido el cual no permite ser moldeados después de ser expuestos a elevadas temperaturas. Los elastómeros son un grupo que tiene propiedades de los grupos anteriores debido a que tiene alta resistencia, es flexible y en algunos casos se deja moldear después de haberlo expuesto a altas temperaturas.

Tabla 1. Clasificación de plásticos.

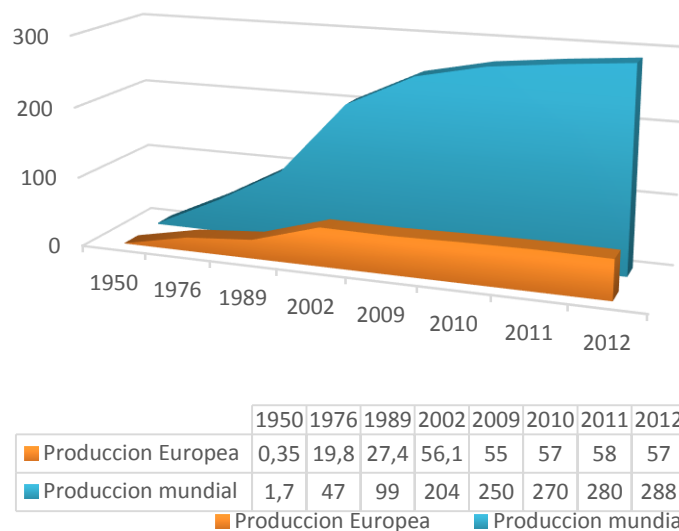
Código	Nombre	Material
	PET polietileno tereftalato	
	PEAD Polietileno de Alta Densidad	
	PVC Poli Cloruro de Vinilo	
	PEBD Poli Etileno de Baja Densidad	
	PP Polipropileno	
	PS Poli estireno	
	Otros <ul style="list-style-type: none"> • Policarbonato (PC) • Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) • Poliamida (PA) • Nylon • Acetatos • Estireno Acrilonitrilo (SAN) 	

Fuente: mundoplastico.net 2013.

2.2.4 Estadísticas de producción de plásticos

La producción mundial de plásticos fue de 280 millones de toneladas en el año 2011; para el 2012 fue de 288 millones de toneladas según el estudio anual publicado por PlasticsEurope. De las 288 millones de toneladas, América Latina produjo el 4,9% equivalente a 14.112.000 de toneladas anuales. Colombia procesa anualmente 980.000 toneladas año que corresponde al 6,9% de la producción de América latina y el 0,34% de la producción mundial. Igualmente, según PlasticsEurope, los *cinco tipos de plásticos más comunes aportan casi el 70% de la demanda mundial, con aproximadamente 201,6 millones de toneladas anuales. Estos plásticos son poliolefinas, PVC, PS, EPS y PET*⁴ (PlasticsEurope, 2012). [7][12]

Figura 6. Estadísticas de producción de plásticos entre 1950 y 2012.



Fuente: Tomado y adaptado de: Mundoplast (producción mundial de plásticos) Consultic, 21/10/2013

En países del norte de Europa se recuperan cerca del 100% de los residuos plásticos para introducirlos a la cadena del reciclaje. En Colombia se recuperan y aprovecha alrededor de 1.880.000 toneladas de residuos sólidos al año, de los cuales el 14,89% corresponde a residuos plásticos, que equivalen a 280.000 toneladas recuperadas por año. Este valor representa que el 28,57% de la producción anual de compuestos a base polímeros en Colombia es recuperada. [5], [9], [13]

⁴Estudio estadístico de PlasticsEurope publicado por mundo plástico el 21/10/2013 (<http://mundoplastico.net/noticias-antiores/produccion-mundial-de-plasticos-crece-4/>)

3. METODOLOGIA

3.1 IDENTIFICACIÓN Y VALORIZACIÓN DE MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DE ECOLADRILLOS

En esta etapa se tuvieron en cuenta los diferentes tipos de residuos sólidos que diariamente son desechados y que por su condición física y su composición estructural presentan un alto grado de aprovechamiento, y en muchos casos no son incluidos en el ciclo de la reutilización y el reciclaje. En esta etapa se realizó una valorización a los residuos teniendo como base su ciclo de vida para garantizar la resistencia y la durabilidad de estos con el paso del tiempo, teniendo en cuenta que todos pueden ser utilizados en las diferentes fases de la construcción.

3.2 FABRICACIÓN DE ECO-LADRILLOS

Seleccionados los residuos viables a utilizar para la producción de ecoladrillos, se procedió a fabricar siete prototipos. De acuerdo con la facilidad de manejo y transporte de algunos residuos, se lograron diseñar 10 unidades por prototipo.

Los prototipos preparados fueron:

- C₁. Concreto con botellas de plástico de 500 ml rellenas de residuos plásticos de llantas.
- C₂ Concreto con botellas de plástico de 500 ml rellenas de residuos de bolsas de empaquetaduras
- C₃ Concreto con botellas de plástico de 500 ml vacías de cuatro tubos de PVC de ½"
- C₄ Concreto con botellas de plástico de 500 ml vacías de seis tubos de PVC de ½"
- A₁ Arcilla
- A₂, A₃, A₄, A₅, Arcilla con yeso en diferentes proporciones
- A₆, A₇, A₈, Arcilla con yeso y pasto seco

Se planteó la opción de ecoladrillo preparado con tubo de cartón, que por su forma física y su consistencia perfilaba este material como una alternativa

Para la fabricación de los ecoladrillos se hizo necesaria la adaptación de moldes. Estos moldes fueron elaborados considerando en los tres primeros prototipos las dimensiones de una formaleta de 30 x 15 x 13 centímetros, para los otros dos ejemplares se empleó una formaleta de 25 x 7 x y 13 centímetros respectivamente siendo largo, alto y ancho. Los cambios en las dimensiones obedecieron al tamaño de la botella de plástico incluida en el mismo.

Tabla 2. Resultado pruebas preliminares al agregado fino:

Agregado fino	Sigla	Resultado	Unidades
Densidad Aparente Seca	das	2,71	g/cm ³
Módulo de finura	mf	2,78	cm
Porcentaje de adsorción	pa	1	%
Humedad natural	hn	2	%

Tabla 3. Resultado pruebas preliminares al agregado grueso:

Agregado Grueso	Sigla	Resultado	Unidades
Densidad Aparente Seca	DAS	2,58	g/cm ³
Tamaño Máximo	TM	1" = 2,54	cm
Tamaño Máximo Nominal	TMN	3/4" = 19	mm
Porcentaje de Absorción	PA	2	%
Masa Unitaria Seca Suelta	MUSS	1,33	g/cm ³
Masa Unitaria Seca Compactada	MUSC	1,44	g/cm ³
Humedad Natural	HN	1	%

Los detalles particulares de la estimación de los parámetros para la caracterización de agregados se encuentran en el Anexo 6.

Procedimiento del diseño de mezcla

b) Selección del asentamiento

Asentamiento → **5 cm**

Los valores del asentamiento se asignan cuando la vibración se utiliza en el concreto. Como criterio para la selección de la consistencia del concreto, se contempló una consistencia semiseca, por tanto se trabajó con un asentamiento de 5 cm que es compatible con la estructura.

Para asentamiento 3 – 5 y tamaño máximo 1', incluyendo aire atrapado.

$$\underline{\mathbf{A=185 \text{ kg}}}$$

c) Estimación de los contenidos de agua (A) y Aire.

La relación agua/cemento requerida se determina teniendo en cuenta el asentamiento requerido y el tamaño máximo de agregado. Para un asentamiento de 5 cm y para un tamaño máximo grueso de 19 mm (3/4") corresponden 185 Kg de agua por cada metro cúbico de mezcla

d) Determinación de la resistencia de diseño

Se consideró un laboratorio con control de calidad bueno, valorizándolo en seis teniendo en cuenta la tabla de grado de control.

$$f_{cr}=265 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

e) Relación agua cemento utilizada

La relación agua/cemento depende de la resistencia de la estructura y de los diferentes materiales que se utilizan en la mezcla. Para la resistencia de diseño obtenida, corresponde una relación agua/cemento $A/C=0,47$.

$$\begin{array}{l} 245 \rightarrow 0.51 \\ 280 \rightarrow 0.44 \\ 265 \rightarrow x \\ \hline 35 \rightarrow 0.07 \\ 15 \rightarrow x \\ \hline X=0.03 \\ 0.44+0.03= 0.47 \\ \mathbf{A/C=0.47} \end{array}$$

Para un $f_{cr}=265$ la relación agua-cemento es igual a 0.47

f) Contenido de cemento

El contenido de cemento es directamente proporcional al contenido de agua en la mezcla e inversamente proporcional a la relación agua/cemento. Se encontró que el contenido de cemento es igual 401.5 Kgs por metro cúbico.

$$C = \frac{A}{A/C}$$
$$C = \frac{188.7}{0.47}$$
$$\mathbf{C=401.5 \frac{kg}{m^3}}$$

g) Contenido agregado grueso

Para estimación del contenido de agregado grueso se determina el volumen seco y compactado por volumen unitario de concreto agregado grueso (b/b_0). Para un módulo de finura de 2,78 y un tamaño máximo nominal de 20 mm, $b/b_0=0,62$. El volumen de agregado grueso por metro cúbico de hormigón fue de $b=0.346\text{m}^3$.

$$\text{MF}=2.78$$

$$\text{TMN}=20 \text{ mm}$$

$$b/b_0 \rightarrow$$

$$2.60 \rightarrow 0.64$$

$$2.80 \rightarrow 0.62$$

$$2.78 \rightarrow x$$

$$0.2 \rightarrow 0.02$$

$$0.02 \rightarrow x$$

$$x=0.002$$

$$b/b_0 = 0.62$$

$$\text{M.U.C}=1.44 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \rightarrow \text{M.U.C}=1.44 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{DAS}=2,58 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \rightarrow \text{DAS}=2.58 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$b = b/b_0 * (\text{MUSC}/\text{DAS})$$

$$b = 0.62 * \frac{1.44 * 10^{-9}}{2.58 * 10^{-9}}$$

$$b = 0.346 \text{ m}^3$$

h) Contenido agregado fino

Se determinó primero el volumen total de agregados mediante la fórmula $C_k = 1000 - 0,318 \times C - A$, donde A es el contenido de agua y C el contenido de cemento, con este valor se determinó el porcentaje de arenas, que en la presente mezcla es equivalente a $P=49.39\%$.

$$C_k : 1000 - 0.318 \left(401.5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) - 188.7 \text{kg}$$

$$C_k : 683.62 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$P = ((C_k - 1000 * b) / C_k) * 100$$

3.3 PREPARACIÓN DE LOS ECOLADRILLOS UTILIZANDO ARCILLA

Para la preparación de los prototipos con arcilla fue necesario realizar pruebas mecánicas de límites líquidos y plástico del material. Adicionalmente, se dosificaron las mezclas de suelo y yeso y posteriormente de suelo, yeso y pasto seco.

La matriz experimental resultante de todos los prototipos se describe en la tabla 5 en resultados.

3.4 ESTUDIOS DE RESISTENCIA A LOS ECOLADRILLOS MEDIANTE PRUEBAS MECÁNICAS DE COMPRESIÓN Y CARGA DE MURETES

La evaluación mecánica de los ecoladrillos se llevó a cabo en los laboratorios de ingeniería civil de la Universidad Pontificia Bolivariana en Bucaramanga, mediante la elaboración de muretes de dos unidades de cada tipo, los cuales fueron ensayados a compresión en la máquina universal de dicho laboratorio, permitiendo con ello la verificación de calidad del proceso de construcción verde.

Una vez elaborados los muretes, estos se ensayaron luego de 28 días de haberse construido, mediante la colocación de una platina de dimensiones 40 cm * 20 cm * 1 cm que se localizaba sobre los especímenes. Para iniciar cada prueba, se coloca una de las platinas en el centro de la máquina, encima de ésta se colocan los muretes y finalmente se ubica otra platina. El objetivo de las platinas era garantizar la aplicación axial de una carga uniformemente distribuida.

Los muretes fueron preparados utilizando mortero de dosificación 1:3, garantizando una pega de espesor 1 cm. La calidad mecánica del mortero fue verificada mediante el ensayo de compresión de morteros.

3.5 EVALUAR LA VIABILIDAD ECONÓMICA DE LA PUESTA EN MARCHA DE UNA FÁBRICA DE ECOLADRILLOS

Se realizó un estudio de pre factibilidad que contempla los diferentes factores que rodearon la implementación de prácticas responsables frente al manejo de los residuos sólidos con la construcción de los ecoladrillos. Se evaluaron las condiciones mínimas para la operación de una planta de producción de ecoladrillos.

4. RESULTADOS

4.1 SELECCIÓN DE MATERIALES

En la gran variedad de residuos se han seleccionado previamente los siguientes materiales (ver tabla 2), valorados por medio de su ciclo de vida considerando:

- Origen o recurso del cual son extraídas sus materias primas principales
- El servicio que prestan
- Tiempo que tarde en biodegradarse
- Cumplimiento de ciclos de reusó y reciclaje
- Valor en las compraventas de material reciclable
- Costo por disposición final
- Valores económicos presentados correspondientes al área metropolitana de Bucaramanga.

Teniendo en cuenta que muchos de estos materiales no cumplen la totalidad de su ciclo, este tipo de material fue seleccionado previamente por su resistencia, flexibilidad y abundancia, ya que en su mayoría son arrojados a diario en los diferentes escenarios de la ciudad. Como es conocido todos estos materiales tiene como origen los distintos recursos naturales, unos con una fuente limitada y otros de fuente ilimitada, todos estos materiales llevan consigo entre 3 y 5 etapas antes de llegar al mercado local, a excepción de los residuos de excavación o escombros que no llevan ninguna transformación.

Tabla 4. Residuos seleccionados de acuerdo a su composición estructural y condición física, para la elaboración de los ecoladrillos.

Material	Origen	Tiempo de degradación	Servicio	Reuso	Reciclaje	Compraventas de reciclaje	Relleno Sanitario o Escombrera
	recurso	Años				valor por Kg	Valor por Ton
Pet	Petróleo	150 a 500 o 1000	Envases de bebidas	Si	Si	200	21770
Tubos de cartón	Madera	1 a 3	Material en el cual se enrolla diferentes materiales plásticos, textiles y diferentes tipos de fibras.	Si	Si	80	21770
Envolturas plásticas	Petróleo	150	Envolturas de alimentos y bebidas	Si	Si	0	21770
Botellas de vidrio	Suelo	4000	Envase de bebidas	Si	Si	30	21770
Envases de aluminio	Suelo	10 a 100	Envase de bebidas	Si	Si	1500	21770
Pvc conduit	Petróleo	100	Conducción de cables eléctricos	Si	Si		21770
Llantas trituradas	Petróleo	500 a 1000	Llantas de vehículos	Si	No	0	21770
Residuo de excavación	Suelo	-----	Soporte y capa superficial del suelo	Si	No	0	21770

Se establecieron tres indicadores de calificación alto, medio y bajo, considerando los parámetros de resistencia, maleabilidad y el indicador de retorno. Los criterios de calificación se tuvieron en cuenta mediante pruebas manuales y tomando en consideración las visitas realizadas a los centros de compraventa de material reciclable.

De los ocho materiales escogidos previamente (ver tabla 4), se seleccionaron los envases pet, (material de bebidas refrescante transparentes), tubos de pvc, envolturas plásticas, triturado de llantas, residuos de excavación o escombros y los tubos de cartón por cuanto presentaban facilidades en la manipulación y el volumen disponible de los mismos en el campus universitario permitía el aprovechamiento para este estudio.

Los criterios de rechazo de los envases de aluminio y las botellas de vidrio de acuerdo a los resultados (ver tabla 5) obedecieron a los riesgos asociados para la

producción de las mezclas para los envases de vidrio y a que los envases de aluminio hacen parte de los residuos con alto retorno.

Tabla 5. Especificaciones de los residuos sólidos, para análisis de laboratorio.

Material	Resistencia	Maleabilidad	Indicadores de retorno
Pet	Media	Media	Alta
PVC conduit	Alta	Media	Bajo
Envolturas plásticas	Baja	Alta	Bajo
Triturado de llantas	Alta	Media	Bajo
Tubos de cartón	Alta	Baja	Bajo
Suelo		Alta	Bajo
Envases de vidrio	Alta	Baja	Baja
Envases de aluminio	Baja	Media	Alto

4.2 PREPARACIÓN DE LOS ECO-LADRILLOS

4.2.1 Especificaciones mampuestos de concreto aligerado

En la tabla 6 se resume los prototipos elaborados en el estudio. En el anexo 2 y 3 se encuentra el detalle de la composición por peso de cada uno de los prototipos según los residuos utilizados para su preparación. Las dimensiones y detalles del prototipo resultante luego de 28 días se encuentran en el anexo 5, se muestra la evidencia histórica del proceso de producción de los distintos prototipos.

Tabla 6. Especificaciones de elaboración para prototipos de concreto aligerado

Mampuesto	Composición	Tiempo	Peso	Dimensiones	Fuerza aplicada	Esfuerzo	
		Días	Kg	cm	KN	KN/m2	Mpa
C ₁	Concreto+ botellas rellenas de triturado de llantas	7	12.49	30x15x13	96,49	4948,41	4,95
C ₂	Concreto+ botellas de 500 ml rellenas de envolturas plásticas	28	12,25	30x14.9x12.8	189,85	9921,34	9,92
C ₃	Concreto+ botellas de 500ml vacías+4 tubos de pvc de 1/2"X 30cm de largo	28	11,76	30x15x12.9	125,81	6474,51	6,47
C ₄	Concreto+ botellas de 500ml vacías+6 tubos de pvc de 1/2"X 30cm de largo	28	11,2	30x15x12.8	158,88	8287,67	8,29
C ₅	Prototipos de referencia (concreto)	7	13,21	30x15x13	114,02	5846,92	5,85

Nota: C representa el concreto y el subíndice las diferentes modificaciones que tuvo el mampuesto en cuanto a los materiales utilizados para el aligeramiento.

Las figuras 8 a 12 muestran los materiales y el proceso de fabricación de los prototipos de concreto aligerado.

Las especificaciones detalladas del volumen aligerado, peso y dimensiones, para los prototipos de concreto se observan en los anexos 1 y 2.

Figura 8. Materiales para la fabricación de concreto



Figura 9.



Figura 10



Figura 11



Figura 12



4.2.2 Especificaciones mampuestos de Arcilla

Teniendo en cuenta que el residuo de excavación es dispuesto en las escombreras y que este material según las propiedades mecánicas puede ser aprovechado para aplicaciones constructivas se elaboraron ocho prototipos con diferentes especificaciones, los detalles particulares y valores se encuentra en el anexo 4. En la tabla 7 se muestran el promedio de resultados obtenidos con sus especificaciones.

Tabla 7. Promedio de resultados de los prototipos elaborados con arcilla.

Mampuesto	Composición			Tiempo	Peso	Dimensiones	Fuerza aplicada	Esfuerzo	
	Arcilla	Yeso	Pasto	Días	gr	cm	KN	KN/m ²	Mpa
A ₁	1	0	0	28	1744	23x14x3,7	4,78	993,76	0,99
A ₂	10	1	0	28	1914	23x14x4,2	6,82	1249,08	1,25
A ₃	4	1	0	28	2144	23x14x5	8,99	1383,69	1,38
A ₄	3	1	0	28	2624	23x13,5x6	9,44	1165,43	1,17
A ₅	2	1	0	28	2737	23x14x6,6	12,17	1426,62	1,43
A _{5.1}	2	1	0	28	5657	26x13,7x11,8	24,55	1518,62	1,52
A ₆	4	1	0,2	28	3002,6	23,8*14,5*6,6	12,87	1496,16	1,50
A ₇	3	1	0,2	28	2863,4	23,7*13,5*6,5	11,78	1449,85	1,45
A ₈	2	1	0,2	28	2991,8	24*14.7*6.8	19,22	2173,98	2,17

Nota: A representa arcilla y el subíndice las diferentes proporciones de los tipos de mezclas

Figura 13.



Figura 14



Figura 15



Figura 16



Figura 17.



Figura 18.



Las figuras 13 a 18 muestran los materiales y el proceso de fabricación de los prototipos de arcilla.

Las especificaciones detalladas de los resultados de compresión, para los diferentes prototipos se observan en los anexos 4 y 5.

Las especificaciones detalladas del, peso y dimensiones, para los prototipos en arcilla se observan en el anexos 3.

4.2.3 Especificaciones muretes

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en las diferentes pruebas individuales, se procedió a la preparación de tres tipos de muros diferentes, en las tablas 8,9 y 10 se encuentran las especificaciones y resultados obtenidos con los muros ya establecidos. Los muretes elaborados se aprecian en las figuras 19 a 25 y de la figuras 26 a 33 se muestra la aplicación de la fuerza por medio de la maquina universal y las fallas que se presentaron en cada murete.

Las figuras 19, 20 y 21, muestran los muros elaborados en concreto aligerado con botellas plasticas de 500 y 6 tubos de pvc.

Figura 19.



Figura 20.



Figura 21.



Las figuras 22 y 23 hacen referencia a los muretes elaborados con arcilla, yeso y pasto seco, las figuras 24 y 25 hacen referencia los muretes elaborados en arcilla-yeso.

Figura 22.



Figura 23.



Figura 24.



Figura 25.



Tabla 8. Especificaciones y resultados de la prueba de compresión a muretes de concreto aligerado.

Murete	Composición	Dimensiones	Fuerza aplicada	Esfuerzo	
		cm	KN	KN/m ²	Mpa
1	concreto+ botella 500ml+6 tubos pvc	30x31x 12,5	229,99	6133,07	6,13
2	concreto+ botella 500ml+6 tubos pvc	30x 31,2x 13	210,79	5404,87	5,40
3	concreto+ botella 500ml+6 tubos pvc	30x 31x 13	235,24	6031,79	6,03
4	concreto+ botella 500ml+6 tubos pvc	30x 31x 13	180,45	4626,92	4,63
5	concreto+ botella 500ml+6 tubos pvc	30x 31x 13	210,48	5396,92	5,40
6	concreto+ botella 500ml+6 tubos pvc	30x 31x 13	195,72	5018,46	5,02
Promedio				5435,34	5,44
Desviación estándar				527,94	0,53

Tabla 9. Especificaciones y resultados de la prueba de compresión a muretes de arcilla-yeso.

Murete	Composición		Dimensiones	Fuerza aplicada	Esfuerzo	
	Arcilla	Yeso	cm	KN	KN/m ²	Mpa
1	4	1	25x 28x 13	45,07	1386,77	1,39
2	4	1	25x28,3x13	35,85	1103,08	1,10
3	4	1	25x28x13	42,45	1306,15	1,31
4	4	1	25x28x 13	38,94	1198,15	1,20
5	4	1	25x 28,3x 13	40,25	1238,46	1,24
Promedio					1246,52	1,25
Desviación estándar					96,13	0,10

Tabla 10. Especificaciones y resultados de la prueba de compresión a muretes de arcilla-yeso-pasto.

Murete	composición			Dimensiones cm	Fuerza aplicada KN	Esfuerzo	
	Arcilla	Yeso	Pasto			KN/m2	Mpa
1	4	1	0,2	25x15x14	42,41	1304,92	1,30
2	4	1	0,2	25x15x14	28,36	872,62	0,87
3	4	1	0,2	25x15x14	42,70	1313,85	1,31
4	4	1	0,2	25x15x14	34,17	1051,38	1,05
5	4	1	0,2	25x15x14	45,45	1398,46	1,40
Promedio						1188,25	1,19
Desviación estándar						195,93	0,20

Figura 26.



Figura 27.



Figuras 26 muestran la montura en la maquina universal de los muretes de concreto aligerado, y la figura 27 las fallas después de la prueba de compresión.

Figura 28.



Figura 29.



Figura 30.



Figuras 28 muestran la montura en la máquina universal de los muretes de arcilla-yeso, y la figura 29 y 30 las fallas después de la prueba de compresión.

Figura 31.



Figura 32.



Figura 33.



Figuras 31 muestran la montura en la maquina universal de los muretes de arcilla, yeso y pasto seco, la figura 32 y 33 muestra las fallas después de la prueba de compresión.

4.2.4 Análisis de compresión para los tubos de cartón

Dentro de los materiales que no necesitan transformación ni modificación, para las pruebas mecánicas de compresión, se emplearon los tubos de cartón provenientes de litografías, este material por su composición física presenta características óptimas de resistencia, las cuales se evaluaron en dos grupos de acuerdo al grosor de su pared, estas especificaciones se muestran en las tablas 11 y 12.

Tabla 11. Tubo de cartón 7 ml de espesor

Tubo	Área	fuerza aplicada	Esfuerzo	
	m ²	KN	KN/m ²	Mpa
T ₁	0,000154	8	51948,05	51,95
T ₂	0,000154	6,27	40714,29	40,71
T ₃	0,000154	7,5	48701,30	48,70
T ₄	0,000154	7,42	48181,82	48,18
T ₅	0,000154	8,14	52857,14	52,86
T ₆	0,000154	6,23	40454,55	40,45

Tabla 12. Tubo de cartón 14 ml de espesor

Tubo	Área	fuerza aplicada	Esfuerzo	
	m ²	KN	KN/m ²	Mpa
T ₁	0,000616	9,3	15097,40	15,10
T ₂	0,000616	9,51	15438,31	15,44
T ₃	0,000616	9,6	15584,42	15,58
T ₄	0,000616	8,79	14269,48	14,27
T ₅	0,000616	10,16	16493,51	16,49
T ₆	0,000616	10,62	17240,26	17,24

Figura 34. Tubos de cartón.



Figura 35. Prueba mecánica



Figura 36. Falla del tubo.



4.3 ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA PARA FÁBRICA DE ECO-LADRILLOS

La fábrica de eco-ladrillos surge con la necesidad de aprovechar los diferentes tipos de residuos sólidos que tienen potencial en los procesos de construcción, conociéndose que a diario se generan un alto porcentaje de residuos y muchos de ellos no son aprovechados, y que por efecto de no incluirlos nuevamente en las cadenas de producción este tipo de material forman una cadena de impactos negativos al ambiente. Teniendo en cuenta lo anterior se demuestra, mediante un estudio la viabilidad económica, social y ambiental, la puesta en marcha de una fábrica de eco-ladrillos.

La fábrica de eco-ladrillos más que fabricar, es una empresa que prestaría servicios de aprovechamiento a los diferentes residuos mediante un programa educativo y estratégico, en el cual se verán involucrados las diferentes comunidades por los beneficios socio ambientales que esta trae consigo,

4.3.1 Estudio del mercado

4.3.1.1 *Producto*

Los ladrillos ecológicos y adobes se encuentran con una demanda satisfecha no saturada, debido a que los ladrillos que se elaboran normalmente generan una serie de impactos negativos al ambiente, la extracción de la materia prima proveniente de diferentes canteras y la cocción; proceso en el cual se realizan emisiones a la atmosfera de manera indiscriminada.

Los ladrillos ecológicos a desarrollar, se prepararían inicialmente de forma manual. El potencial de fabricación lo tienen los adobes elaborados a base de residuos de excavación. Previamente se tiene establecidos tres prototipos con medidas diferentes, conociendo las especificaciones en el siguiente orden largo, ancho y alto: 1(30x20x10), 2(23x15x8), 3(40x15x15).

Como producto secundario se tiene los ladrillos ecológicos convencionales (botellas pet rellenas de residuos no comercialmente reciclables), este materia no cuenta con un mercado, es posible su uso en bancas, mesas y quioscos con el objetivo de establecer un mercado para este material.

Las especificaciones al detallado del producto que ofrecerá el mercado se establecen en la tabla 13.

Tabla 13. Características del producto.

Producto principal	ladrillos contruidos a base de residuos de excavación
Producto secundario	Ladrillos ecológicos elaborados con botellas pet rellenas de residuos.
Características del producto	La presentación y diseño de los eco ladrillos es de manera cuadrada en tres presentaciones, este material puede presentar otras presentaciones de acuerdo a las necesidades del comprador, debido a que es un material maleable.
	Es un material a base de residuos sólidos, como arcillas y arenas provenientes de los procesos de excavación, residuos plásticos, envases pet.
	vida útil
	Los ladrillos ecológicos se pueden emplear como muros divisorios o de carga, jardineras, quioscos.
	Los residuos de estos materiales se puede utilizar nuevamente como materia prima,
Tipo del producto	Artesanal
Presentación	se establecieron 4 presentaciones bajo las siguientes especificaciones largo, ancho y alto
	1.(23x15x8)
	2.(30x20x10)
	3.(40x15x15)
atributos y diferenciadores del producto con respecto a la competencia	Es un producto totalmente amigable para el ambiente, debido a su materia prima, ya que en su totalidad está compuesta por residuos sólidos, y que en su proceso de fabricación no se generan emisiones atmosféricas debido a su fabricación artesanal.

4.3.1.2 Servicio

El servicio que se prestara se encuentra con una demanda insatisfecha ya que no se cuenta con el servicio de aprovechamiento de residuos de excavación, debido a que el suelo que se extrae de las diferentes obras tiene como destino la escombrera, teniendo en cuenta que no hay un mercado establecido para los ecoladrillos se creara la fábrica de ecoladrillos tiene como objetivo aprovechar este material para para la fabricación de mampuestos. Promoviendo prácticas de producción limpia, impulsando el desarrollo económico sin afectar los distintos ecosistemas.

4.3.1.3 Oferta

Los ladrillos convencionales cuentan con una alta competitividad, debido a la variedad de ejemplares que se pueden encontrar en el mercado, pero con baja competencia o nula en ejemplares con las especificaciones que se elaboraran. La fabricación de este tipo de ladrillos se realizara de forma artesanal, garantizando su flujo de fabricación. En un mercado tan competitivo se tiene la ventaja de que el producto que se les está suministrando es 100% amigable con el ambiente susceptible de un eco-etiquetado generándole un plus valor.

4.3.1.4 Comercialización

Al obtener un producto de alta calidad, elaborado de manera artesanal y obteniendo una alta producción, se tendrán en cuenta los diferentes mercados para el flujo continuo de los ladrillos ecológicos. Se establecerán negociaciones con las constructoras del área metropolitana, con el objetivo de darle aprovechamiento al material desecho por las obras que realicen, al igual que los diferentes puntos de venta mayorista y minorista de materiales de construcción, donde se tiene 1.332 ferreterías en el área metropolitana de Bucaramanga de las cuales 899 se encuentran en Bucaramanga (Cámara de comercio de Bucaramanga. Febrero 2014). Se establecerán diferentes estrategias de mercado, donde se promoció el beneficio ambiental que se tiene al emplear este material para la construcción, el cual sirva para hacerse en un futuro a certificados de construcción sostenible en cuanto a los materiales empleados en la construcción en nuevas edificaciones.

4.3.1.5 Precio

Teniendo en cuenta que la materia prima para la producción de ladrillos ecológicos no tiene valor alguno se contempló los siguientes ítems para determinar el costo

de cada ladrillo: mano obra, servicios públicos, aditivos (yeso, cal). Se elaboró el análisis de costos unitarios por operario para determinar el precio de cada unidad las especificaciones detalladas se establecen en la tabla 14.

Tabla 14. costo unitario para ladrillos ecológicos en arcilla

Parámetro	Costo diario	Costo mensual
Mano de obra	33333,33	1000000
Aditivos	73333,33	2200000
Servicios públicos	33333,33	1000000
Unidades producidas	500	15000
Costo eco ladrillo	280	8400

El precio de los ladrillos ecológicos varía de acuerdo a las especificaciones requeridas por el comprador, teniendo en cuenta que se les ofrece un producto de calidad. De acuerdo al mercado actual un ladrillo convencional oscila entre los \$800 y los \$1500, el precio de un ladrillo ecológico que se establece está entre los \$500 y los \$1500, y por el proceso de disposición y aprovechamiento de sus residuos de excavación se tendrá el costo de \$15000 por tonelada, teniendo en cuenta que en una escombrera se tiene el costo de \$21.770,00 por tonelada (escombrera el Carrasco).

4.3.2 Estudio técnico

4.3.2.1 Optimización del tamaño y localización de la planta

4.3.2.1.1 **Localización:** Para la localización de la planta de producción de ecoladrillos, se establecieron tres lugares, de los cuales se escogerá la mejor opción teniendo en cuenta, vía de acceso, servicios públicos, no estar en zona de riesgo o de expansión urbana, terreno o área disponible para la planta. Ver tabla 15.

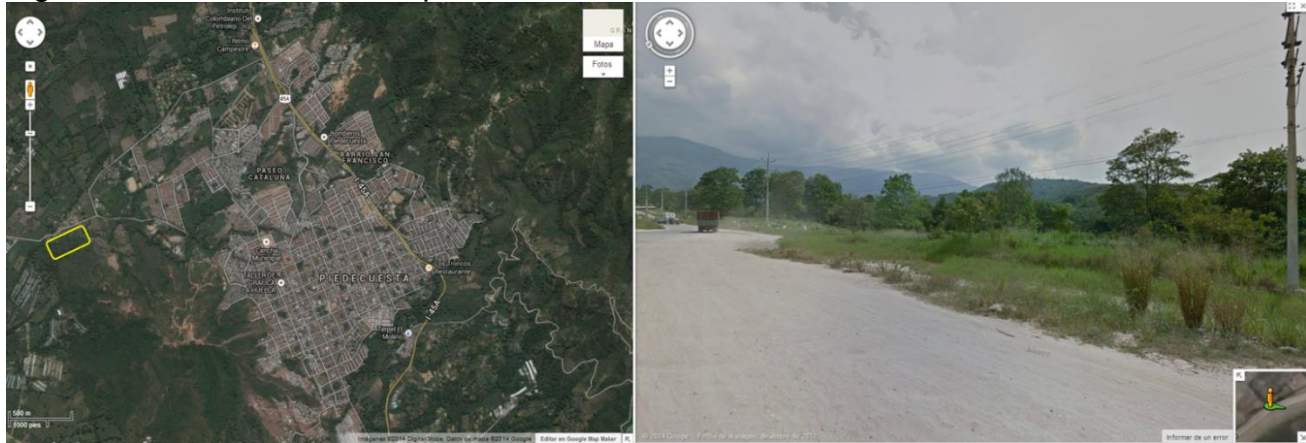
Tabla 15. Opciones para localización de la planta.

Planta	Ubicación	Vías de acceso	Servicios públicos	Zona		Disponibilidad de área
				Expansión Urbana	Riesgo	
1	Piedecuesta Vía Guatiguara	Si	SI	No	No	Si
2	Piedecuesta km 5 vía curos	Si	No	NO	NO	NO
3	Piedecuesta km 4 vía los santos	Si	No	No	NO	Si

Nota: para el parámetro de los servicios público se tomaron en cuenta: energía eléctrica, Agua potable, alcantarillado, transporte público, el faltar dos de estos lo hace acreedor a un no.

De acuerdo a los estudios realizados la plata se establecerá en Piedecuesta vía Guatiguara.

Figura 37. Localización de la planta de ecoladrillos.



Fuente: <https://maps.google.es/>

En la zona donde se establecerá la planta de producción de ecoladrillos, se encuentran cercanos el Sena de Piedecuesta, La Finca de la UCC (Universidad Cooperativa de Colombia sede Piedecuesta), la seccional UIS Guatigura, la planta de embotelladora de Postobon. Para la fácil movilización a esta zona se cuenta con una doble calzada de 2 km desde la autopista que de Piedecuesta conduce a Bucaramanga.

4.3.2.1.2 Tamaño

La planta de producción de ecoladrillos contara con un área de 10,000 m². Con capacidad de almacenar 15.000m³ a 20.000m³ de suelo.

4.3.2.2 Ingeniería del proyecto

Esta fase se planteó en cuatro etapas: planeación, ejecución, operación la distribución de la planta. La descripción década una de esta etapas se aprecian en las figuras 38, 39, 40 y 41.

Figura 38. Etapa de planeación.

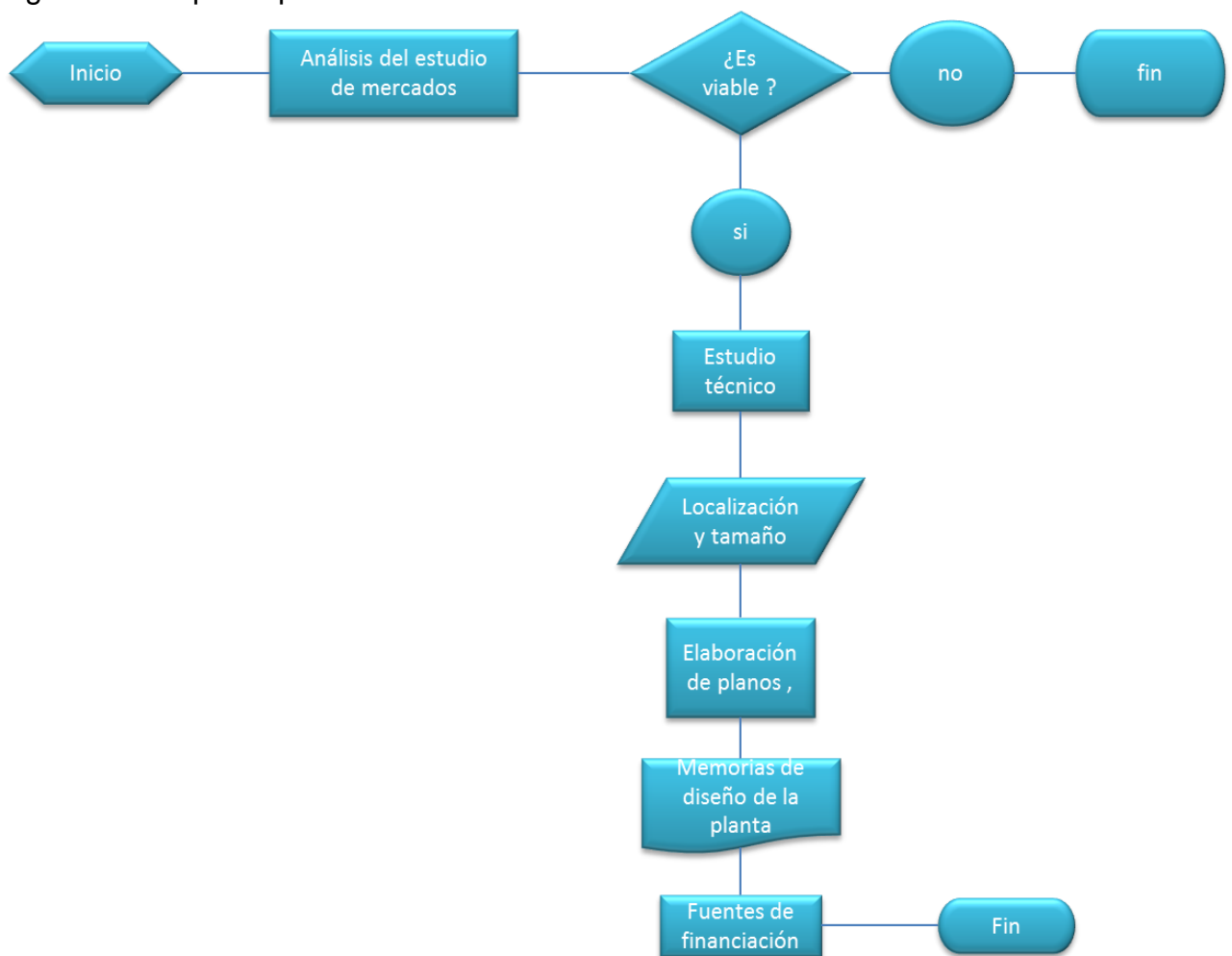


Figura 39. Etapa de ejecución

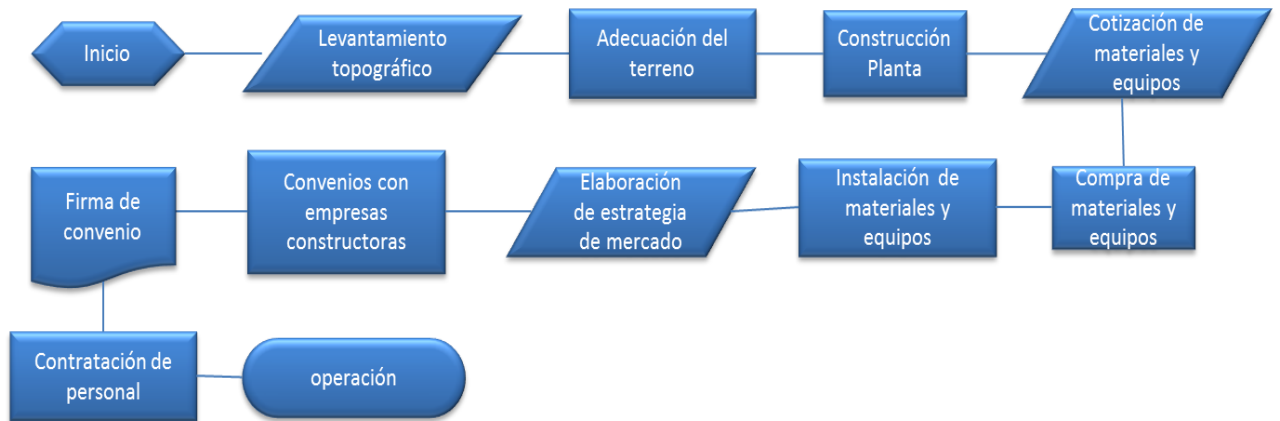
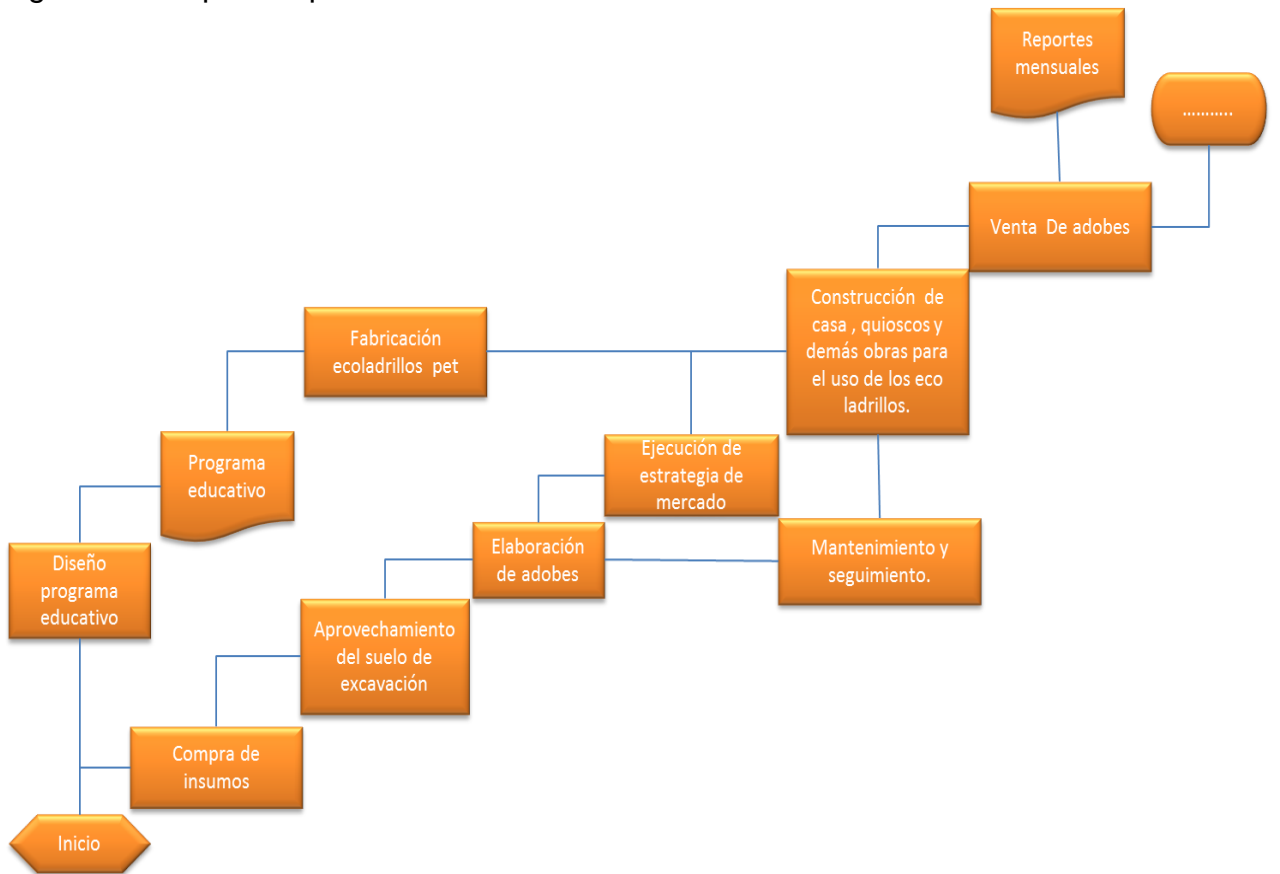


Figura 40. Etapa de operación.



La planta estará distribuida en 5 partes la zona de descargue, laboratorio de análisis de suelos, planta de producción, zona de secado y almacenamiento, y oficinas, estas indicaciones se aprecian en la figura 41 con sus respectivas convenciones (ver tabla 16).

Figura 41. Distribución de la planta



Figura 42. Planificación de la planta



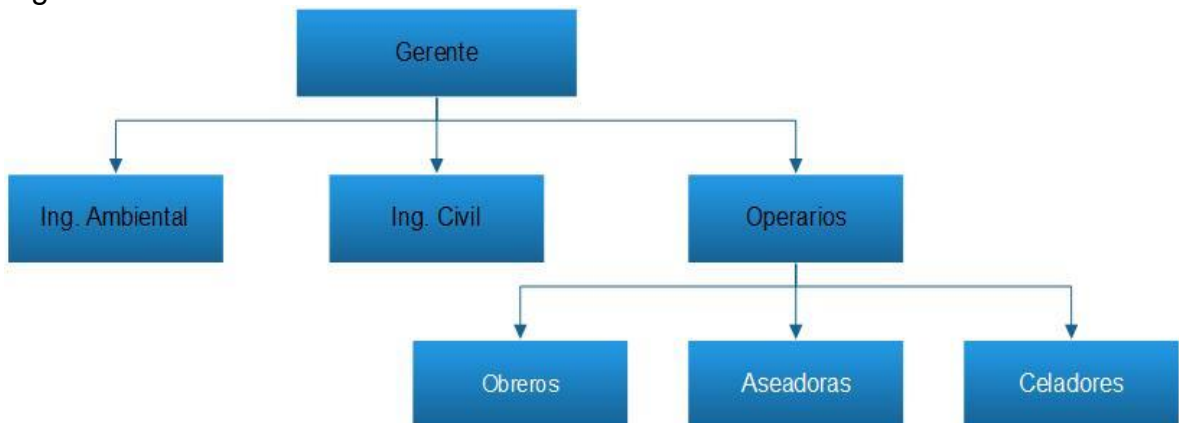
Fuente: <https://maps.google.es/>

Tabla 16. Convenciones

Convenciones	
Área Fabrica	
Oficinas	
Zona de descargue	
Planta de producción	
Laboratorio	
Secado y almacenamiento	

4.3.2.3 **Análisis administrativo:** La Fabrica de ecoladrillos estara conpuesta por tres profesionales mano de obra calificada y el personal operario.(ver figura 42).

Figura 43. Analisis administrativo.



4.3.3 Estudio económico

4.3.3.1 **Determinación de costos totales e inversión inicial:** Los costos iniciales de inversión están establecidos en el presupuesto detallado en la tabla 17, seguido del capital de trabajo para el primer año y los tres años iniciales de operación y la evaluación económica correspondiente.

Tabla 17. Presupuesto.

DETALLES	Unidad	Cantidad	V/unidad	V/total
1. COSTO DE INVERSION				
1.1 INFRAESTRUCTURA				
Terreno por hectárea	m ²	10000	10.000,00	\$ 100.000.000,00
Construcción de laboratorio para análisis de suelos	m ²	30	\$ 500.000,00	\$ 15.000.000,00
Planta de producción	m ²	1250	\$ 8.000,00	\$ 10.000.000,00
Cuarto de almacenamiento de herramientas	m ²	9	\$ 222.222,22	\$ 2.000.000,00
Oficinas	m ²	40	\$ 375.000,00	\$ 15.000.000,00
Cuarto de insumos	m ²	20	\$ 250.000,00	\$ 5.000.000,00
Zona de almacenamiento y secado	m ²	1250	\$ 800,00	\$ 1.000.000,00
Zona de descargue	m ²	1250	\$ 800,00	\$ 1.000.000,00
TOTAL INFRAESTRUCTURA				\$ 149.000.000,00
1.2 MAQUINARIA Y EQUIPOS				
Moldes o formaletas	unidad	20	\$ 50.000,00	\$ 1.000.000,00
maquina manual de adobes	unidad	5	\$ 200.000,00	\$ 1.000.000,00
Planta eléctrica	unidad	1	\$ 200.000,00	\$ 200.000,00
máquina de compresión	unidad	1	\$ 8.000.000,00	\$ 8.000.000,00
Equipo análisis de suelo	unidad	1	\$ 5.000.000,00	\$ 5.000.000,00
Juego de dotación operario	unidad	10	\$ 500.000,00	\$ 5.000.000,00
Camión tipo turbo	unidad	1	\$	\$ 120.000.000,00

			120.000.000,00	
Tanques para el almacenamiento de agua	Unidad	4	\$ 250.000,00	\$ 1.000.000,00
Motobomba (intercambio de agua)	unidad	1	\$ 300.000,00	\$ 300.000,00
Herramienta	unidad	10	\$ 200.000,00	\$ 2.000.000,00
equipo de oficina	unidad	6	\$ 1.666.666,67	\$ 10.000.000,00
TOTAL MAQUINARIA Y EQUIPO				\$ 153.500.000,00
2. COSTOS DIRECTOS				
<i>2.1 INSUMOS Y MP</i>				
Yeso	bulto	100	\$ 12.000,00	\$ 1.200.000,00
cal	bulto	100	\$ 10.000,00	\$ 1.000.000,00
Otros (imprevistos)				\$ 5.000.000,00
TOTAL INSUMOS Y MP				\$ 7.200.000,00
2.2 MANO DE OBRA				
Ing. Ambiental	mensual	1	\$ 3.000.000,00	\$ 3.000.000,00
Ing. Civil	mensual	2	\$ 1.500.000,00	\$ 3.000.000,00
Contador	mensual	1	\$ 3.000.000,00	\$ 3.000.000,00
Operarios	mensual	5	\$ 1.000.000,00	\$ 5.000.000,00
Celadores	mensual	2	\$ 800.000,00	\$ 1.600.000,00
TOTAL MANO DE OBRA				\$ 15.600.000,00
TOTAL COSTOS DIRECTOS				\$22.800.000,00
3. COSTOS INDIRECTOS				
Servicios:				
Servicios públicos/mes	mensual	1	\$ 1.000.000,00	\$ 1.000.000,00
Combustibles y lubricantes/mes	mensual	1	\$ 2.000.000,00	\$ 2.000.000,00
TOTAL COSTOS INDIRECTOS				\$ 3.000.000,00
TOTAL COSTOS DEL PROYECTO				\$ 328.300.000,00

4.3.3.2 Cálculo de capital de trabajo

Tabla 18. Primer año

Detalle	Flujo en millones											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Total Ingresos		20,25	20,25	20,25	20,25	28,25	28,25	28,75	28,25	38,75	38,75	38,75
Total Egresos	-328	-18,6	-18,6	-18,6	-18,6	-18,6	-18,6	-18,6	-18,6	-18,6	-18,6	-18,6
Flujo de Caja	-328	1,65	1,65	1,65	1,65	9,65	9,65	10,15	9,65	20,15	20,15	20,15

Tabla 19. Flujo a tres años

Detalle	Flujo en millones		
	año 1	Año 2	Año 3
Total Ingresos	310,75	465	465
Total Egresos	-532,6	223,2	223,2
Flujo de Caja	-221,85	688,2	688,2

4.3.3.4 Evaluación económica

Tabla 20. evaluación económica para el primer años

Flujo primer año	
TIR	-12%
VPN	\$ 0,00
B/C	0,58345851

Tabla 21. Evaluación económica para los tres primeros años.

Flujo a tres años	
TIR	72%
VPN	(\$ 328,00)

5 ANALISIS DE RESULTADOS

- Variación del peso respecto al volumen aligerado en los especímenes de concreto.

Los prototipos preparados en concreto tienen las siguientes especificaciones:

- C₁. Concreto con botellas de plástico de 500 ml rellenas de residuos plásticos de llantas.
- C₂ Concreto con botellas de plástico de 500 ml rellenas de residuos de bolsas de empaquetaduras
- C₃ Concreto con botellas de plástico de 500 ml vacías de cuatro tubos de PVC de ½"
- C₄ Concreto con botellas de plástico de 500 ml vacías de seis tubos de PVC de ½"
- C₅ concreto (prototipo estándar)

La inclusión de materiales plásticos como botellas de 500 ml vacías y llenas de residuos plásticos, tubos de pvc, disminuye el peso del ecoladrillo, lo cual es beneficioso por cuanto elementos constructivos de alto peso, ya que se disminuyen el gasto de materiales, minimizando el costo de las estructuras, al darle utilidad a residuos que no poseen gran valor en la cadena de reciclaje los resultados obtenidos se muestran en la tabla 22.

Tabla 22. Comportamiento de mampuesto en concreto aligerado mediante residuos plásticos, en cuanto a su peso y el esfuerzo expuesto.

Mampuesto	Peso	Volumen aligerado	Esfuerzo
	Kg	cm ³	KN/m ²
C ₁	12,49	500	4948,41
C ₂	12,25	500	9921,34
C ₃	11,76	652,4	6474,51
C ₄	11,2	728,6	8287,67
C₅	13,21	0	5846,92

Figura 44. Comportamiento del peso frente al volumen aligerado en ejemplares de concreto.

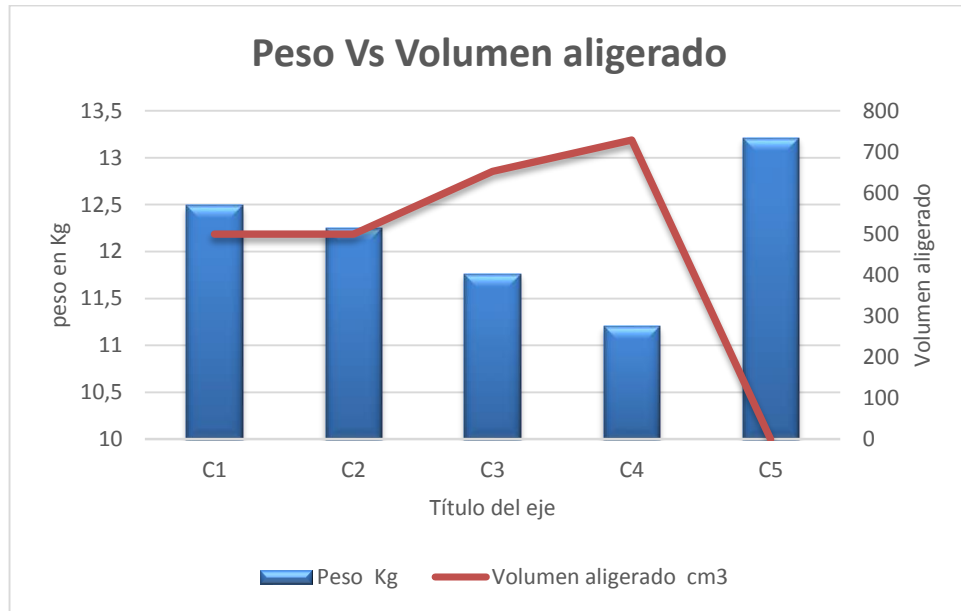
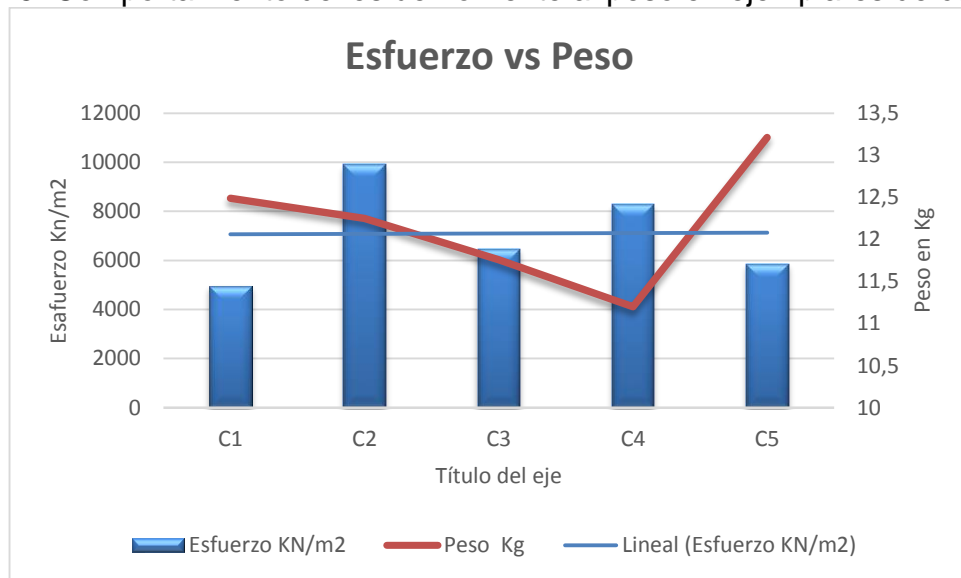


Figura 45. Comportamiento del esfuerzo frente al peso en ejemplares de concreto



- Comportamiento de mampuestos elaborados con suelo de excavación.

Los especímenes preparados en arcilla tienen las siguientes especificaciones:

- A₁ Arcilla
- A₂, Arcilla con yeso en porcentaje 10 a 1 en peso
- A₃, Arcilla con yeso en porcentaje 4 a 1 en peso
- A₄, Arcilla con yeso en porcentaje 3 a 1 en peso
- A₅, Arcilla con yeso en porcentaje 2 a 1 en peso
- A₆, Arcilla con yeso y pasto seco en porcentaje 4-1-0.2 en peso
- A₇, Arcilla con yeso y pasto seco en porcentaje 3-1-0.2 en peso
- A₈, Arcilla con yeso y pasto seco en porcentaje 2-1-0.2 en peso

Los resultados de esfuerzo y resistencia se establecen en la tabla 23.

Tabla 23. Comportamiento del peso y esfuerzo, en mampuestos en arcilla.

Mampuesto	Esfuerzo	Peso
	KN/m ²	gr
A ₁	993,76	1744
A ₂	1249,08	1914
A ₃	1383,69	2144
A ₄	1165,43	2624
A ₅	1426,62	2737
A ₆	1496,16	3002,6
A ₇	1449,85	2863,4
A ₈	2173,98	2991,8

El comportamiento que presentaron los mampuestos de arcilla de acuerdo a sus variaciones en peso fue directamente proporcional al aumento en su resistencia, indicando que al adicionar yeso en la mezcla beneficia notoriamente su capacidad para soportar mayores cargas. En comparación con un ladrillo convencional su peso se reduce más del 50% y en cuanto a la fuerza aplicada para fallar los ladrillos convencionales se encontraron en un rango de 10KN a 20KN. El ladrillo convencional H10 se muestra en la figura 45.

Figura 46. Ladrillo convencional H10



- En la comparación del peso de mampuestos elaborados en arcilla-yeso, con mampuestos de arcilla-yeso- pasto seco, se observa que su composición es similar ya que las proporciones de arcilla-yeso son las mismas para los prototipos elaborados, estas especificaciones se aprecian con detalle en la tabla 24.

Tabla 24. Comparación en peso de mampuestos

Mampuesto	Composición			Peso gr
	Arcilla	Yeso	Pasto	
A ₃	4	1	0	2144
A ₆	4	1	0,2	3002,6
A ₄	3	1	0	2624
A ₇	3	1	0,2	2863,4
A ₅	2	1	0	2737
A ₈	2	1	0,2	2991,8

Comparación del esfuerzo de los mampuestos elaborados en arcilla-yeso, con mampuestos de arcilla-yeso- pasto seco, su composición es similar ya que las proporciones de arcilla-yeso son las mismas para los prototipos elaborados, estas especificaciones se aprecian con detalle en la tabla 7.

- Comparación de muros elaborados a base de arcilla

Los muretes elaborados en arcilla tienen las siguientes proporciones en su preparación:

A₁: relación arcilla-yeso 4 a1

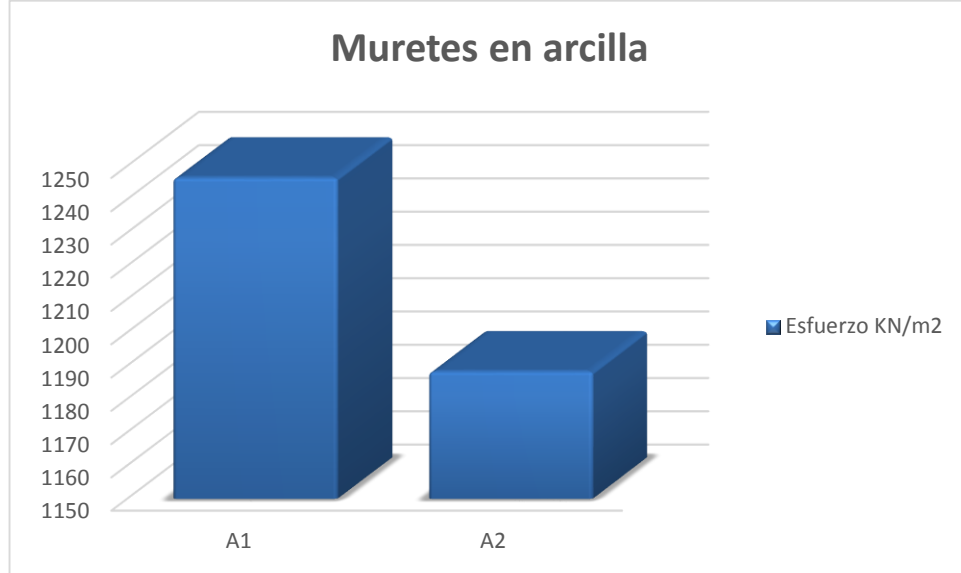
A₂: relación arcilla-yeso-pasto seco 4-1-0.2.

Fueron elaborados cinco prototipos de cada uno de los especímenes mencionados anteriormente, las especificaciones se encuentran en la tabla 7 y 8, el comportamiento del esfuerzo promedio al cual fueron sometidos se establece en la tabla 25, teniendo un mejor resultado los muretes A₁.

Tabla 25. Comparación del esfuerzo para muretes en arcilla.

Murete	Esfuerzo
	KN/m ²
A1	1246,52
A2	1188,25

Figura 47. Comparación del esfuerzo para muretes de arcilla.



- Variación de las fallas de los mampuestos en arcilla, arcilla-yeso, arcilla-yeso-pasto seco.

La figura 47 corresponde a un mampuesto en arcilla, la figura 48 corresponde a un mampuesto en arcilla-yeso en proporciones 4 a 1, la figura 49 corresponde a un mampuesto de arcilla-yeso de proporciones 2 a 1, la figura 50 corresponde a un mampuesto de arcilla-yeso-pasto seco (A-Y-Ps).

Aquí se pueden apreciar las variaciones de las fallas de cada uno de los mampuestos y ver como se hace más resistente el ladrillo y el beneficio del pasto seco al mejorar su compactación. Cabe denotar que los prototipos expuestos anteriormente cuentan con la misma proporción de arcilla.

Figura 48. Mampuesto arcilla.



Figura 49. Mampuesto arcilla- yeso 4-1



Figura 50 . Mampuesto arcilla-yeso 2-1. Figura 51. Mampuesto A-Y-Ps



- Variación en el resultado al no utilizar una lámina de polimérica, el cual sirve para nivelar las deficiencias en los terminados de los muretes ver figura 51 a 53.

Figura 52. Error al fallar murete A₁



Figura 53. Error al fallar murete A₂



Figura 54. Error al fallar murete en concreto aligerado.



Los muretes al presentar desnivel en sus extremos, y no tener algún material que lo nivele facilitan el rompimiento o falla, debido a que la aplicación de la fuerza no se hace totalmente equilibrada.

En la figura 54 se muestra la manera correcta del ensayo de compresión a muretes.

Figura 55. Ensayo de compresión de muretes H10



- Teniendo en cuenta la Norma Técnica Colombiana NTC 4205 (Primera actualización) mampostería de arcilla cocida- Ladrillos y bloques cerámicos, (ver tabla 26 y 27)

Tabla 26. Propiedades físicas de las unidades de mampostería estructural.

Tipo	Resistencia mínima a la compresión Pa(kgf/cm ²)	
	Prom 5 U	Unidad
PH	5,0 (50)	3,5 (35)
PV	18,0 (180)	15,0 (150)
M	20,0 (200)	15,0 (150)

Tabla 27. Propiedades físicas de las unidades de mampostería no estructural

Tipo	Resistencia mínima a la compresión Pa (kgf/cm ²)	
	Prom 5 U	Unidad
PH	3,0 (30)	2,0 (20)
PV	14,0 (140)	10,0 (100)
M	14,0 (140)	10,0 (100)

Nota: tablas tomadas de la NTC 4205.

1) Para el caso de ladrillos de perforación vertical, los valores establecidos corresponden a Resistencia Neta mínima a la compresión, en los otros casos corresponden a Resistencia Bruta.

PH = Unidad de mampostería de perforación horizontal (bloque)

PV = Unidad de mampostería de perforación vertical (ladrillo)

M = Unidad de mampostería maciza (ladrillo)

Teniendo en cuenta los resultados expuestos en la tabla 7 y 22 para los mampuestos de arcilla y al compararlos con los resultados estandarizados en la NTC 4205, los ladrillos macizos (adobes) fabricados a base de residuos de excavación cumplen con la norma para ser empleados de manera estructural y no estructural.

6 CONCLUSIONES

- ✓ Con respecto a la identificación de materiales para la fabricación de los ecoladrillos.

Los materiales identificados y seleccionados fueron botellas plásticas, tubos de pvc, residuos plásticos como: envolturas plásticas de frituras, pitillos, lapiceros, etc, residuos de excavación, pasto seco y llanta triturada.

Se encontró que estos materiales pueden ser utilizados para la producción de mampuestos. Se obtuvo un aprovechamiento del 100% de los residuos, teniendo en cuenta que este material fue recuperado de diferentes espacios de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, con la acepción de la llanta triturada que es un material de laboratorio para ser aprovechado en la investigación.

La fabricación de mampuestos demostró que independiente del tipo de residuos y de su valor comercial en las cadenas de reciclaje, este material tiene un alto porcentaje de aprovechamiento en la industria de la construcción. Los mampuestos elaborados a base de residuos de excavación son óptimos para ser utilizados en la construcción de viviendas. Sin embargo, los aciertos y errores obtenidos en las pruebas mecánicas de compresión mostraron viabilidad para el uso de estos mampuestos.

- ✓ Con respecto a la selección del prototipo de ecoladrillo.

Los tipos ecoladrillo que se prepararon fueron dos ejemplares de ecoladrillo, uno con el objetivo de aligerar el concreto mediante el aprovechamiento de residuos plásticos. El segundo ejemplar se elaboró con base en los residuos de excavación, donde se fabricaron adobes con algunas variaciones para mejorar su consistencia y su resistencia.

Los ladrillos de concreto obtuvieron un aligeramiento significativo debido inclusión de los residuos plásticos la cual estuvo en un rango de un kilo a dos kilos por unidad.

- ✓ Con respecto a los resultados de las pruebas mecánicas de carga de muretes construidos con los ecoladrillos.

Las pruebas mecánicas arrojaron que un resultado favorable debido a que los mampuestos a base de residuos de excavación se encuentran sobre la Norma Técnica Colombiana 4205, para unidades de mampostería maciza.

Los ladrillos de concreto no cumplieron con la resistencia para la cual fueron elaborados, debido a que se prepararon de acuerdo a los cálculos para soportar un esfuerzo de 20 mega pascales, y esto soportó un máximo de 9.952 mega pascales.

La prueba establecida para muretes presento falla debido a la no inclusión de una capa de plástico la cual nivelaba la superficie, pero aun así se obtuvo un buen resultado el cual supero en un alto porcentaje las unidades de ladrillos.

- ✓ Con respecto a la viabilidad económica de la puesta en marcha de una fábrica de ecoladrillos.

Más que una fábrica de ecoladrillos, se plantea una empresa bajo el concepto de Desarrollo Sostenible, el cual preste servicios ambientales enfocados en la educación ambiental para el aprovechamiento de residuos sólidos.

7 RECOMENDACIONES

- Se recomienda la continuación del proceso investigativo, debido a que solo se realizó una evaluación mecánica a unidades individuales, donde se empleó pruebas físicas para valorar este proyecto. Es importante realizar otra serie de pruebas físicas y químicas para poder dar un mayor aprovechamiento especialmente a los residuos de excavación.
- Promover, apoyar e impulsar proyectos basados en la recuperación de residuos sólidos, para emplearlos en los diferentes procesos de construcción.

Lejos de ser una carga, el desarrollo sostenible supone una oportunidad excepcional: desde el punto de vista económico, para crear mercados y empleos, desde el punto de vista social, para integrar a los marginados; y desde el punto de vista político, para que todos los hombres y mujeres tengan voz y voto al decidir su propio futuro.

Kofi Annan

8 BIBLIOGRAFIA

- [9]. ACOPLASTICOS. Recursos educativos
<http://www.acoplasticos.org/index.php/medamb2/pub-pubini2?id=551>. Enero 2013
- [5]. AGENCIA EUROPEA DE MEDIO AMBIENTE. Mayores tasan de reciclado.
<http://www.eea.europa.eu/es/pressroom/newsreleases/las-mayores-tasas-de-reciclado>, marzo 2014.
- [11] CLARO GERARDINO Luis Eduardo, TRESPALACIOS NOVA Carolina Johana, Lineamientos normativos y minero-ambientales para el montaje y operación de ladrilleras a base de minerales arcillosos en el municipio de Girón Santander 2009.
- [15] COLOMBIA. CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE COLOMBIA DE 1991, enero 2014.
- [2] COLOMBIA: Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, Construcción Sostenible, (<http://www.cccs.org.co/construccion-sostenible/que-es>). Agosto 2013
- [8] COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Por un planeta más verde...recicla
<http://www.minambiente.gov.co/contenido/contenido.aspx?conID=7783&catID=796>
- [16] COLOMBIA. Congreso de la Republica, 2002. Decreto 1713 del 2002. Noviembre 2013.
- [17] COLOMBIA, Congreso de la Republica, 2005, Decreto 838 DEL 2005 Noviembre 2013.
- [10] Desarrollo Sostenible.
<http://desarrollosostenible.wordpress.com/2006/09/27/informe-brundtland/> enero 2014
- [3]GREEN LIVING, http://www.greenlivingprojects.com/leed_doc.php?ID=9 . Agosto 2013
- [1].GUERRA, Felipe, eReciclaje, Mini relleno y ecoladrillos.
<http://www.ereciclaje.com> marzo 2013, marzo 2013
- [4]. MINKE Hernot, Manual de Construcción en Tierra, 2ª edición septiembre 2005. Consultado Septiembre 2013.
- [20] MOLLISON B., Documental Documental Permacultura, 2012,
<http://www.youtube.com/watch?v=dcVW8BrmleA>, febrero 2014.

[12] MUNDOPLAST. Estadísticas de producción mundial de plásticos <http://www.mundoplast.com/noticia/la-produccion-mundial-plasticos-crecio-28-2012/72557>

[7] PLASTICSEUROPE, 2012. “La producción mundial de plásticos crece un 4% según las primeras estimaciones”. (Abril). Disponible en: <http://www.plasticseurope.es/centro-de-conocimiento/sala-de-prensa/> Consultado el 20 de enero de 2014.

[13] PORTAFOLIO.CO. Producción de plástico crecería un 5% <http://www.portafolio.co/negocios/produccion-plasticos-creceria-5-2012>

[6] RESTREPO MONTOYA, Alejandro, Arquitecto, Diseño y construcción sostenible de la arquitectura a partir del uso de materiales ambientales y sistemas modulares, Laboratorio de Estudios y Experimentación Técnica en Arquitectura LEET Facultad de Arquitectura, Universidad Pontificia Bolivariana UPB, Medellín, Colombia Coordinador Grupo de Investigaciones, febrero 2014.

[19] REYNOLDS M, Documental Guerrero de la basura, 2012, <http://www.youtube.com/watch?v=CDyT1BP9YF4>, enero 2014.

[14] UNESCO, lista de patrimonio mundial, <http://whc.unesco.org> enero 2014.

[18] ONU, Informe de Brundtland, desarrollo sostenible, 1987, enero 2014.

Anexo 1. Artículo Ladrillos verdes: opción para materiales recuperados sin valor comercial reconocido.

Tratamiento y Valorización de Residuos

Ladrillos verdes: opción para materiales recuperados sin valor comercial reconocido

¹ María Fernanda Serrano Guzmán, ² Norma Cristina Solarte Vanegas, ³ Diego Darío Pérez Ruiz, ⁴ Nestor Darío Hernández Vargas, ⁴ Diana Montero González

¹ Directora General de Investigaciones, Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga,, Km. 7 Vía Piedecuesta, mariaf.serrano@upb.edu.co

² Coordinadora Especialización en Vías Terrestres, Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga,

³ Director del Departamento de Ingeniería Civil e Industrial, Pontificia Universidad Javeriana, Cali,

⁴ Integrantes del Semillero de investigación en Ingeniería Civil SIIC, Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga

Resumen

El aumento de la población ha promovido la construcción de nuevas edificaciones con el consecuente sobreconsumo de los recursos naturales, como la arena, el agua y hasta el suelo, lo cual afecta el ambiente. Debido a esto, se hace necesaria la búsqueda de nuevos materiales que puedan reemplazar algunos de los utilizados en las viviendas. En este trabajo se presentan los resultados obtenidos al utilizar materiales considerados residuos que actualmente no tienen valor comercial y la posterior evaluación del comportamiento térmico y mecánico de estos materiales aplicados en la elaboración de mampuestos. El producto obtenido se ha denominado ladrillo-verde. Para la preparación de la mampostería verde se recuperaron diferentes tipos de residuos de naturaleza inerte: material de relleno de tipo arcilloso que ha sido desechado de las obras, botellas de plástico y residuos de llanta. Los resultados demuestran la posible ampliación de la oferta de materiales para la construcción de muros divisorios, contribuyendo con ello al uso de residuos que no tienen valor comercial en la actualidad y favoreciendo a la sociedad y al ambiente.

Palabras Clave: *botella, ladrillo, papel, vivienda*

1. Introducción

Las necesidades básicas del hombre son la alimentación, el vestido y la vivienda, siendo esta última satisfecha por el gremio de los constructores y autoconstructores, responsables de esta actividad económica. Particularmente con relación a la vivienda, se observa que alrededor de la cuarta parte de la población mundial no cuenta con unidades habitacionales o viven en condiciones no aptas [1]. La construcción genera gran cantidad de residuos y adicionalmente demanda una gran cantidad de recursos que son tomados de la naturaleza [2]. Como lo manifiestan en [1] la construcción de vivienda se ha tornado onerosa por la necesidad de incluir materiales complejos que satisfagan las exigencias de los clientes, mejorando cada vez la calidad de vida de los usuarios de la misma. Sin embargo, también propician un aumento en la producción de residuos que en ciertos países van a parar a sitios de disposición clandestinos [2].

1.1. Problemática identificada

La evolución del hombre se ha acompañado de cambios en sus condiciones habitacionales, por lo cual ha pasado de las cuevas a los grandes complejos residenciales y los rascacielos, siendo estas últimas obras las que están afectando significativamente la cobertura vegetal y en general el recurso suelo. En la actualidad, los mampuestos utilizados en los muros divisorios y en algunos muros portantes provienen de procesos de cocción de arcillas y materiales aglutinantes, materias primas que propician el desgaste y sobreconsumo del suelo. Surge entonces la iniciativa de evaluar la producción de mampuestos preparados con material de excavación sobrante y con otros residuos recuperados de las llantas y de plásticos derivados de bebidas energizantes, buscando con ello además de ampliar la oferta de materiales, plantear una estrategia de aprovechamiento de estos residuos que en la región, aparentemente, no tienen valor comercial.

1.2. Antecedentes de la producción de llantas y de plásticos en Colombia

Con respecto a los residuos de llantas, hacia el 2010 se reportó una producción estimada de llantas de automóvil, camioneta, camión y buseta del orden de 61.000 toneladas anuales [3], encontrándose que para el aprovechamiento de este residuo se requería una organización dedicada al transporte y puntos de recolección [4]. Adicionalmente, en cuanto a los plásticos se encontró que tan solo el 28% de los 859.000 toneladas anuales producidas eran reciclados [5]. Actualmente, se evidencia en el medio una tímida implementación de las políticas estatales relacionadas con el reciclaje así como también, en algunas ocasiones, ausencia o desconocimiento de tecnologías para el aprovechamiento de estos plásticos, reincidiendo entonces la problemática ambiental por su disposición.

Teniendo en cuenta la alta producción de plásticos y residuos de llanta y la disponibilidad de grandes volúmenes de tierra como residuo de la construcción, en este artículo se presentan y evalúan las propiedades mecánicas a compresión de tres opciones de ladrillos verdes, ampliando de esta forma la oferta de mampuestos para muros divisorios. Adicionalmente, se valora la capacidad térmica de cada nuevo mampuesto buscando características que demuestren la utilidad de este producto para los constructores.

2. Metodología seguida en el estudio

En este estudio se elaboraron tres tipos de mampuestos utilizando diferentes materiales: a) concreto preparado con agregados convencionales, b) concreto aligerado con botellas plásticas rellenas con residuos de llanta y c) arcilla mezclada con yeso y papel. Para ello, se realizó un diseño de mezclas de concreto según la American Concrete Institute, se clasificó la arcilla y se hicieron mampuestos que se sometieron a compresión. Los pasos seguidos se presentan en las Figuras 1 y 2.

Para el diseño de la mezcla de concreto se procedió a caracterizar el cemento y los agregados, determinando las propiedades de gravedad específica (Figura 1a), densidad aparente (Figura 1b), granulometría (Figura 1c), masas unitarias (Figura 1d) requeridas para la preparación de la mezcla de concreto. Como parte del procedimiento, los especímenes preparados se mantuvieron en curado para la hidratación completa (Figura 1e).

Para la preparación de los ladrillos con botellas y caucho (Figura 1f), se procedió a utilizar la mezcla preparada como se indicó en la Figura 1, cuidando de colocar una capa de concreto de espesor mínimo 2.54 cm para garantizar el recubrimiento y sobre esta capa se localizó la botella rellena con 500 gr de llanta molida que, finalmente, se recubrió con la mezcla.

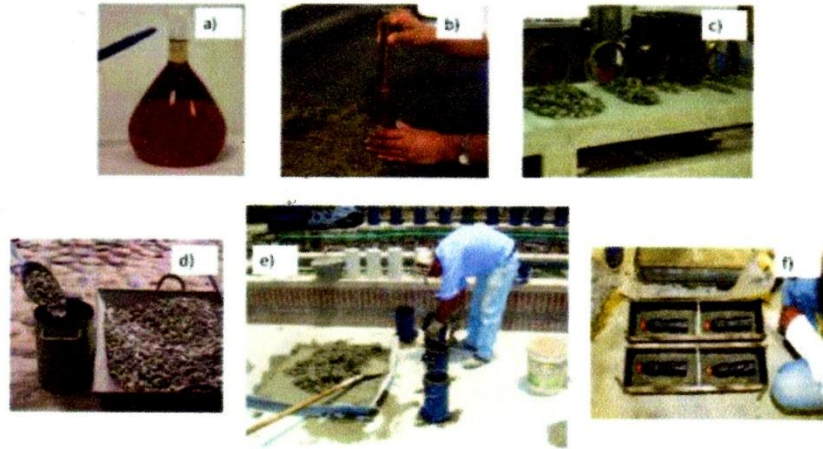


Figura 1. a) gravedad específica del cemento, b) densidad de agregado fino y grueso, c) granulometría para identificación de tamaño máximo y módulo de finura, d) masa unitaria, e) mezclado, f) preparación de mampuestos con concreto

Para la preparación de los mampuestos con arcilla y yeso se hizo una selección del material granular arcilloso debidamente clasificado y tamizado (Figura 2a a Figura 2d). Se prepararon cinco tipos de mampuestos a base de arcilla, con las siguientes dosificaciones arcilla-yeso: 1:2, 1:4, 1:5, 1:10 (Figura 2e) y solo arcilla, con adiciones de agua variables para proveer manejabilidad a la mezcla (Figura 2f). Estos especímenes fueron inicialmente sometidos a un secado natural y luego a horneado por 4 horas.

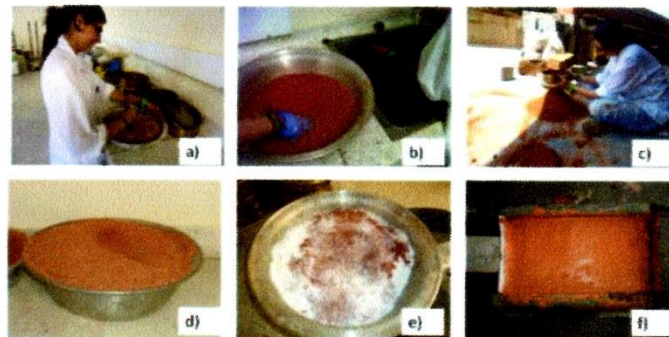


Figura 2. a) Ajuste del material, b) Lavado para separación de partículas deleznales, c) tamizado luego de secado, d) separación por peso, e) mezcla de arcilla con yeso, f) preparación de los mampuestos

3. Resultados obtenidos

3.1. Con respecto al material pétreo granular y al cemento

El material granular se caracterizó de acuerdo a las normas para agregados finos y gruesos. Las propiedades físicas de los materiales indican que es permitido el uso de estos agregados en mezclas de concreto (Tabla 1).

Tabla 1, Caracterización de los agregados y del cemento

Agregado Fino		Agregado Grueso	
Densidad Aparente Seca	2.71 g/cm ³	Densidad Aparente Seca	2.58 g/cm ³
Absorción (%)	1	Absorción (%)	2
Humedad Natural (%)	2	Humedad Natural (%)	1
Módulo de Finura	2.78	Masa Unitaria Seca y Compacta	1.44 g/cm ³
Cemento		Tamaño Máximo	1"
Gravedad Específica	2.75 g/cm ³	Tamaño Máximo Nominal	3/4"

3.2. Con respecto a la resistencia a la compresión de los mampuestos

Los mampuestos preparados en concreto presentan una resistencia a la compresión superior a los ladrillos verdes preparados con las otras mezclas (Tabla 2). Además, el ladrillo verde en el que se acomodó una botella con residuos plásticos presentó también una resistencia 19% por debajo del concreto macizo. Se pudo observar también que la adición de yeso en menor proporción está aumentando la resistencia de los ladrillos preparados con la mezcla arcilla-yeso.

Tabla 2, Resistencia a compresión de especímenes ensayados a los 7 días

Tipo	Resistencia (Kg/cm ²)
Arcilla	5.62
1 a 10	7.06
1 a 5	5.69
1 a 4	4.91
concreto-botella-caucho	41.95
concreto macizo	51.00

Se destaca que aunque los ladrillos de concreto y los ladrillos verdes de concreto con botella y plástico presentan altas resistencia, tienen un peso 90% superior al peso de los ladrillos preparados con arcilla, por lo cual debe revisarse la dosificación para aligerar el concreto sin afectar la resistencia. Se espera que a los 28 días la resistencia de los especímenes aumente.

3.3. Con respecto a la respuesta térmica

La emisividad, que es la proporción de radiación térmica emitida por un objeto producto de la temperatura del entorno fue de 0.95 en todos los especímenes. (Figura 3). La temperatura promedio de los especímenes elaborados fue verificada con una cámara termográfica. Se demostró que los ladrillos verdes preparados con arcilla y adición de yeso presentaron mayor temperatura que los mampuestos de concreto o concreto con plástico, lo cual permite predecir la aplicabilidad de este tipo de ladrillos para climas fríos.

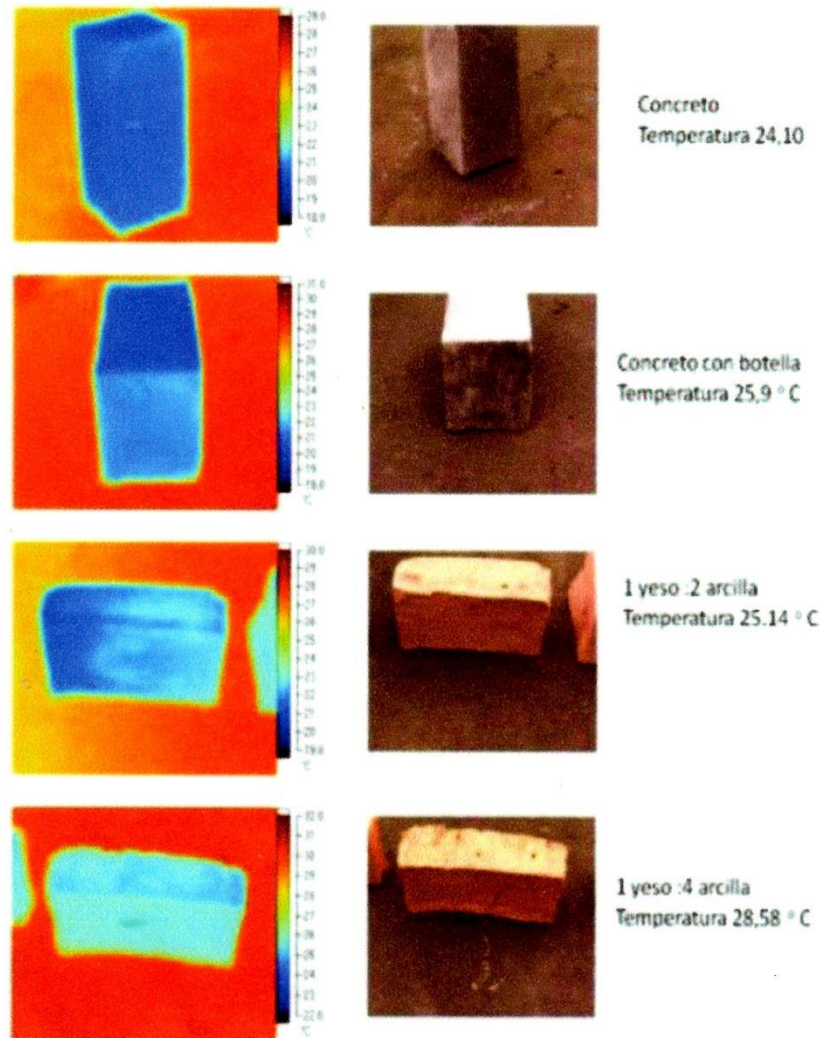


Figura. 3. Ensayos a compresión de los especímenes de mortero

4. Conclusiones

Los resultados de este estudio demostraron que es viable el aprovechamiento del material arcilloso para preparación de ladrillos verdes, encontrándose además que la adhesión de yeso a la arcilla mejoraba las propiedades cohesivas de este material. Los ladrillos verdes preparados con concreto y residuos de plástico y llantas, entre tanto, mostraron un comportamiento mecánico similar al del concreto convencional; sin embargo, es necesario continuar la experimentación para aligerar el concreto sin afectar la resistencia. Finalmente, la respuesta térmica de los ladrillos verdes fue superior a la del ladrillo de concreto convencional, lo cual perfila a estos mampuestos como una alternativa de material para pisos térmicos fríos en donde se requiere que al interior de las viviendas se conserve una temperatura de confort.

Agradecimientos

A la Dirección General de Investigaciones y a Ecopetrol ICP en Convenio de Colaboración con la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga y al Dr. Juan Carlos Mantilla Coordinador del Laboratorio de Instrumentación por su colaboración en el análisis termográfico.

Referencias Bibliográficas

- [1] Ochoa, María Teresa, Toirac Corral, José. Materiales de bajo costo para la construcción de viviendas económicas, Ciencia y Sociedad [en línea] 2005, XXX (enero-marzo) : [Fecha de consulta: 18 de junio de 2013] Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87030108>> ISSN 0378-7680
- [2] Domínguez Lepe JA, Martínez L. E. Reinserción de los residuos de construcción y demolición al ciclo de vida de la construcción de viviendas. Ingeniería 2007;1143-54. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46711305>. Fecha de consulta: 18 de junio de 2013.
- [3] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Resolución 1457, Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas, Colombia, 29 de Julio de 2010.
- [4] Samarez Chemical Consulting S.L., Reciclaje de Neumáticos Fuera de Uso (NFUs), Disponible en: <http://www.samaracz.com>, Consultado el 17 de junio de 2013.
- [5] <http://www.soyecolombiano.com>, Muralla en Pet: una nueva atracción en la Ciudad Heroica, Cartagena, Publicado en octubre 16 de 2011. Consultado el 18 de junio de 2013.

Anexo 2

Especificaciones de peso y volumen Prototipos Concreto aligerado.

Especificaciones prototipo C1

Prototipo 1		
Material	Peso (g)	Volumen (ml)
Botella plástica	31,57	500
Triturado de llanta	481,75	
Peso total	513,32	

Especificaciones prototipo C2

Prototipo 2		
Material	Peso (gr)	Volumen (ml)
Botella plástica	31,57	500
Envoltura plástica	408,43	
Peso total	440	

Especificaciones prototipo C3

Prototipo 3		
Material	Peso (gr)	Volumen (ml)
Botella plástica 500ml	31,57	500
Tubos de pvc (4 x 30cm)	40	152.4
Volumen total		652.4
Peso total	71,57	

Especificaciones prototipo C4

Prototipo 4		
Material	Peso (gr)	Volumen (ml)
Botella plástica 500ml	31,57	500
Tubos de pvc (6x 30cm)	60	228.6
Volumen total		728.6
Peso total	91,57	

Anexo 3

Especificaciones de peso y dimensiones de los prototipos elaborados a base de concreto.

C1 Concreto+ botellas rellenas de triturado de llantas.

Prototipo	Dimensiones (cm)	Peso(gr)
1	30x15x13	12.154
2	30x15x13	12.265
3	30x15x13	13.156
4	30x15x13	12.078
5	30x15x13	12.550
6	30x15x13	12.732
7	30x15x13	12.856
8	30x15x13	13.008
9	30x15x13	12.105
10	30x15x13	12.038

C2 Concreto+ botellas de 500 ml rellenas de envolturas plásticas.

Ladrillo	Dimensiones	Peso
11	30x14,8x12,8	12.265
12	30x 15x 12,5	12.732
13	30x 15 x 13	12.154
14	30x 15x 13	12.550
15	30x 15x 13	12.856
16	30x 15x 13	12.105
17	30x 15x 13	12,153
18	30x 14,7x 12,7	11,64
19	30x 15x 12,2	11,916
20	29,6x 14,9x 13	12,117

C3 Concreto+ botellas de 500ml vacías+4 tubos de pvc de 1/2"X 30cm de largo.

Ladrillo	Dimensiones	Peso
21	30x 15x 12,5	11,129
22	30x 15 x 13	11,563
23	30x 15x 13	11,321
24	30x15x 13	11,503
25	30x 15x 12,8	11,488
26	30x 15x 13	11,853

27	30x 15x 12,8	11,18
28	30x 15x 13	12,053
29	30x15x 13	12,154
30	30x 15x 13	13,313

C4 Concreto+ botellas de 500ml vacías+6 tubos de pvc de 1/2"X 30cm de largo.

Ladrillo	Dimensiones	Peso
31	30x15x 12,8	11,282
32	30x15 x 13	10,662
33	30x 15x 13	11,337
34	30x 15x 12,8	11,089
35	30x 15x 12,5	11,327
36	30x15x 13	11,098
37	30x 15x 13	11,066
38	30x 15x 12,4	11,34
39	30x 15x 13	11,378
40	30x 15x 12,5	11,421

C5 Prototipos de referencia.

Prototipo	Dimensiones(cm)	Peso(gr)
Estándar 1	30x13x15	13.265
Estándar 2	30x13x15	13.160

Anexo 4

Descripción de la composición de los prototipos elaborado a base de suelo de excavación

A3

Mampuesto	Composición		Relación	Dimensiones	Peso (gr)
	Arcilla	Yeso			
1	4	1	4 a 1	23x13x5	2144
2	4	1	4 a 1	23x13x5	2174
3	4	1	4 a 1	23x13x5	2208
4	4	1	4 a 1	23x13x5	2176
5	4	1	4 a 1	23x13x5	2149

A5

Mampuesto	Composición		Relación	Dimensiones	Peso (gr)
	Arcilla	Yeso			
1	2	1	2 a 1	23x13x6,6	2737
2	2	1	2 a 1	23x13x6,6	2638
3	2	1	2 a 1	23x13x6,5	2715
4	2	1	2 a 1	23x13x6,6	2556
5	2	1	2 a 1	23x13x6,5	2720

A6

Ladrillo	Composición			Dimensiones	Peso
	Arcilla	Yeso	Pasto		
1	4	1	0,2	23,8x13x6,6	2943
2	4	1	0,2	23x13x6,6	3086
3	4	1	0,2	23,5x13x6,6	2989
4	4	1	0,2	23x13x6,6	3105
5	4	1	0,2	23,8x13x6,6	2890

A7

Ladrillo	Composición			Dimensiones	Peso
	Arcilla	Yeso	Pasto		
1	3	1	0,2	23,7x12,5x6,5	2832
2	3	1	0,2	23,7x2,5x6,5	2834
3	3	1	0,2	23,7x12,5x6,5	2956
4	3	1	0,2	23,7x12,5x6,5	2878
5	3	1	0,2	23,7x12,5x6,5	2817

A8

Ladrillo	Composición			Dimensiones	Peso
	Arcilla	Yeso	Pasto		
1	2	1	0,2	24.8x13x6.8	3102
2	2	1	0,2	24.8x13x6.8	2703
3	2	1	0,2	24x13x6.8	3066
4	2	1	0,2	24x13x6.8	2998
5	2	1	0,2	24x13x6.8	3090

Anexo 5

Especificaciones de fuerza aplicada y el esfuerzo a especímenes de concreto aligerado.

C₁

Prototipo	Fuerza aplicada	Esfuerzo	
	(Kn)	Kn/m ²	Mpa
1	79,39	4071,28	4,07
2	76,2	3907,69	3,91
3	91,55	4694,87	4,69
4	115,16	5905,64	5,91
5	81,46	4177,44	4,18
6	84,86	4351,79	4,35
7	120,45	6176,92	6,18
8	115,12	5903,59	5,90
9	90,1	4620,51	4,62
10	110,65	5674,36	5,67

C₂

Ladrillo	Fuerza aplicada	Esfuerzo	
	KN	KN/m ²	Mpa
11	124,25	6558,80	6,56
12	110,14	5874,13	5,87
13	89,78	4604,10	4,60
14	105,42	5406,15	5,41
15	97,86	5018,46	5,02
16	108,45	5561,54	5,56
17	136,67	7008,72	7,01
18	114,73	6145,48	6,15
19	99,02	5410,93	5,41
20	122,19	6308,21	6,31

C₃

Ladrillo	Fuerza aplicada	Esfuerzo	
	KN	KN/m ²	Mpa
21	112	5973,33	5,97
22	146,74	7525,13	7,53
23	192,68	9881,03	9,88
24	94,64	4853,33	4,85

25	120,53	6181,03	6,18
26	82,16	4213,33	4,21
27	162,9	8353,85	8,35
28	85,8	4400,00	4,40
29	90,8	4656,41	4,66
30	169,8	8707,69	8,71

C4

Ladrillo	Fuerza aplicada	Esfuerzo	
	KN	KN/m ²	Mpa
31	191,42	9969,79	9,97
32	171,46	8792,82	8,79
33	110,82	5683,08	5,68
34	126,1	6567,71	6,57
35	190,17	10142,40	10,14
36	205,9	10558,97	10,56
37	106,22	5447,18	5,45
38	200,98	10805,38	10,81
39	161,69	8291,79	8,29
40	124,08	6617,60	6,62

C5

Ladrillo	Fuerza aplicada	Esfuerzo	
	KN	KN/m ²	Mpa
Estándar 1	110,56	5669,744	5,669744
Estándar 2	117,47	6024,1026	6,024103

Anexo 6

Especificaciones de fuerza aplicada y el esfuerzo a mampuestos a base de arcilla.

A3

Ladrillo	Fuerza aplicada	Esfuerzo	
	KN	KN/m ²	Mpa
1	8,79	1352,31	1,35
2	9,24	1421,54	1,42
3	8,97	1380,00	1,38
4	8,82	1356,92	1,36
5	9,15	1407,69	1,41

A5

Ladrillo	Fuerza aplicada	Esfuerzo	
	KN	KN/m ²	Mpa
1	12,64	1473,19	1,47
2	10,24	1193,47	1,19
3	11,63	1376,33	1,38
4	13,77	1604,90	1,60
5	12,55	1485,21	1,49

A6

Ladrillo	Fuerza aplicada	Esfuerzo	
	KN	KN/m ²	Mpa
1	10,4	1212,12	1,21
2	14,9	1736,60	1,74
3	13,38	1559,44	1,56
4	12,51	1458,04	1,46
5	8,49	989,51	0,99

A7

Ladrillo	Fuerza aplicada	Esfuerzo	
	KN	KN/m ²	Mpa
1	9,4	1156,92	1,16
2	8,3	1021,54	1,02
3	14,2	1747,69	1,75
4	14,1	1735,38	1,74
5	12,9	1587,69	1,59

A8

Ladrillo	Fuerza aplicada	Esfuerzo	
	KN	KN/m ²	Mpa
1	21,91	2478,51	2,48
2	20,45	2313,35	2,31
3	17,28	1954,75	1,95
4	17,42	1970,59	1,97
5	19,03	2152,71	2,15

Anexo 7

Pruebas preliminares para el agregado fino y grueso, para el diseño de mezcla.

1. Gravedad específica

Agregado fino		
Masa del picnómetro vacío	144,8	gr
Masa del picnómetro lleno de agua	638,8	gr
Masa de la arena superficialmente seca	500	gr
Masa del picnómetro + Arena + Agua	947	gr
Masa del recipiente (platón)	183,8	gr
Masa del recipiente + Arena seca	676,8	gr
Masa de la arena seca	493	gr
Masa del Agua	7	gr
Absorción (%)	1%	
Densidad aparente	2,7056	gr/cm ³

Agregado grueso		
Masa superficialmente seca	2773	gr
Masa saturada del agregado	1700	gr
Masa del recipiente (platón)	311,8	gr
Masa del recipiente + Grava seca	3034,8	gr
Masa de la grava seca	2723	gr
Masa del agua	50	gr
Absorción (%)	2%	
Densidad aparente	2,5843	gr/cm ³

2. Masa unitaria

Agregado fino		
Peso del molde	3084 gr	
Volumen del molde	4865,9182 cm ³	
	Suelta	Compacta
Masa del molde + Agregado	10315 gr	10842 gr
Masa del molde + Agregado	10284 gr	10665 gr
Masa del molde + Agregado	10278 gr	10711 gr

Agregado grueso				
Malla N°	Peso del suelo retenido	Por ciento del retenido parcial	Por ciento del retenido acumulado	Por ciento que pasa la malla
3/4"	220,00 gr	4,40 %	4,40 %	95,60 %
1/2"	922,00 gr	18,44 %	22,84 %	77,16 %
3/8"	1341,00 gr	26,82 %	49,66 %	50,34 %
4"	2343,00 gr	46,86 %	96,52 %	3,48 %
Fondo	172,00 gr	3,44 %	99,96 %	0,04 %
Total	4998,00 gr	99,96 %		

4. Humedad Natural

Agregado fino	
Peso muestra	500 gr
Peso muestra + Platón	569,6 gr
Peso muestra seca + Platón	560,8 gr
Peso platón	69,6 gr
Peso suelos seco	491,2 gr
Cantidad de agua	8,8 gr
Porcentaje de humedad	2%

Agregado grueso	
Peso muestra	1000 gr
Peso muestra + Platón	1194,8 gr
Peso muestra seca + Platón	1183,4 gr
Peso platón	194,8 gr
Peso suelos seco	988,6 gr
Cantidad de agua	11,4 gr
Porcentaje de humedad	1%