

**EVALUACIÓN DE BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA Y
ESTABILIZADO CON PLÁSTICO TRITURADO Y RESIDUOS DE
CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN**

JUAN FELIPE BELTRÁN NIÑO

CARLOS ANDRÉS GÓMEZ BARRAGÁN

Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga
Escuela de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Civil
Floridablanca
2023

**EVALUACIÓN DE BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA Y
ESTABILIZADO CON PLÁSTICO TRITURADO Y RESIDUOS DE
CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN**

**JUAN FELIPE BELTRÁN NIÑO
CARLOS ANDRÉS GÓMEZ BARRAGÁN**

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de ingenieros
civiles

Directora del Proyecto
Dra. CLAUDIA PATRICIA RETAMOSO LLAMAS

Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga
Escuela de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Civil
Floridablanca
2023

Copyright © 2023 por Juan Felipe Beltran Niño y Carlos Andrés Gómez Barragán

. Todos los derechos reservados

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

_____ Jurado

_____ Jurado

Quiero dedicarle este trabajo de grado a mi Padres, Pedro Mauricio Beltran, Wilson Caldera y Leady Carolina Niño, mis abuelos Pedro Beltran, Raquel Dulcey y Luz María Galvis por hacer posible que yo llegara hasta aquí, por su cariño y apoyo incondicional durante toda mi formación profesional y sin importar las dificultades siempre creyeron en mi dándome fuerza para soportar cualquier obstáculo.

También quiero dedicárselo a mi novia Soad Marhena Hazbon, quien fue la responsable de mi gusto al tema de investigación y al cariño a la construcción en Tierra

Juan Felipe Beltran Niño

Dedico este trabajo a Dios que es el que me dio la vida y las capacidades para poder llegar a donde estoy, a mis padres por darme todo para poder lograr este triunfo, a mi hermano que estaría orgulloso de lograr esta meta y a mi novia por apoyarme a perseguir mis sueños.

Carlos Andrés Gómez Barragán

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a Dios quien es el que nos ha dado todas las fortalezas y capacidades para poder realizar todo lo propuesto hasta la fecha.

A nuestros profesores que nos han formado con la mejor educación para que podamos convertirnos en unos excelentes profesionales éticos.

A todas las personas que nos ayudaron en la realización de este proyecto como lo son Erick Rodríguez Cadena, Edgar Hernández, José Mauricio Muñoz Bolívar, Sergio Ballen Zamora, Biaguio Arevalo

Y un agradecimiento especial a nuestra directora la docente Claudia Patricia Retamoso Llamas, por su guía y apoyo con sus conocimientos y experiencia en todo el proceso investigativo.

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	16
1.1	JUSTIFICACIÓN	16
2.	DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	17
3.	OBJETIVOS	18
3.1	Objetivo General.....	18
3.2	Objetivos Específicos.....	18
4.	ALCANCE DEL PROYECTO.....	19
5.	ANTECEDENTES	20
6.	MARCO TEÓRICO.....	26
6.1	Marco Conceptual	26
6.2	Marco Demográfico	33
6.3	Marco legal	33
7.	METODOLOGÍA O PLAN DE TRABAJOS	34
8.	PRELIMINARES	37
8.1	Obtención de la Materia Prima	37
9.	CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL	40
9.1	Granulometría	40
9.2	Ensayo de límite líquido y límite plástico.....	43
9.3	Ensayo De Proctor	47
9.4	Test del tamaño de las partículas	54
9.5	Test del Color.....	55

9.6	Caracterización por Brillo.....	56
9.7	Test De Caída De Bola	57
9.8	Test del vidrio	57
9.8.1	Test Del Cordón.....	60
10.	DETERMINACIÓN DE LAS DOSIFICACIONES	62
11.	REALIZACIÓN DEL BTCE.....	63
12.	RESULTADOS.....	66
12.1	Ensayo de densidad seca Bulk	66
12.2	Ensayo de abrasión	70
12.3	Ensayo de compresión	77
12.4	Ensayo de flexión.....	81
12.5	Ensayo de erosión	88
12.6	Permeabilidad al agua.....	92
13.	CICLO DE VIDA DEL LADRILLO	97
14.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	98
14.1	Densidad Seca Bulk.....	98
14.2	Abrasión.....	100
14.3	Compresión	101
14.4	Flexión	103
14.5	Erosión.....	104
14.6	Velocidad De Transmisión De Agua	105
15.	ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA.....	109
15.1	Análisis ciclo de vida del ladrillo.....	109

15.2	Análisis ciclo de vida del BTC	115
16.	CONCLUSIONES	124
17.	RECOMENDACIONES.....	125
18.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	126

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 - Materiales del BTCE	27
Tabla 2 – Etapas de la Metodología.....	34
Tabla 3 . Diseño experimental porcentajes de material	36
Tabla 4. Cantidades de material para cada ensayo	36
Tabla 5 - Granulometría.....	41
Tabla 6 - Clasificación según Granulometría.	42
Tabla 7 Ensayo de Límite Líquido y Límite Plástico	44
Tabla 8 - Resultados del índice de Plasticidad.....	45
Tabla 9 - Ensayo de Proctor Modificado	52
Tabla 10 - Test de Tamaño	54
Tabla 11 - Test del Color	55
Tabla 12 - Test de Brillo	56
Tabla 13 – Test de Caída de Bola.....	57
Tabla 14 – Test del Vidrio	58
Tabla 15 - Test del cordón	61
Tabla 16 - Densidad Seca BTC.....	67
Tabla 17 - Densidad Seca BTCE RDC 30%.....	68
Tabla 18 - Densidad Seca BTCE Plástico 4%	68
Tabla 19 - Densidad Seca BTCE RDC 27% y Plástico 3%.....	69
Tabla 20 - Densidad Seca BTCE RDC 28% y Plástico 2%.....	69
Tabla 21 - Densidad Seca BTCE RDC 29% y Plástico 1%.....	70
Tabla 22 - Resultados de Abrasión BTC	74
Tabla 23 - Resultados de Abrasión BTCE RDC 30%	74
Tabla 24 - Resultados De Abrasión BTCE Plástico 4%.....	75
Tabla 25 - Resultados De Abrasión BTCE RDC 27% y Plástico 3%	75
Tabla 26 - Resultados De Abrasión BTCE RDC 28% y Plástico 2%	76
Tabla 27 -Resultados De Abrasión BTCE RDC 28% y Plástico 2%	76
Tabla 28 -Resultados De Compresión BTC.....	78
Tabla 29 -Resultados De Compresión BTCE RCD 30%.....	79
Tabla 30 - Resultados De Compresión BTCE Plástico	79
Tabla 31 - Resultados De Compresión BTCE RDC 27% y Plástico 3%.....	80
Tabla 32 - Resultados De Compresión BTCE RDC 28% y Plástico 2%.....	80
Tabla 33- Resultados De Compresión BTCE RDC 29% y Plástico 1%.....	81
Tabla 34 - Esfuerzos últimos de los mejores ejemplares por categoría.....	85
Tabla 35 - Resultados Ensayo a Flexión BTC.....	85
Tabla 36- Resultados Ensayo a Flexión BTCE RCD 30%.....	86
Tabla 37 - Resultados Ensayo a Flexión BTCE Plástico 4%.....	86
Tabla 38 - Resultados Ensayo a Flexión BTCE RCD 27% y Plástico 3%.....	87
Tabla 39 - Resultados Ensayo a Flexión BTCE RCD 28% y Plástico 2%.....	87
Tabla 40 - Resultados Ensayo a Flexión BTCE RCD 29% y Plástico 1%.....	88
Tabla 41 - Resultados Ensayo de Erosión BTC.....	90
Tabla 42 -Resultados Ensayo de Erosión BTCE RCD 30%.....	90
Tabla 43 -Resultados Ensayo de Erosión BTCE Plástico 4%	90
Tabla 44 -Resultados Ensayo de Erosión BTCE RCD 27% Plástico 3%.....	91
Tabla 45 - Resultados Ensayo de Erosión BTCE RCD 28% Plástico 2%.....	91

Tabla 46 - Resultados Ensayo de Erosión BTCE RCD 29% Plástico 1%.....	91
Tabla 47 -Resultados Ensayo de Velocidad de Trasmisión del Agua BTC	93
Tabla 48 -Resultados Ensayo de Velocidad de Trasmisión del Agua BTCE RCD.....	94
Tabla 49 -Resultados Ensayo de Velocidad de Trasmisión del Agua BTCE Plástico 4%.....	94
Tabla 50 - Resultados Ensayo de Velocidad de Trasmisión del Agua BTCE RCD 27% Plástico 3%	95
Tabla 51 -Resultados Ensayo de Velocidad de Trasmisión del Agua BTCE RCD 28% Plástico 2%	95
Tabla 52 -Resultados Ensayo de Velocidad de Trasmisión del Agua BTCE RCD 29% Plástico 1%	96
Tabla 53 -Resultados Ensayo de Densidad Seca Bulk.....	98
Tabla 54 -Resultados Ensayo de Abrasión	100
Tabla 55 -Resultados Ensayo de Compresión	101
Tabla 56 - Resultados Ensayo de Flexión.....	103
Tabla 57 - Resultados Ensayo de Erosión.....	104
Tabla 58 - Resultados Ensayo de Velocidad de trasmisión de agua.....	105
Tabla 59 – Tabla de calificaciones BTCE	107
Tabla 60 - Energía de cocción	114
Tabla 61 - Calculo de Fuerza de cada fase Cinva Ram	121
Tabla 62 - Energía de compactar en la Cinva Ram	122
Tabla 63 - Comparación de ciclo de vida	123

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mapa Satelital Área Metropolitana de Bucaramanga	17
Figura 2 - Maquina Universal (Obtenido de Dirimpex)	19
Figura 3 - CINVA RAM (Obtenida De la Alibaba)	19
Figura 4 - Jerico, Israel, (Obtenido de Primeros Cristianos)	20
Figura 5 - Muralla China, (Obtenida de National Geographic	21
Figura 6 - Manual de tierras François Cointeraux (Obtenido de Auroville Earth Institute).....	22
Figura 7 - Hollyhock House, (Obtenido de Wordpress).....	23
Figura 8 - Mapa de arquitectura en tierra en el Mundo, (Obtenido Meta arquitectura)	24
Figura 9 – Construcción en BTC, (Obtenido De APUNTES).....	26
Figura 10 - CINVA RAM (Obtenida De la Alibaba)	28
Figura 11- Máquina Universal (Obtenido de Dirimpex)	30
Figura 12 - Máquina de los ángeles (obtenida de Dirimpex).....	31
Figura 13 – Horno de Laboratorio (Obtenido de Dirimex).....	32
Figura 14 - Horario Climatológico Bucaramanga, (obtenido de Google)	33
Figura 15 – Recolección de la tierra	37
Figura 16 - Poliestireno Poli color de la planta Recicladora MAFRE.....	38
Figura 17 - Residuos De Construcción Y Demolición	39
Figura 18 - Curva Granulométrica.....	42
Figura 19 – Ensayo de Limite Liquido	44
Figura 20 – Índice Plástico y Límite Líquido	45
Figura 21 Masa representativa	47
Figura 22 - Masa del Cilindro	48
Figura 23 - Compactación del suelo	49
Figura 24 - Peso capsula + suelo seco	50
Figura 25 - Peso Molde más suelo seco.....	50
Figura 26 – Curva de compactación de humedad.....	53
Figura 27 - Test Visual	54
Figura 28 - Test del Color	55
Figura 29 - Test de Brillo.....	56
Figura 30 - Test de Caída de Bola	57
Figura 31 – Test del Vidrio.....	58
Figura 32 - Triángulo de Textura USDA.....	58
Figura 33 - Probeta con Test de Vidrio.....	59
Figura 34 - Triángulos USDA Estabilizantes	60
Figura 35 - Test del Cordón	61
Figura 36 - Materiales para El BTCE	63
Figura 37 - CINVA RAM.....	64
Figura 38 - BTCE Terminado En Tiempo De Curado.....	65
Figura 39 – Toma de datos de Densidad Seca Bulk	66
Figura 40 -Ensayo de Abrasión en BTCE RDC 30%, 0 Pasadas	71
Figura 41 -Ensayo de Abrasión en BTCE RDC 30%, 5 Pasadas	71
Figura 42 -Ensayo de Abrasión en BTCE RDC 30%, 10 Pasadas	72
Figura 43 - Ensayo de Abrasión en BTCE RDC 30%, 15 Pasadas	72
Figura 44 - Ensayo de Abrasión en BTCE RDC 30%, 20 Pasadas	72

Figura 45 - Cepillo de fibras de acero.....	73
Figura 46 - Ensayo de Compresión.....	77
Figura 47 - Simulación de esfuerzo a compresión del BTCE.....	78
Figura 48 - Luz libre entre apoyos.....	82
Figura 49 - Ensayo de Flexión, BTC Antes y después de fallar.....	82
Figura 50 - Datos de Flexión.....	83
Figura 51 - Representación de una carga puntual.....	84
Figura 52 - Curva esfuerzo deformación.....	84
Figura 53 - Ensayo de Erosión.....	89
Figura 54 - Ensayo de Permeabilidad.....	92
Figura 55 - Densidad Seca.....	99
Figura 56 - Coeficiente Abrasión.....	100
Figura 57 - Ensayo a Compresión.....	102
Figura 58 - Ensayo flexión.....	103
Figura 59 - Ensayo de Erosión.....	105
Figura 60 - Grafica Velocidad Trasmisión del agua.....	106
Figura 61 - Horno Ladrillos.....	109
Figura 62 - Distribución Geográfica de ladrilleras en los diferentes departamentos en Colombia	110
Figura 63- Ladrillo H12.....	111
Figura 64 - Proceso de fabricación del ladrillo.....	112
Figura 65 - Consumo de combustible por tamaño.....	113
Figura 66 - Fabrica de ladrillos (Nalah Tecnnique).....	115
Figura 67 - Fase 1 de Cinva Ram Cerrado sin enganche.....	116
Figura 68 - Fase 2 Cinva Ram Abierto.....	117
Figura 69 - Fase 3 Cinva Ram Cerrado con enganche.....	117
Figura 70 – Fase 4 Cinva Ram Compresión.....	118
Figura 71 - Fase 5 Cinva Ram Cerrado sin enganche.....	118
Figura 72 - Fase 6 Cinva Ram Extracción.....	119
Figura 73 - Diagrama ley de palanca.....	120
Figura 74 - Diagrama ley de palanca Cinva Ram.....	120

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: EVALUACIÓN DE BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA Y ESTABILIZADO CON PLÁSTICO TRITURADO Y RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

AUTOR(ES): Juan Felipe Beltrán Niño
Carlos Andrés Gómez Barragán

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Civil

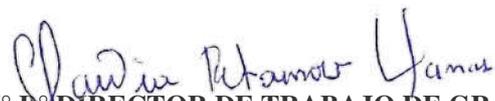
DIRECTOR(A): Claudia Patricia Retamoso Llamas

RESUMEN

La sociedad sufre problemas como el precio de los materiales de construcción y de las viviendas, sumándose al daño ecológico generado por la manufactura, construcción y demolición. En los tiempos modernos se busca solucionar con métodos de construcción sostenibles para reducir el problema. La construcción con tierra es una técnica milenaria, ecológica, económica, asequible y reutilizable; El presente proyecto tiene como objetivo evaluar la viabilidad de aditivos como residuos de construcción y plástico, buscando darles un segundo uso y analizar el cambio en sus propiedades mecánicas e higroscópicas a través de seis ensayos, los cuales son: resistencia a la flexión, resistencia a la compresión, erosión, abrasión, densidad y permeabilidad al agua. Esto se aplicará a cinco grupos que se compararán con BTCE 100% tierra, así BTCE con 30% RCD, BTCE con 4% plástico, BTCE con 27% RCD y 3% plástico, BTCE con 28% RCD y 2% plástico y BTCE con 29% RCD y 1% plástico. De acuerdo con los resultados de todas las pruebas y luego de la comparación con todos los grupos, se concluyó que las mejores dosificaciones fueron el BTCE con 30% RCD y BTCE con 28% RCD y 2% plástico. Esta investigación también compara el ciclo de vida de la unidad de albañilería de perforación horizontal y el bloque BTC convencional, analizando sus diversas características como propiedades mecánicas, consumo de energía para su producción, materiales y equipos requeridos.

PALABRAS CLAVE:

BTCE, plástico, RDC, mezclas, construcción, tierra, bloque, compresión, flexión, ladrillo



Vº Bº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: EVALUATION OF BLOCKS OF COMPRESSED EARTH STABILIZED WITH CRUSHED PLASTIC AND CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE

AUTHOR(S): Juan Felipe Beltrán Niño
Carlos Andrés Gómez Barragán

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

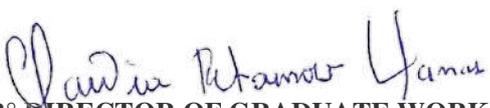
DIRECTOR: Claudia Patricia Retamoso Llamas

ABSTRACT

Society suffers from problems such as the price of construction materials and housing, adding to the ecological damage generated by manufacturing, construction, and demolition. In modern times, solutions are sought with sustainable construction methods to reduce the problem. Earth construction is an ancient, ecological, economical, affordable, and reusable technique; The objective of this project is to evaluate the viability of additives such as construction and plastic waste, seeking to give them a second use and analyze the change in their mechanical and hygroscopic properties through six tests, which are: resistance to flexion, resistance to compression, erosion, abrasion, density, and water permeability. This will be applied to five groups that will be compared with BTCE 100% earth, thus BTCE with 30% RCD, BTCE with 4% plastic, BTCE with 27% RCD and 3% plastic, BTCE with 28% RCD and 2% plastic and BTCE with 29% RCD and 1% plastic. According to the results of all the tests and after the comparison with all the groups, it was concluded that the best dosages were the BTCE with 30% RCD and BTCE with 28% RCD and 2% plastic. This research also compares the life cycle of the horizontal drilling masonry unit and the conventional BTC block, analyzing its various characteristics such as mechanical properties, energy consumption for its production, materials, and equipment required.

KEYWORDS:

BTCE, plastic, DRC, mixes, construction, earth, block, compression, bending, brick



V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad Colombia posee una crisis habitacional donde 1/3 de la población o no posee vivienda propia, o posee en precarias condiciones o carece de vivienda alguna (Carvajal Jimenez, 2014), a su misma vez el desarrollo de la raza humana como especie ha repercutido también en diversos problemas medioambientales para el planeta, principalmente la contaminación que crece a nivel exponencial.

Afortunadamente desde la antigüedad se crearon estrategias y técnicas para construir viviendas duraderas, seguras, ecológicas, autosustentables y de fácil obtención de materiales. teniendo en cuenta que la tierra es el material más importante y abundante en el planeta, 1/3 de la humanidad vive en viviendas en tierras (Francis Sloth, 2005), al ser un material tan abundante se han creado diferentes métodos y técnicas de construcción en tierra para satisfacer las necesidades de la población, por eso adaptando ese problema a la situación actual se busca solucionar estos 2 problemas combinando los residuos reciclables con el material principal que es la tierra, la fibra de plástico triturado (PT) es de los más fáciles de obtener y combinar con los residuos de construcción y demolición (RCD) lo que mejorará en gran medida sus resultados con una técnica constructivas como lo es el bloque de tierra comprimido y estabilizado (BTCE) y permitirá mantener una vivienda sostenible, económica, ecológica, duradera y de fácil mantenimiento. (Arquitectura y Empresa, 2015)

Para generar la evaluación se debe de contar con los materiales requeridos y los equipos necesarios para desarrollar los ensayos y determinar las propiedades y características de los BTCE con sus variadas dosificaciones comparándolas con BTC y así mirar su viabilidad para la construcción de viviendas de interés social, por eso se realizarán diseños experimentales de BTCE a partir de PT y RCD sometidos a diversos ensayos mecánicos e higroscópicos como lo son el ensayo de compresión o el ensayo de permeabilidad del vapor del agua utilizando el equipo correspondiente.

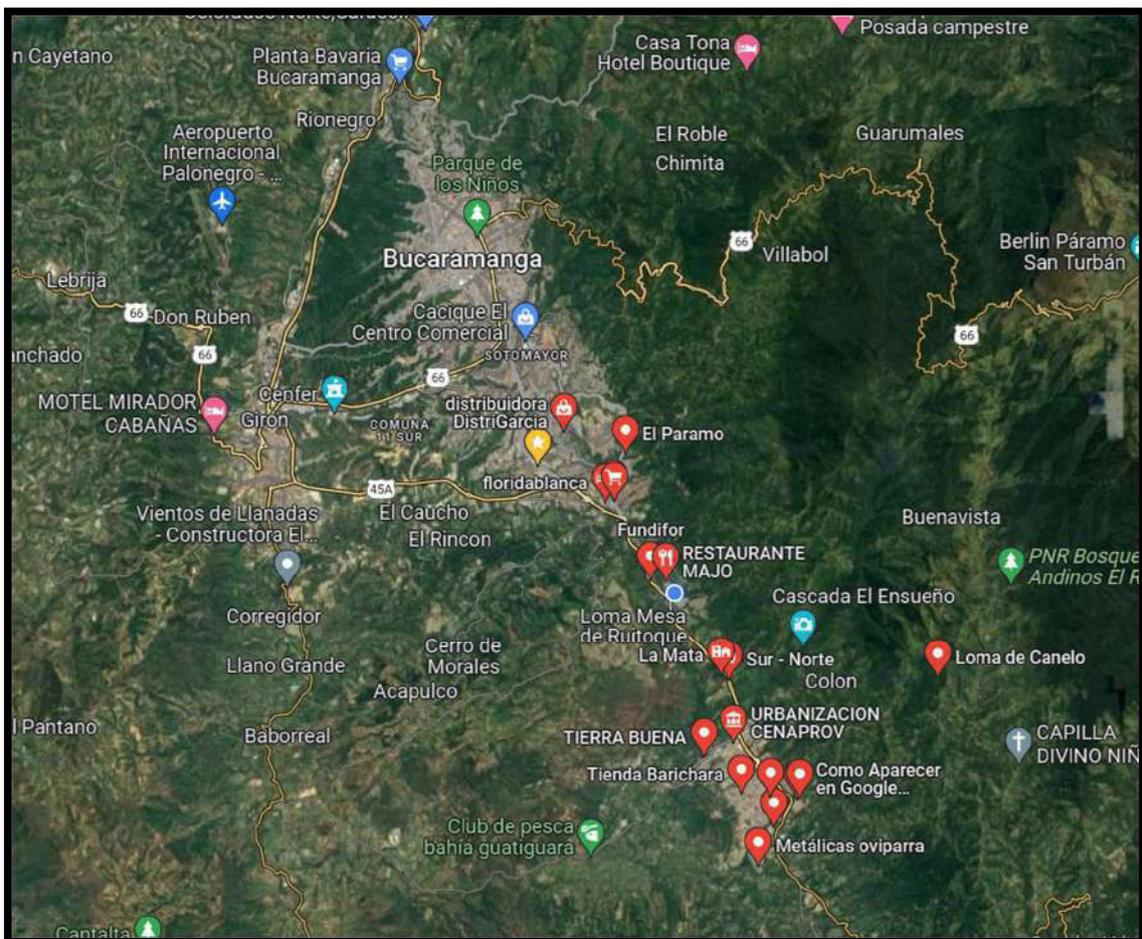
1.1 JUSTIFICACIÓN

Este proyecto permitirá buscar alternativas y/o soluciones efectivas y sostenibles para la crisis habitacional y de contaminación que se evidencia en la sociedad colombiana; siendo esta la construcción a partir de BTCE con PT y RCD, de tal manera que con un poco de ayuda muchas familias en condiciones precarias logren tener una vivienda digna, duradera, económica y de fácil obtención y producción. Además, generará conciencia de la importancia tanto de reciclar como del uso de la tierra en la construcción.

2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

La zona de trabajo y el enfoque de este proyecto está definida para el área metropolitana de Bucaramanga (Figura 1) debido a que el estudio se realizara a partir del tipo de tierra y condiciones existentes en esta ciudad, la cual será evaluada en los laboratorios de la Universidad Pontificia Bolivariana, en donde se desarrollaran y evaluaran los distintos ensayos de laboratorio y caracterización de los materiales; La duración del proyecto será de 4 meses, se tendrán en cuenta aspectos como la caracterización y obtención de la tierra, sus propiedades mecánicas e higroscópicas, los conceptos y temas de la técnica constructiva de BTCE y del estado del arte sobre todo en los últimos 10 años sin entrar al campo de otras técnicas o estrategias constructivas en tierra.

Figura 1- Mapa Satelital Área Metropolitana de Bucaramanga
(Obtenida de [Google Maps](#))



3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Evaluar las características del material y propiedades mecánicas e higroscópicas de los bloques de tierra comprimido y estabilizados con agregados de plástico triturado y residuos de construcción y demolición.

3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar física y mecánicamente los diferentes materiales utilizados como son la tierra, los residuos de plástico triturado y de construcción y demolición.
- Producir los diferentes bloques de tierra comprimida y estabilizada con las diferentes dosificaciones de plástico triturado y residuos de construcción y demolición.
- Evaluar el comportamiento del bloque de tierra comprimido y estabilizado y comparar con el ciclo de vida de las unidades de mampostería.

4. ALCANCE DEL PROYECTO

El alcance de esta investigación es hasta la evaluación de las propiedades mecánicas de los BTCE para determinar su eficacia y cantidad efectiva entre las diferentes dosificaciones de cada espécimen siendo mezclado con PT, RCD y tierra.

Se comenzará desde el estado del arte hasta la evaluación de las propiedades mecánicas de BTCE con PT, con ayuda de los resultados obtenidos en el laboratorio de construcciones para el desarrollo de los BTCE y el laboratorio de materiales para la realización de los ensayos con el fin de establecer sus propiedades mecánicas e higroscópicas y posteriormente evaluación de resultados.

Para el análisis de la tierra se realizará una caracterización de sus porcentajes de limos, arcillas y arenas, una granulometría, ensayos de límites líquido y plástico y Proctor.

Los ensayos que se realizarán a los BTC y BTCE serán compresión, flexión, abrasión, erosión, permeabilidad del agua, y densidad seca Bulk; siendo algunos de los equipos que se utilizaran son la máquina CINVA RAM y la Máquina Universal presentadas en las Figuras 2 y 3, respectivamente.

Figura 3 - CINVA RAM (Obtenida De la [Alibaba](#))



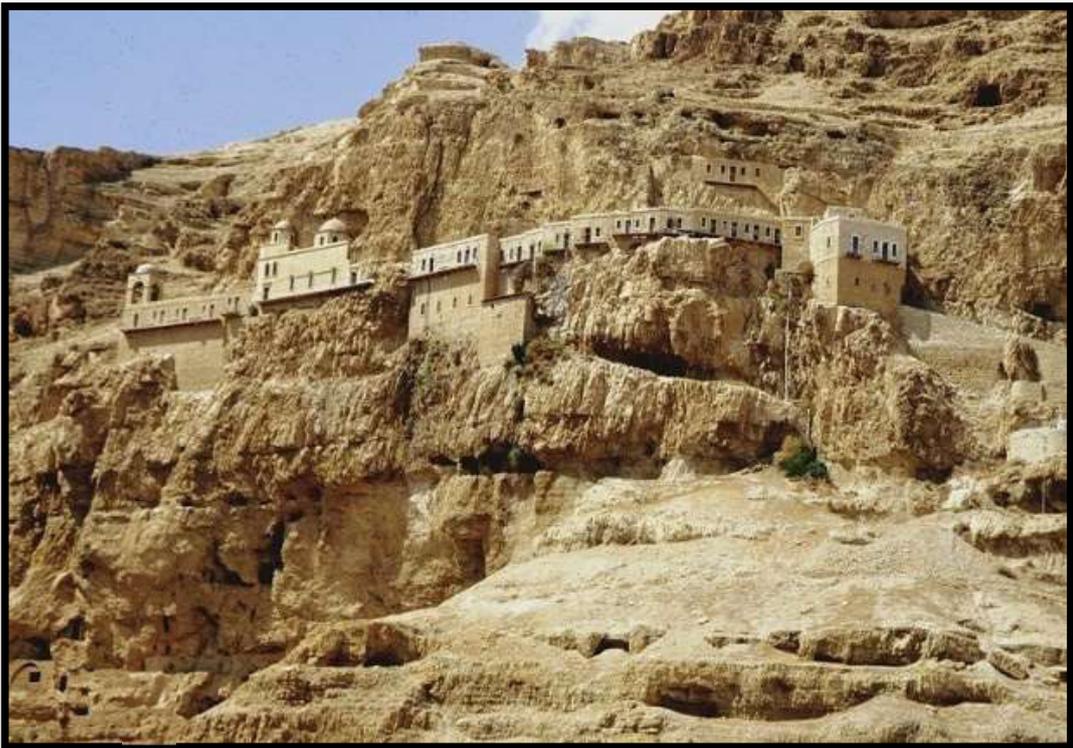
Figura 2 - Máquina Universal (Obtenido de [Dirimpex](#))



5. ANTECEDENTES

Desde el Principio de las civilizaciones humanas se han evidenciado la tierra como material más abundante y valioso para la construcción, podemos evidenciarlo en la ciudad de Jericó, Israel, una ciudad fundada en sus cimientos en tierra desde el año 7090 A.C como se puede ver en la Figura 4, evidencia de la durabilidad de las construcciones en tierra, otra ciudad hecha en tierra es la de Uruk, Turquía establecida entre las primeras ciudades de la historia y que además está hecha 100% en tierra, la gran muralla en china, presentada en la Figura 5, la pirámide del sol en México, obras con miles de años de antigüedad, las más remotas pero no obsoletas maravillas del mundo siguen en buenas condiciones como evidencia de la calidad, seguridad y durabilidad de las mega construcciones y sus diferentes diseños que se pueden obtener.

Figura 4 - Jerico, Israel, (Obtenido de [Primeros Cristianos](#))



Todas estas obras fueron hechas de manera empírica sin cálculos ingenieriles sino a partir del esfuerzo de varios años de trabajo de los múltiples laboradores de la época, pero la

documentación e investigación de las técnicas constructivas en tierra se desarrollaron en las épocas en que se redujo su utilización.

El antiguo Egipto, la América precolombina, la antigua península ibérica, Iran, Turquía, Irak y demás países son ejemplo con edificaciones con miles de años de antes de cristo y que duraran miles más, por ejemplo la Gran Muralla China presentada en la figura 5.

Al ser una Técnica ancestral se suele menospreciar su capacidad y utilidad en la modernidad, pero los hallazgos realizados por múltiples investigaciones prueban lo contrario, buscando actualizar la técnica sin desarraigarla de su concepto original.

Figura 5 - Muralla China, (Obtenida de [National Geographic](#))



Fue hasta el siglo XVIII de la mano de François Cointeraux, padre de la arquitectura en tierra fundo la primera escuela rural en París y con ella múltiples manuales (Cointeraux, 1790) que guiarían a futuras investigaciones, entre los logros del reconocido arquitecto esta la primera

casa incombustible que llego a los oídos del mismísimo Thomas Jefferson; a continuación, en la Figura 6 un fragmento Manual de tierras François Cointeraux.

Figura 6 - Manual de tierras François Cointeraux (Obtenido de [Auroville Earth Institute](#))

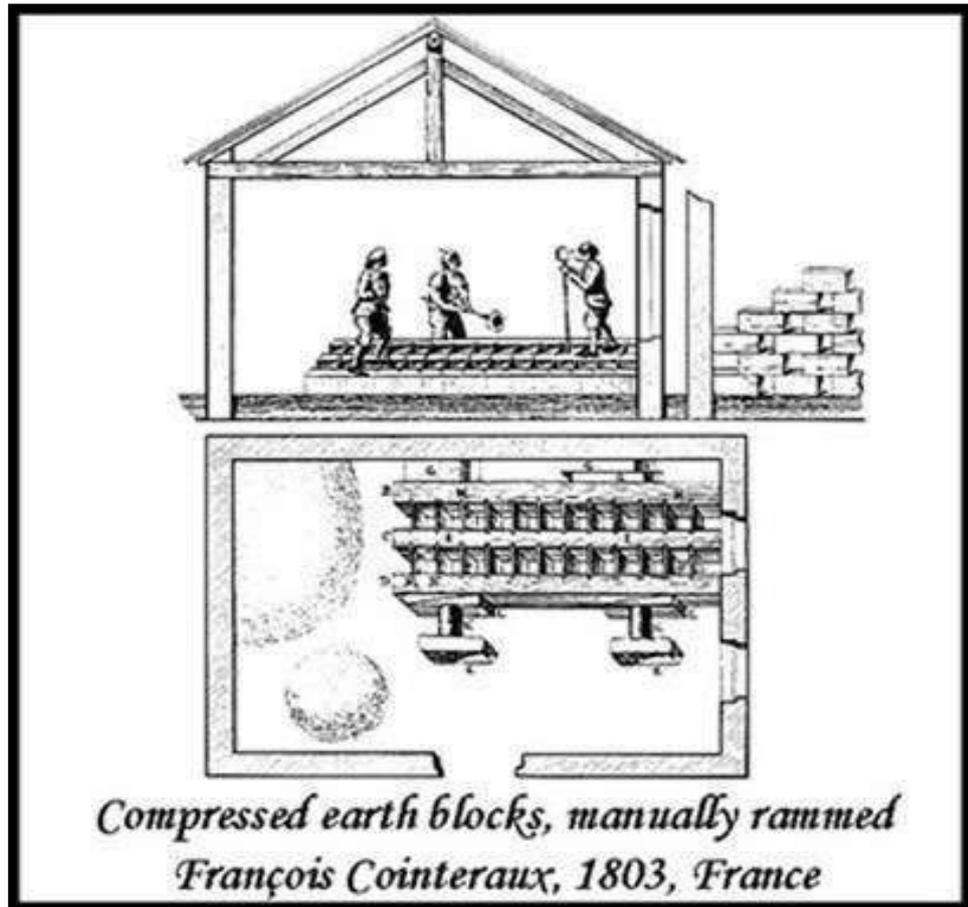


Figura 7 - Hollyhock House, (Obtenido de [Wordpress](#))



Varios siglos después surgieron un nuevo boom en el estudio de la construcción en tierra con los diversos manuales sobre la construcción simbiótica de la tierra con el paisaje (Wright, 1940); uno de los varios trabajos del genio Americano donde revoluciono la teoría con la creación del bloque textil basado a partir de la mampostería precolombina, entre sus obras de arte ingenieril están Hollyhock house, presentada en la Figura 7, Ennis Brown House y Broadacre city, sus avances revivieron la construcción en tierra como obra ingenieril y de arte en el País Norte Americano.

Volviendo a hablar de los avances en la técnica constructiva en tierra retornamos al medio oriente a egipcio con un Manual que cambio y facilito bastante la construcción para la gente con pocos recursos, salió Arquitectura para los pobres (Fathy, 1969), una literatura que presenta el arte nubia para la construcción en tierra, creada por el notable arquitecto egipcio

Hassan Fathy que entre sus demás obras reconocidas está el uso del ladrillo de barro para diseñar cúpulas, bóvedas e incluso una ciudad entera

En la Figura 8 se presentan los diversos países donde se emplea la Construcción en tierra y los lugares donde se considera patrimonio mundial; en donde se puede evidenciar Países como Colombia, Chile, Ecuador, Estados Unidos, Australia, Francia, Marruecos, Egipto, India, China o Turquía por nombrar a algunos países, donde la construcción en tierra es un patrimonio cultural.

Figura 8 - Mapa de arquitectura en tierra en el Mundo,
(Obtenido [Meta arquitectura](#))

ARCHITECTURE DE TERRE DANS LE MONDE



Dando un salto al siglo XXI, sea buscado diversos métodos investigativos para mejorar la condición de la tierra, siendo uno de los métodos más comunes el Bloque de Tierra Comprimido, (BTC) , donde se ha buscado experimentar con diversos estabilizantes y agregados para solucionar tanto las menos dotadas propiedades mecánicas e higroscópicas

que posee la tierra mientras se reutiliza diversos materiales, una investigación científica sobre el uso de BTCE con cemento y agregados de plástico reciclado (R. Gentil, 2011), donde se logró una mejora en los ensayos de flexión, alargamiento y erosión, este último siendo de los mayores problemas de los que sufre el BTC, además de material plástico se investigó sobre el uso de cenizas volantes combinada con materia orgánica como lo es la cascara de yuca (Niño, 2012), donde buscaban evitar el uso de estabilizantes como la cal y el cemento logrando de manera efectiva una relación óptima entre estos dos materiales otros han buscado seguir con la reutilización de materiales pero enfocado a residuos de obras (Vásquez, 2015) (Oubaha, 2022) (mebarka, 2022) con la utilización de polvo de horno de cemento, fosfoyeso o el mismo cemento como estabilizadores efectivos con un incremento abismal en la densidad Bulk y resistencia compresiva, otros buscan innovar con diversos polímero y la unión de desperdicios orgánicos (M.Desmarais, 2021)

6. MARCO TEÓRICO

6.1 Marco Conceptual

BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDO:

Son bloques de construcción Uniformes fabricados a base de una mezcla de arcilla, arena y tierra con un bajo contenido de agua, los bloques pueden ser estabilizados utilizando diversos materiales pasando a ser BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDO Y ESTABILIZADO (BTCE), una vez teniendo la mezcla con las características deseadas (humedad óptima, porcentaje de estabilizante y tierra), se procede a rellenar en el molde una prensa mecánica (GARCÍA, 2015); En la Figura 9 de se presenta un BTC clásico sin ningún agregado.

Figura 9 – Construcción en BTC, (Obtenido De [APUNTES](#))



Se le puede considerar el futuro de las Técnicas Constructivas en Tierra ya que se pueden generar en masa usando maquinas como las Cinva Ram con múltiples espacios, su facilidad de realización es la razón de su uso para esta tesis.

Como se habló previamente lo que diferencia un BTC de un BTCE es el estabilizante q se utiliza, se debe de DOSIFICAR los porcentajes de material para maximizar las propiedades de los BTCE, la siguiente tabla ayuda a entender el rol de cada material.

Tabla 1- Materiales del BTCE

MATERIAL	DESCRIPCIÓN	
TIERRA	Es la materia prima con la que se desarrollara el bloque, la tierra está conformada por arenas, limos y arcillas donde se recomienda que posean las siguientes proporciones optimas.	
	COMPONENTES	PROPORCIÓN
	ARCILLA	5 – 35%
	ARENA	40 – 80%
	LIMO	0 – 20%
AGUA	La cantidad de agua a utilizar se debe de determinar a partir de ensayos Proctor que definirá la humedad óptima para la muestra, se debe de tener la precaución de tener un factor climático adecuado ya que estos alteran la muestra.	
ESTABILIZANTE	Es el Material que ayudara a mejorar las capacidades y propiedades de nuestro BTCE, su cantidad variara según lo planeado por dosificación.	

Como se mencionó previamente la Cinva Ram es la herramienta de trabajo esencial para el desarrollo de los BTC, dicha maquina puede generarlo en forma de ladrillo clásico y compacto o como bloque tipo lego con orificio para conectarlos entre sí, este valioso equipo será donado por la Entidad que apoya el Trabajo de Grado en este caso la Universidad Pontificia Bolivariana dispone de dos modelos diferentes de Cinva Ram, se utilizara el modelo que comprime en forma de ladrillo con una capacidad de dos bloques por acción de palanca, la Maquina Cinva Ram se puede visualizar en la Figura 10.

Figura 10 - CINVA RAM (Obtenida De la Alibaba)



El BTC como método constructivo posee una gran cantidad de ventajas con respecto al ladrillo e incluso otros métodos constructivos en tierra:

- La Tierra regula de manera natural el ambiente de la casa, debido a la inercia térmica que poseen estos materiales. (Arquitectura y Empresa, 2015)
- La Tierra no genera ningún tipo de gas dañino para la atmosfera por el contrario ayuda a neutralizar el humo de tabaco y otras sustancias. (Félix Jové Sandoval, 2014)
- La humedad relativa para el BTC es siempre inferior a un (50%) por lo que no permitirá la proliferación de hongos. (Arquitectura y Empresa, 2015)
- Sus materiales son Asequibles y fáciles de trabajar, pudiendo generar en varias palancadas múltiples BTC en un tiempo relativamente rápido.
- El BTCE es una versión reforzada y estabilizada del BTC mejorando aun más su comportamiento, mecánico, higroscópico y térmico. (Niño, 2012)
- Es una tecnología ecofriendly ya que es amigable con el medio ambiente, la Cinva Ram maquinaria que se utiliza para su producción puede ser mecánica utilizando solo la fuerza y peso del usuario como método de compresión, es decir no requiere de electricidad ni generara residuos.
- No son Inflamables, la construcción en tierra tiene esa ventaja de no proliferar o permitir un incendio incinerar la vivienda como si sucede con los hogares convencionales.
- Ofrece un buen aislamiento acústico para las personas que habiten en viviendas de BTC. (Félix Jové Sandoval, 2014)
- Es un material Dúctil con bastantes propiedades que se siguen descubriendo y mejorado en constantes investigaciones
- Se puede producir en Obra y si se decide utilizar un Cinva RAM industrializada se puede crear en Masa
- La Producción de BTC requiere alrededor del 1% de la energía necesaria para producir un ladrillo convencional, y como se comentó previamente no requiere de horno para su generación siendo aún más ecológico y económico. (Arquitectura y Empresa, 2015)

El desarrollo de los laboratorios se realizará en diversos equipos comenzando por la maquina universal la cual permite el realizar ensayos de compresión, desgarro, flexión, tracción, tensión, dicha maquina se visualiza en la Figura 11, pasando para los ensayos de abrasión se utilizara la máquina de los Ángeles, la cual se presenta en la Figura 12, por otra parte el ensayo de densidad seca solo requiere de una balanza, Flexómetro y un BTCE, para los ensayos Higroscópicos si se requiere de un Horno de laboratorio y demás equipos como probetas, vasos, filtros, etc.

Figura 11- Máquina Universal (Obtenido de Dirimpex)



El Ensayos de compresión evalúa la durabilidad, integridad y seguridad de los diversos materiales y componentes puestos a prueba entre los más comunes son cerámicas, compuestos de fibras, metales y plásticos. (ZICK ROELL, 2022)

El Ensayo de Tracción se basa en someter a una probeta normalizada frente a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produce la rotura de esta, Este ensayo mide la resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada lentamente.

Figura 12 - Máquina de los ángeles (obtenida de [Dirimpex](#))



El ensayo de Abrasión también se puede realizar de manera manual utilizando un cepillo con una cantidad definida de pasadas y midiendo la diferencia entre los pesos, el espesor y así se logra su coeficiente de abrasión.

Pasando a otro ensayo fundamental para los BTCE tenemos el Ensayo de erosión, la debilidad frente la erosión es la mayor desventaja a la hora de trabajar con este tipo de técnicas constructivas en tierra por lo que se debe de determinar y comparar los BTCE con los BTC, para esto se realiza ensayo de erosión, consistiendo en un goteo controlado y controlado en un tiempo definido para calcular el área y profundidad del agujero que se genera.

En el apartado de ensayos higroscópicos tenemos el ensayo de permeabilidad de vapor del agua a través del BTC, previamente mencionó la densidad seca Bulk del BTCE, su importancia se refiere a que a mayor densidad menor porosidad se posee en los BTCE. Lo anterior, va relacionado a la cantidad de agua que podría entrar a través de esos mismos poros en el material durante el ensayo de permeabilidad, el cual consiste en la velocidad de transmisión de vapor de agua medido como la masa de agua que atraviesa una superficie específica de un material en un tiempo predeterminado (AIMPLAS, 2016) y (LABFERRER METER, 2020). El equipo que ayudara en los ensayos higroscópicos es el horno de laboratorio como se aprecia en la Figura 13.

Figura 13 – Horno de Laboratorio (Obtenido de [Dirimex](#))



6.2 Marco Demográfico

La zona metropolitana de Bucaramanga posee un clima tropical de sabana (METEOR RED, 2022) con precipitaciones del 14% y un viento de 5 km/h, como se ve en la figura 14, siendo estas buenas condiciones para desarrollar los BTCE, con un tiempo de curado de 28 días siendo perfecto para lograr maximizar las propiedades de los BTCE

Figura 14 - Horario Climatológico Bucaramanga, (obtenido de Google)



6.3 Marco legal

La tierra como método constructivo en Colombia va más ligado como técnica ancestral sin aparecer en las Normas constructivas como la Norma Sismo Resistente, más sin embargo en otros países más desarrollados como Francia se poseen Manuales para construcción en tierra, por la parte de la seguridad se cumplirá con las normas en el laboratorio usando el equipo de protección requerido, bata y botas de seguridad

7. METODOLOGÍA O PLAN DE TRABAJOS

En el desarrollo de este proyecto se realizará una evaluación de las propiedades de los BTCE, estabilizado con PT y RCD, donde se determinará su viabilidad como material constructivo para viviendas de carácter social, para obtener esos resultados se deberá de realizar múltiples ensayos de laboratorio y así ver sus comportamientos mecánicos, físicos e higroscópicos, el orden de las etapas son obtención de la materia prima, determinación de las dosificaciones, Preparación del Material, Realización del BTCE, Tiempo de Curado, Ensayos de Laboratorio y Discusión de resultados, las etapas se presentan en la tabla 2.

Tabla 2 – Etapas de la Metodología

ETAPAS	
1	<p>Obtención de la Materia Prima: Se solicitará el apoyo a una constructora en las cercanías del área metropolitana para la donación de tierra y RCD que serán depositadas en el laboratorio de construcciones, siendo estas específicamente lasas trituradas.</p> <p>Por el lado del PT se puede buscar en diversos lugares de reciclaje pudiendo ser obtenido desde botellas de plástico, tapas, ganchos de ropa, entre las opciones destaca el poliestireno poli color por su mayor accesibilidad de obtener, estos plásticos pasan por una trituradora especializada donde se asegura su buena limpieza y lavado antes de ser usada para el desarrollo de los BTCE.; Al ser materiales bastante abundantes no se posee ningún problema para conseguirlos.</p>
2	<p>Caracterización de la Tierra: Se identificará las características del material de trabajo principal del BTCE, la tierra, con el fin de determinar su porcentaje de arcillas, arenas y limos los cuales deben cumplir lo necesario que fue presentado en la tabla 1, los métodos que existen son botella de vidrio, tamaño de partícula, color, brillo, caída de bola, color, cinta, exudación y granulometría; todos estos ensayos ayudaran a determinar si es el tipo de tierra es adecuado para trabajar tanto los BTCE como los BTC, además se debe de realizar un ensayo de Proctor, limite líquido y limite plástico para cada combinación de los materiales destinados a ser BTCE y determinar sus propiedades</p>
3	<p>Determinación de las Dosificaciones: Se calculará la cantidad de los materiales creando múltiples especímenes con diversos porcentajes de tierra y los estabilizantes además de la humedad optima de esta misma a partir de un diseño experimental donde los materiales son la tierra, agua, plástico triturado y RCD, se contará con BTC puros sin estabilizantes el cual será el punto de comparación para determinar la mejora o variabilidad con los BTCE en sus diversos ensayos a realizar.</p>
4	<p>Preparación del Material: Se realizará el triturado y lavado del plástico reciclado el cual principalmente vendrá de plantas recicladoras las cuales facilitan la obtención de estas mismas.; por la parte de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) se deberá de moler y hacer polvo y/o partículas muy pequeñas que pasen por el tamiz #4 con el fin de poder utilizarlos como estabilizantes y que se adapten y combine mejor con la tierra, estos procesos de tratamiento de los materiales se realizarán tanto de manera manual como con ayuda de equipos como mazos y maquinarias como trituradoras.</p>

Continuación Tabla 2 – Etapas de la Metodología

ETAPAS	
5	Realización del BTCE: Utilizando la maquina Cinva Ram en los laboratorios de la Universidad Pontificia Bolivariana, usando distintas proporciones que fueron calculadas en la etapa 3 y presentadas en la tabla 3 “ENSAYOS Y CANTIDADES DE MATERIAL”, donde las dosificaciones creadas a partir del método científico permite desarrollar un número de 84 BTCE (incluyendo los BTC), para así tener múltiples especímenes y una seguridad en los ensayos ya que estos poseen un porcentaje de error e incertidumbre.
6	Tiempo de Curado: Se dejarán descansando los BTCE por 1 mes para que estén al máximo de su capacidad al recibir sol y estar reposados.
7	Ensayos de Laboratorio: Una vez acabado el tiempo de curado se comienza a desarrollar los ensayos para determinar sus propiedades y comportamientos Mecánicos e Higroscópicos. Por el lado de los ensayos mecánicos se determinará su comportamiento a la compresión y a la flexión como se aprecia en el marco teórico, además de ensayos como el de la densidad seca Bulk donde se determinará su densidad y porosidad
8	Discusión de resultados: Se evaluarán los resultados obtenidos en los diversos ensayos de laboratorio desde el momento en que se desarrollan los mismos.

Para la Realización de los ensayos es utilizaran un total de 84 BTCE con diferentes dosificaciones de plástico triturado y Residuos de Construcción y Demolición como se ve en la siguiente tabla, se presentan las diferentes cantidades de dosificaciones de material y la cantidad de BTCE requeridos para cada ensayo en el cual se busca ensayar las diferentes opciones variando la cantidad de PT y RCD o en su defecto por separado, las dosificaciones se presentan en la tabla 3 y la cantidad por ensayo en la tabla 4.

En la investigación realizada por Desmarais & Fleming (2021) se observó que el máximo porcentaje de plástico que se puede adicionar al bloque de tierra es 4% en su peso. Esto debido a que porcentajes mayores, no permiten la compactación del bloque y no cumpliría su labor estructural.

Adicional a lo anterior, en el laboratorio se desarrollaron ensayos preliminares en los cuales se pudo observar que un 6% de adición de plástico, no se podía realizar la compactación del material en la CinvaRAM lo cual fue confirmado también por la experiencia práctica de los técnicos de laboratorio.

Tabla 3 . Diseño experimental porcentajes de material

	Material	CATEGORIAS					
		A	B	C	D	E	BTC
(%)	TIERRA	70%	70%	70%	96%	70%	100%
	PT	1%	2%	3%	4%	0%	0
	RCD	29%	28%	27%	0%	30%	0
	TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%	100%

PT = Plástico Triturado

RCD = Residuos de Construcción y Demolición

Tabla 4. Cantidades de material para cada ensayo

	CANTIDAD DE BTCE						
ENSAYOS	DENSIDAD Y EROSIÓN	3	3	3	3	3	3
	ABRASIÓN	3	3	3	3	3	3
	COMPRESIÓN	3	3	3	3	3	3
	FLEXIÓN	3	3	3	3	3	3
	PERMEABILIDAD DEL AGUA	1	1	1	1	1	1
	TOTAL	13	13	13	13	13	13
TOTAL DE MUESTRAS							78

La razón de que estos porcentajes de agregados no superen a la tierra como se evidencia la Tabla #3 es porque esta es la materia prima principal, varias investigaciones se han aventurado a aumentar los porcentajes de los agregados llegando a un 70% de estos y solo un 20% de tierra (Vásquez, 2015), en el criterio del trabajo se considera que alcanzar un 50% o más de agregados dejaría de considerarse un BTCE y pasaría a ser considerado como bloque de residuos de construcción y demolición con tierra y plástico.

8. PRELIMINARES

8.1 Obtención de la Materia Prima

Tierra: El material de muestra fue recolectado en el municipio de Floridablanca, en la Autopista que conduce de Piedecuesta a Bucaramanga, 170 metros más delante de la planta de sacrificio de Mac; dicho material fue transportado hasta las instalaciones de los laboratorios de la Universidad Pontificia bolivariana, además se obtuvo más de 600 kilos de tierra de una torre inclinada en tierra presentada en la figura 15.

Figura 15 – Recolección de la tierra



Plástico Triturado: El plástico se obtuvo de la Recicladora de Plástico MAFRE, siendo este un poliestireno Poli color, plástico ya previamente lavado y triturado en pequeños pedazos, facilitando su uso y trabajo para mezclarse con los demás materiales, unos ejemplos de poliestireno poli color se pueden ver en la figura 16.

Figura 16 - Poliestireno Poli color de la planta Recicladora MAFRE



Residuos De Construcción Y Demolición: Los residuos de obra pueden ser desde ladrillo hasta aceros de refuerzos, en este caso fueron baldosas y lozas (Concreto como las que se aprecian en la figura 17) que fueron trituradas a partículas más finas mediante el uso de herramientas como la apisonadora.

Figura 17 - Residuos De Construcción Y Demolición



9. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL

La caracterización de la tierra para bloques de tierra comprimida implica el análisis de las propiedades de la tierra que se utilizará para producir los bloques. Estas propiedades pueden incluir la textura, la granulometría, límite líquido, la densidad aparente, la resistencia a la compresión, la humedad, la permeabilidad, etc.

La textura se refiere a la proporción relativa de arena, limo y arcilla en la tierra, mientras que la granulometría se refiere al tamaño de las partículas de la tierra. La densidad aparente es la masa de la tierra por unidad de volumen, y la resistencia a la compresión es la cantidad de fuerza que la tierra puede soportar antes de deformarse o romperse. La humedad se refiere al contenido de agua en la tierra, y la permeabilidad es la capacidad de la tierra para permitir que el agua y los gases la atraviesen.

La caracterización de la tierra para bloques de tierra comprimida es importante para asegurar que se utilice la mezcla adecuada de tierra para producir bloques resistentes y duraderos. También puede ayudar a identificar las mezclas de tierra más eficaces y económicas para producir bloques de alta calidad

Antes de trabajar con un material es necesario conocer sus características, a continuación se presentarán los ensayos realizados para la tierra antes de ser utilizada para los BTCE.

9.1 Granulometría

La granulometría de la tierra se refiere a la distribución de tamaños de partículas en un suelo o sedimento. En otras palabras, se trata de la medida de los diferentes tamaños de partículas que componen la tierra.

La granulometría se puede expresar en términos de porcentaje de masa o volumen de partículas de diferentes tamaños en una muestra de tierra. La muestra de tierra se somete a un proceso de tamizado, en el cual se separan las partículas de diferentes tamaños utilizando tamices de diferentes aberturas.

Los diferentes tamaños de partículas en la tierra, incluyendo la arena, el limo y la arcilla, tienen un impacto significativo en las propiedades físicas y químicas del suelo, como su capacidad para retener agua y nutrientes, su permeabilidad y su capacidad para soportar la carga.

Por lo tanto, la granulometría es una medida importante de la calidad y las características del suelo y es una consideración crítica en muchos procesos de ingeniería civil y ambiental.

El proceso para la realización de este ensayo es mediante un juego de tamices y una cantidad de tierra seca después de un lavado donde se calcula la cantidad y porcentaje de tierra que atraviesa el set de tamices, sus datos y resultados se presentan en la tabla 5, 6 y la figura 18.

Tabla 5 - Granulometría

Peso seco antes del lavado (g):	600
Peso seco después del lavado (g):	272.7

% Error:	0.235
-----------------	--------------

Tamiz (No)	Abertura (Mm)	Peso			Pasa (%)	%	
		RETENIDO					
		PARCIAL (Gr)	PARCIAL (%)	ACUMULADO (%)	REAL		
No 4	4.75	3.4	1.25	1.25	98.75	GRAVAS	1.25
10	2	6.88	2.52	3.77	96.23	ARENAS	97.88
20	0.84	35.93	13.18	16.95	83.05		
40	0.42	110.78	40.62	57.57	42.43		
60	0.25	41.71	15.30	72.86	27.14		
140	0.106	61.4	22.52	95.38	4.62	FINOS	0.50
200	0.074	11.24	4.12	99.50	0.50		
Fondo		0.72	0.12	99.62	0.38		

% Pasa Tamiz 200 / % Pasa Tamiz 10	% Pasa Tamiz 200 / % Pasa Tamiz 40	(% Pasa Tamiz 1"-% Pasa Tamiz No 10) / (% Pasa Tamiz No 4)
0.00518	0.01175	0.0382

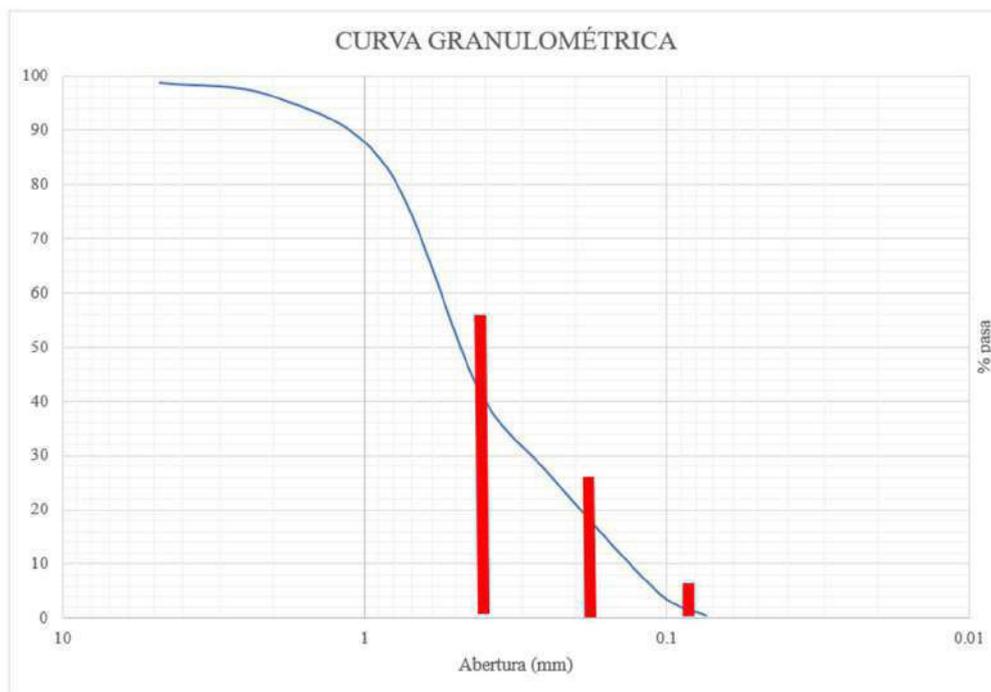
A partir de los resultados y porcentajes presentados en la tabla 10 se procede a clasificar la tierra según el ensayo de granulometría, siendo una arena gruesa limpia mal gradada como se ve en la tabla 11

Tabla 6 - Clasificación según Granulometría.

Grueso o Fino	Arena o Grava	Limpia o Sucia	Bien Gradada o Mal Gradada
Grueso	Arena	Limpia	Mal Gradada

Utilizando nuevamente los porcentajes que pasan en cada abertura se procede a crear una curva granulométrica, la cual proporciona información sobre la distribución de tamaños de partículas en un material, lo que ayuda a comprender y caracterizar las propiedades del suelo, siendo estas el coeficiente de curvatura, grado de gradación, uniformidad, etc., se utiliza comúnmente en estudios de suelos para tener una sub base granular apta para carreteras, la curva se presenta a continuación en la figura 19

Figura 18 - Curva Granulométrica



	mm
D60	0.56
D30	0.28
D10	0.14

Cu	4.00
Cc	1.00
IG	1.00

Como se puede observar en las tablas 5 la mayoría del material es grueso, esto requiere que se tamice y triture de manera considerable la tierra con la que se trabajara, considerando que se trabajara con casi 1 tonelada se debe de trabajar constantemente en preparar el material para no atrasar los ensayos.

9.2 Ensayo de límite líquido y límite plástico

Los ensayos de límite líquido y límite plástico son importantes para caracterizar la consistencia y el comportamiento del suelo.

El límite líquido se refiere al contenido de humedad en el suelo en el que se transita del estado líquido al estado plástico. Este valor indica la capacidad del suelo para fluir bajo estrés, lo que es importante en el diseño de estructuras de cimentación y la estabilidad de taludes y laderas.

Por otro lado, el límite plástico es el contenido de humedad en el suelo en el que el suelo cambia de un estado plástico a un estado semisólido. Este valor proporciona información sobre la capacidad del suelo para soportar cargas sin deformarse permanentemente.

En general, estos ensayos permiten a los ingenieros y geotécnicos caracterizar las propiedades del suelo y evaluar su comportamiento bajo diferentes cargas, lo que es fundamental para el diseño de estructuras de cimentación y la construcción de carreteras, presas, edificios, entre otros. Además, estos ensayos también son importantes para evaluar la calidad y la estabilidad del suelo en relación con la agricultura, la minería y otros campos de la ingeniería civil.

Para estos ensayos se emplearon la norma INV-E-125 y INV – E – 126; el experimento se realizó colocando la masa húmeda de tierra en el aparato de limite líquido siendo esta la cazuela de Casagrande, con un ranurador hacer una ranura que se cerrara a partir de golpes contabilizados para luego separar la parte cerrada y secarla en el horno como se enseña a continuación en la figura 19.

Figura 19 – Ensayo de Limite Liquido

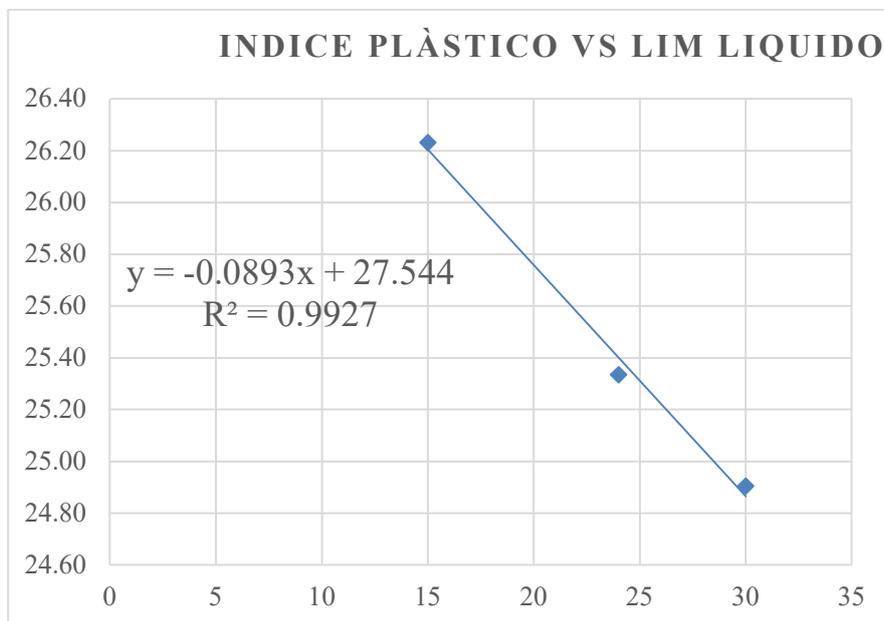


Se utilizaron 5 capsulas (3 para limite líquido y 2 para limite plástico), se realizaron con diferentes golpes en la cazuela de casa grande, los resultados se analizaron y presentan en la tabla 7

Tabla 7 Ensayo de Límite Líquido y Límite Plástico

Prueba No		1	2	3		1	2
Cápsula No		48	33	431		69	451
No Golpes		30	24	15			
Peso cápsula + Suelo húmedo (g)	Límite Líquido	24,27	23,59	22,39	Límite Plástico	27,16	19,02
Peso cápsula + Suelo Seco (g)		21,64	21,32	19,94		25,91	17,87
Peso cápsula (g)		11,08	12,36	10,6		18,42	10,99
Peso del agua (g)		2,63	2,27	2,45		1,25	1,15
Peso del suelo seco (g)		10,56	8,96	9,34		7,49	6,88
Contenido de agua (%)		24,91	25,33	26,23		16,69	16,72

Figura 20 – Índice Plástico y Límite Líquido



La figura 20 presenta en el eje y el contenido de humedad vs el eje x el número de golpes, esta relación permite tener una fórmula de limite liquido $-0.0893x + 27.544$ permitiendo obtener el índice de plasticidad presentado en la tabla 8.

Tabla 8 - Resultados del índice de Plasticidad

Limite Plástico	16,70
Limite Liquido	25,31
índice Plasticidad	8,61
Categoría	ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD

El resultado fue una arcilla de baja plasticidad; una arcilla de baja plasticidad es un tipo de arcilla que tiene una baja capacidad para deformarse sin romperse.

Estas arcillas tienen una baja plasticidad porque contienen una cantidad relativamente baja de partículas de arcilla finas, lo que significa que no pueden formar una masa plástica cohesiva como lo hacen las arcillas de alta plasticidad.

Las arcillas de baja plasticidad son típicamente más duras y menos moldeables que las arcillas de alta plasticidad, y tienen una mayor capacidad para soportar cargas.

Debido a su baja plasticidad, estas arcillas son a menudo utilizadas para construir estructuras como terraplenes, muros de contención, y otros proyectos que requieren una base sólida y estable. También son empleadas en la fabricación de ladrillos, tejas y otros productos cerámicos.

Otras características de la arcilla de baja plasticidad es su agresivo cambio de consistencia del estado semisólido al líquido mediante una pequeña adicción de agua.

9.3 Ensayo De Proctor

El ensayo de Proctor modificado es una prueba de laboratorio utilizada para determinar la densidad seca máxima y el contenido de humedad óptimo de un suelo compactado.

Este ensayo se utiliza comúnmente en la ingeniería civil y geotécnica para evaluar la capacidad de un suelo para soportar cargas y su resistencia a la compresión.

El ensayo de Proctor modificado implica compactar una muestra de suelo en un molde cilíndrico con una cantidad determinada de energía de compactación. Luego, se mide la densidad seca del suelo compactado y se calcula su contenido de humedad.

El procedimiento de ensayo de Proctor modificado se realiza de la siguiente manera:

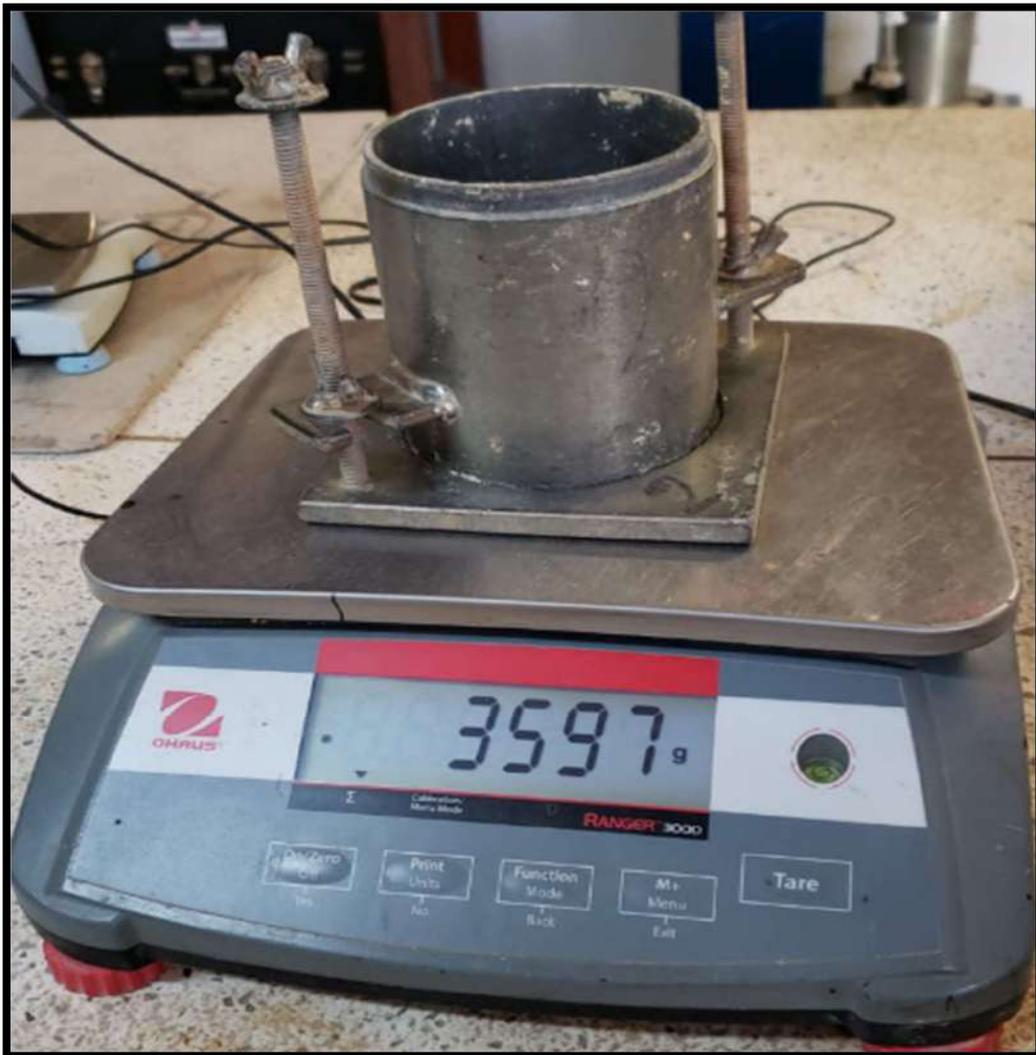
- a. Se toma una muestra representativa de suelo y se seca al aire para obtener la masa seca como se ve en la figura 21

Figura 21 Masa representativa



- b. Se determina la masa del molde cilíndrico y se lo llena con una cantidad determinada de suelo, se muestra en la figura 22.

Figura 22 - Masa del Cilindro



- c. Se compacta el suelo dentro del molde con una cantidad de energía determinada, que se aplica mediante un martillo mecánico, para nuestro caso 25 golpes por capa, en la figura 23 se muestra la recolección de la tierra en el molde y su compactación hasta quedar un cilindro denso.

Figura 23 - Compactación del suelo



- d. Se retira el molde y se mide la densidad seca del suelo compactado habiendo pesado la capsula + suelo húmedo y posteriormente luego de haber pasado por el horno el peso de la capsula + suelo seco, en la figura 24 se presenta los pesos de las 3 capsulas.

Figura 24 - Peso capsula + suelo seco



- e. Se repiten los pasos b a d para diferentes contenidos de humedad, variando la cantidad de agua agregada a la muestra de suelo antes de la compactación, presentando los 3 moldes con los cilindros en la figura 25

Figura 25 - Peso Molde más suelo seco



Se grafican los resultados obtenidos en una curva de compactación, que muestra la relación entre la densidad seca y el contenido de humedad del suelo compactado, la curva se presenta en la figura 26 a partir de los datos recolectados en la tabla 9

Se determina el contenido de humedad óptimo y la densidad seca máxima a partir de la curva de compactación.

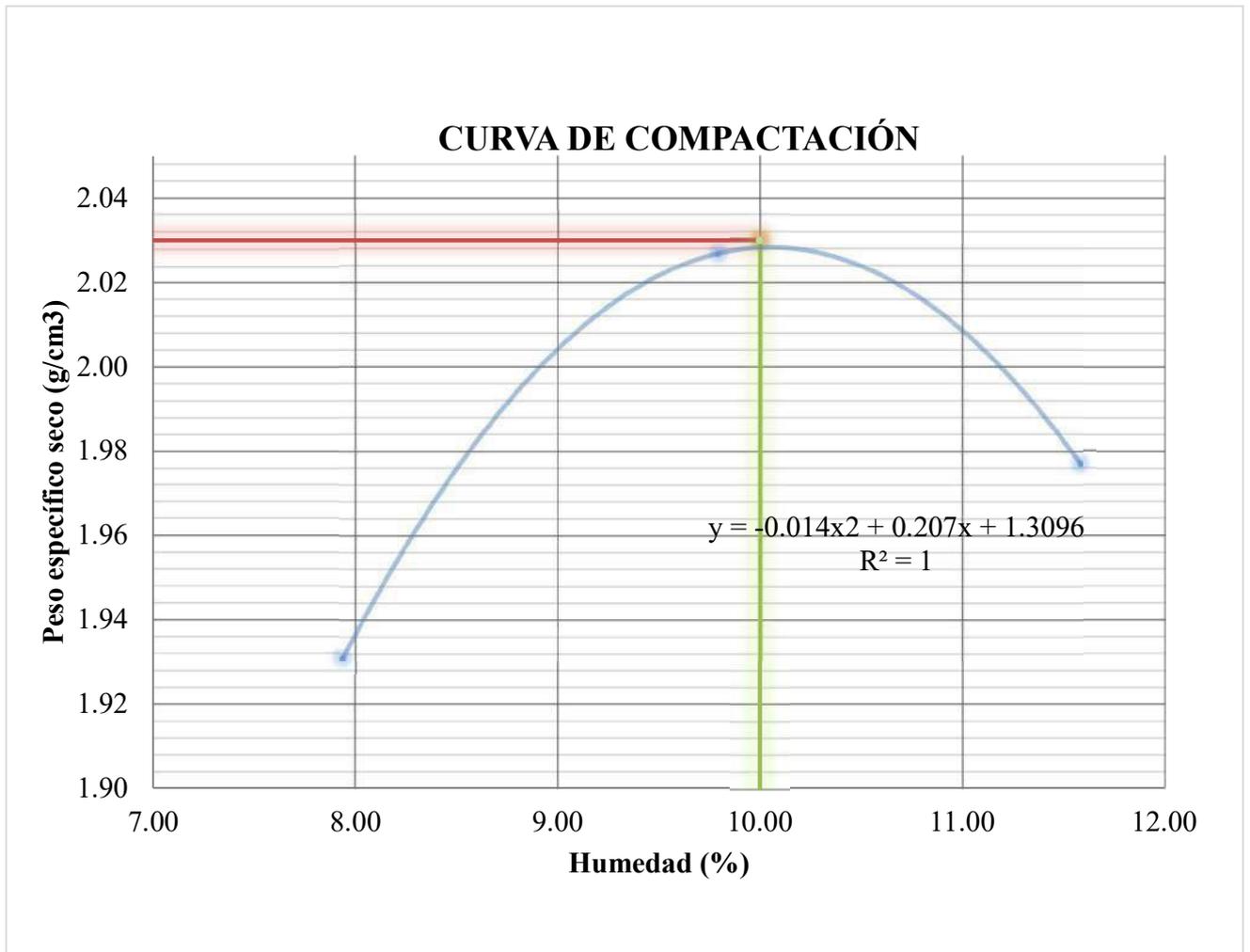
El resultado del ensayo de Proctor modificado es la curva de compactación, que es útil para determinar la cantidad óptima de agua a agregar al suelo para obtener la densidad seca máxima. La densidad seca máxima y el contenido de humedad óptimo son importantes para el diseño de estructuras como carreteras, presas, cimientos de edificios y otras estructuras que requieren una base sólida y estable.

Tabla 9 - Ensayo de Proctor Modificado

Ensayos	1	2	3
Determinación De La Densidad			
Molde N°:	2	2	2
Diámetro molde (cm):	10.36	10.36	10.36
Altura molde (cm):	11.68	11.68	11.68
Peso molde (g):	3597	3597	3597
Volumen (cm³):	984.6	984.6	984.6
Peso molde + Suelo húmedo (g)	5649	5788	5769
Peso Suelo húmedo (g)	2052.0	2191.0	2172.0
Peso específico húmedo (g/cm³)	2.08	2.2	2.2
Cápsula N°	76	10	90
Peso cápsula + suelo húmedo (g)	111.6	87.6	133.0
Peso cápsula + suelo seco (g)	105.60	81.66	122.1
Peso cápsula (g)	30	21	28
Peso agua (g)	6.0	5.9	10.9
Peso suelo seco (g)	75.60	60.7	94.1
Humedad (%)	7.94	9.8	11.6
Peso específico seco (g/cm³)	1.93	2.0	2.0
Peso específico seco (kN/m³)	18.94	19.9	19.4

Con los datos del peso específico vs la humedad se procede a graficar en la figura 27 la curva de compactación humedad.

Figura 26 – Curva de compactación de humedad



Los resultados de la gráfica indica una humedad óptima aproximada del 10%, un valor importante especialmente para estos tipos de suelos, experimentando se comprobó que usar un 13% resultó en bloques de tierra lodosos que se desbordaban deformándose muy fácil al tacto y usar un 7% terminaban muy arenosos y se desarmaban al tratar de transportarlo.}

9.4 Test del tamaño de las partículas

La tierra, totalmente ceca, fue esparcida sobre una superficie seca y mediante un test visual se distinguió las arenas de los finos dando como resultado una cantidad mayor de limos y arcillas a comparación de las arenas visibles, la figura 28 presenta una visualización de la tierra y los resultados se aotan en la tabla 15.

Figura 27 - Test Visual



Tabla 10 - Test de Tamaño

TEST TÁCTIL VISUAL	MARCAR CON X	CLASIFICACIÓN
LIMOS y ARCILLAS > ARENA Y GRAVA	X	LIMOSA o ARCILLOSA
LIMOS y ARCILLAS <ARENA Y GRAVA		ARENOSA

9.5 Test del Color

Se mantuvo la tierra dispersa sobre la misma superficie y de manera visual se inspecciono que tipo de colores presentaba, observando así colores bastante claros y brillantes (rojizos) demostrando que carece de parte orgánica que se recuerda debe ser menor al 2% para poder trabajar en óptimas condiciones, el color se puede ver en la figura 28 y la tabla 16.

Figura 28 - Test del Color



Tabla 11 - Test del Color

TEST COLOR	MARCAR CON X	CLASIFICACIÓN
CLAROS Y BRILLANTES	X	SUELO INORGÁNICO
CAFÉ OSCURO, OLIVA, VERDE o NEGRO		SUELO ORGÁNICO

9.6 Caracterización por Brillo

Se tomo material fino del suelo y amaso con agua para formar una bola con la mano, se corta por la mitad y se analiza si es brillante, poco brillante o opaca, el proceso se presenta e la figura 29, la experiencia del ensayo resultado entre una Arcillosa y Limosa como se puede ver en la tabla 12, terminando por la decisión de darle como un suelo Arcilloso.

Figura 29 - Test de Brillo



Tabla 12 - Test de Brillo

TEST DE SUPERFICIE	MARCAR CON X	CLASIFICACIÓN
BRILLANTE	X	ARCILLOSA
POCO BRILLANTE		LIMOSA
OPACA		ARENOSA

9.7 Test De Caída De Bola

El test consistía en amasar una bola de tierra humedecida de un diámetro entre 3 y 4 cm para arrojarlo a una altura de 1 m para registrar luego su cantidad de fisuras, se presenta la figura 30 la visualización de las 2 bolas arrojadas, como se presentaron algunas se marcó con una X en esa opción de la tabla 13, esto indica que mientras más fisuras tenga mayor porcentaje de arenas posee la tierra.

Figura 30 - Test de Caída de Bola

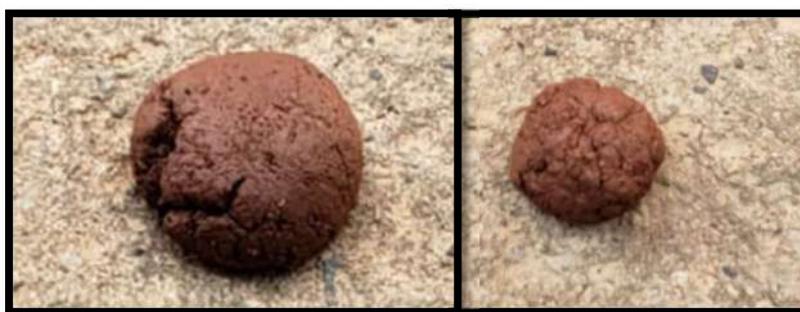


Tabla 13 – Test de Caída de Bola

Fisura Después De La Caída	Marcar Con X
Ninguna	
Algunas	X
Muchas	
Desintegración Total	

9.8 Test del vidrio

Se debe conseguir un recipiente cilíndrico, liso y transparente, luego se procede a llenar con tierra seca hasta 1/3 de su altura donde se adiciona 2/3 de agua para agitar fuertemente la mezcla dejándolo en reposo por 1 hora, luego se agita nuevamente y se mide las alturas de las distintas capas como en la figura 31 y se anotan en la tabla 14

Figura 31 – Test del Vidrio

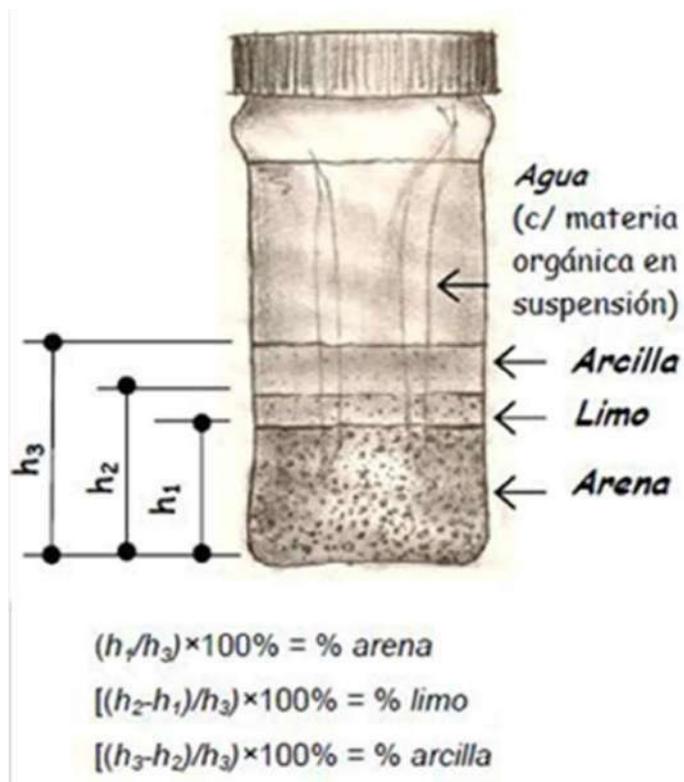


Tabla 14 – Test del Vidrio

altura [cm]		Porcentaje	
h1	2	Arena	16.67%
h2	6	Limo	33.33%
h3	12	Arcilla	50%

Figura 32 - Triángulo de Textura USDA

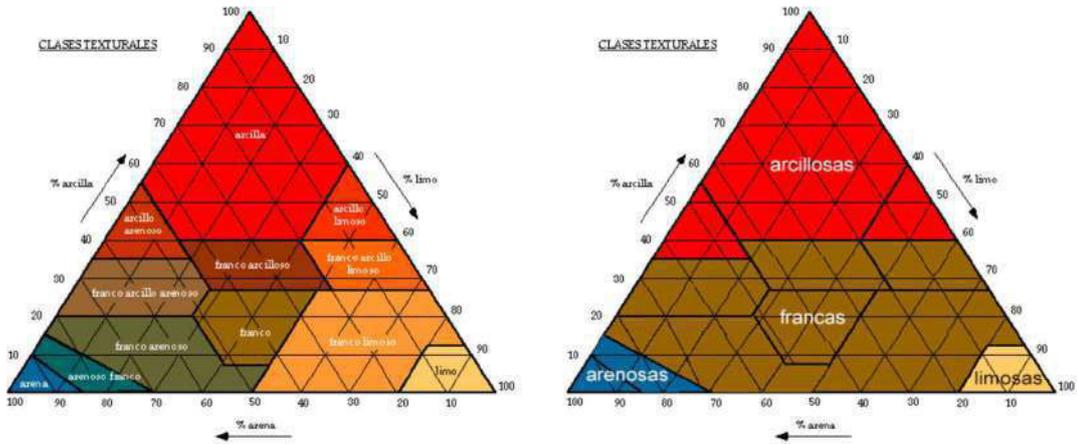


Figura 33 - Probeta con Test de Vidrio

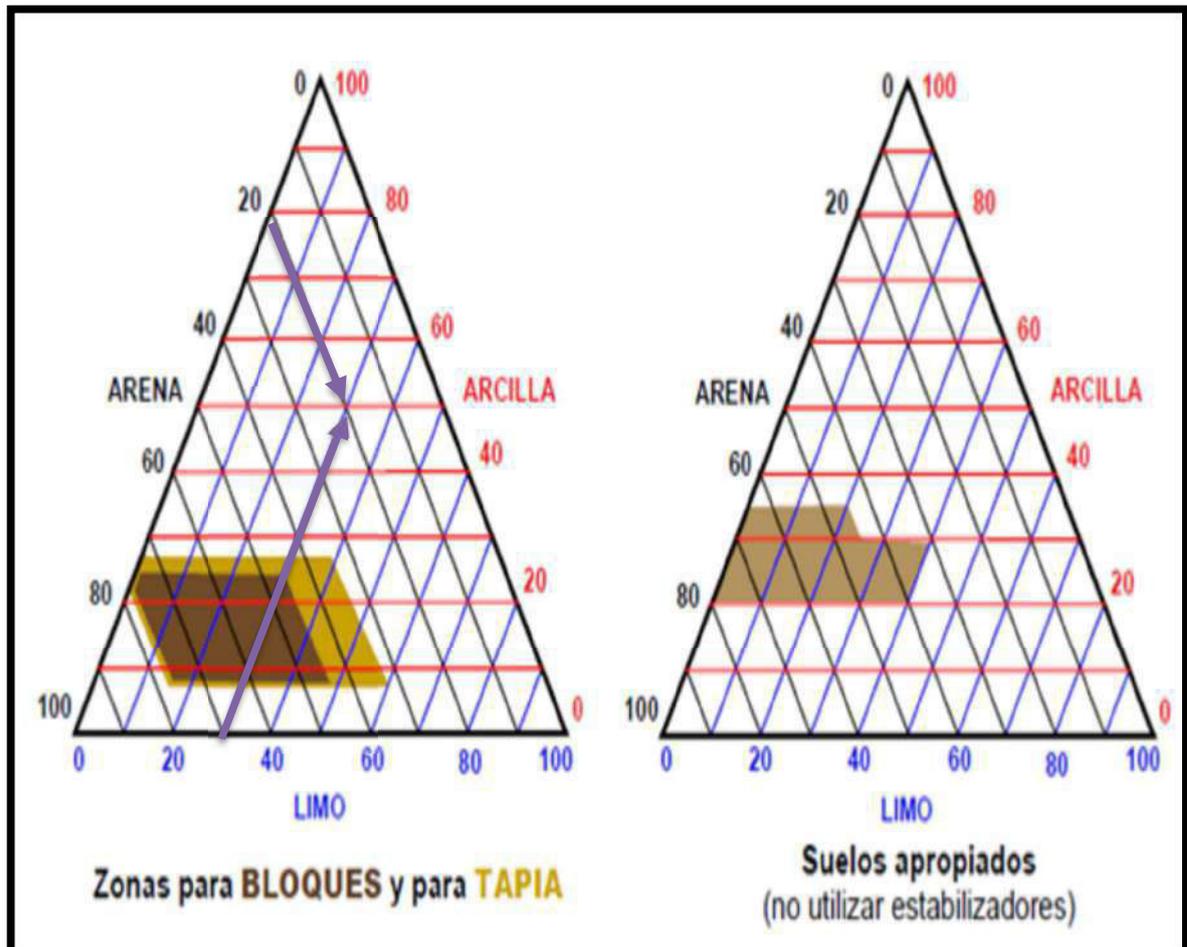


Tras dejar en reposo el recipiente, presentado en la figura 33, se procedió a calcular las alturas de las distintas capas con el fin de obtener el porcentaje de arena, limo y arcilla.

Una vez poseyendo los porcentajes, se utiliza el triángulo de textura del USDA mostrado en la figura 32 para conocer el tipo de suelo que es, dicho triángulo nos arrojó que es una tierra arcillosa que requiere estabilizadores

Este resultado cuadra con lo que arrojaron los demás test por lo que es coherente con la caracterización.

Figura 34 - Triángulos USDA Estabilizantes



El triángulo de USDA de la figura 34 nos indica que un estabilizador es requerido, dicha necesidad se evaluará si se logra solventar con el uso de RCD e Platico triturado.

9.8.1 Test Del Cordón

Sobre una superficie lisa y plana se toma una porción de tierra seca y se agregaba una pequeña cantidad de agua de forma de un cordón que se rompa con 3 mm de diámetro como se ve en la figura 35, con ese cordón se forma una bola que aplasta con el pulgar y el índice, se marca con una X el resultado en la tabla 15.

Tabla 15 - Test del cordón

Marque con una X	Tipo del cordón	Ruptura de la bola	Clasificación y interpretación
X	Duro	Solo se puede quebrar la bola con mucho esfuerzo o no se quiebra	Demasiada arcilla; tierra de alta plasticidad
	Suave	Poco resistente, se fisura y desmorona fácilmente	Tierra arcillo limosa, arenosa o areno-arcillosa; plasticidad mediana
	Frágil	Frágil. No se puede remoldar la bola debido a su fragilidad	Bastante limo o arena y poca arcilla; baja plasticidad
	Suave y esponjoso	Esponjosa y suave. Si es comprimida, vuelve a esponjarse	Suelo orgánico. No es apto para ningún tipo de construcción

Figura 35 - Test del Cordón



10. DETERMINACIÓN DE LAS DOSIFICACIONES

Para la determinación de las dosificaciones se empleó el método científico, cual es un proceso sistemático y riguroso utilizado por los científicos para investigar y entender el mundo natural. Se basa en la observación, la formulación de una hipótesis, la recopilación de datos a través de experimentos y la interpretación de esos datos para llegar a una conclusión.

El método científico típicamente sigue los siguientes pasos:

Observación: Se observa un fenómeno o se identifica una pregunta que se desea responder.

Formulación de hipótesis: Se propone una explicación tentativa o una hipótesis para el fenómeno observado. Diseño del experimento: Se diseña un experimento para probar la hipótesis.

Recopilación de datos: Se recopilan datos a través de la realización del experimento.

Análisis de datos: Se analizan los datos obtenidos para determinar si apoyan o refutan la hipótesis.

Conclusiones: Se llega a una conclusión basada en los resultados del experimento y la hipótesis original.

Discusión de los resultados: Los resultados se comunican a través de publicaciones científicas, presentaciones y otros medios para que otros científicos puedan revisarlos y replicar los experimentos.

El método científico es un proceso dinámico y continuo, y las conclusiones pueden ser comprobadas y modificadas con base en nuevos datos o experimentos. Es un proceso crítico para el avance del conocimiento científico y la comprensión del mundo natural.

Dicho método cambió las directrices iniciales que se plantearon a la propuesta de trabajo de grado, en específico la cantidad y uso del Plástico Molido, siendo estos un valor muy grande previamente planteado entre 15% y 30%, esa cantidad de plástico no permitiría una homogénea unificación terminando en un Bloque de Tierra estabilizado inestable, debido a esto se cambiaron los parámetros y apoyándonos en la investigación de (Donkor & Obonyo, 2015) se trató con un porcentaje de 6% el cual fue el límite obtenido por ellos para trabajar con polímeros triturados, en el desarrollo de este proyecto se desarmó con 6% por lo que se redujo hasta 4% como máximo límite, así los porcentajes quedaron entre 1% y 4% permitiendo trabajar de la manera correcta y deseada con los BTCE que contienen dicho material.

11. REALIZACIÓN DEL BTCE

Un bloque de tierra comprimido (BTC) se crea a partir de una mezcla de tierra, generalmente arcilla o tierra arenosa, y un estabilizador, que puede ser cal, cemento, ceniza volante u otro material similar, en el caso de la investigación es RCD (residuos de construcción y demolición) y Plástico molido (Polipropileno Poli color)., estos materiales se aprecian en la figura 36.

Figura 36 - Materiales para El BTCE



La mezcla se humedece con agua hasta alcanzar la humedad óptima y se coloca en un molde para darle forma al bloque, dicha humedad óptima se obtuvo de un 10% como se nos indicó en la figura 26 la curva de compactación.

A continuación, se aplica presión mecánica al molde para comprimir la mezcla de tierra y estabilizar y formar el bloque, la maquinaria utilizada es la CINVA RAM, (figura 37), El proceso de creación de un BTC puede variar según el tipo de máquina o equipo utilizado para la compresión. En general, se utilizan máquinas hidráulicas o manuales para comprimir la mezcla de tierra y estabilizador. Las máquinas hidráulicas son más rápidas y eficientes, pero también son más costosas. Las máquinas manuales son más económicas, pero requieren más tiempo y esfuerzo físico.

Figura 37 - CINVA RAM



Después de la compresión, los bloques se dejan secar al sol durante varios días para que se endurezcan y se solidifiquen. Una vez que están secos, los bloques pueden ser utilizados en la construcción de paredes, muros, pisos y otras estructuras. Los BTC son una alternativa sostenible y económica a los materiales de construcción convencionales como el ladrillo, el concreto y el bloque de cemento, ya que utilizan materiales naturales y no requieren de procesos de fabricación intensivos en energía y recursos.

La parte final del proceso de construcción de un BTCE es dejarlos durante un tiempo de curado, para el caso del proyecto se optó por 30 días de curado en sombra sin sol directo y protegido de la lluvia como se observa en la figura 38.

Figura 38 - BTCE Terminado En Tiempo De Curado



12. RESULTADOS

Se realizaron 6 ensayos para los diversos BTC y BTCE con una cantidad específica de ejemplares por dosificación, estos resultados permitirán analizar mejor mediante una comparación directa su viabilidad, características, propiedades entre los ejemplares, buscando un promedio por cada dato y resultados de los diversos especímenes con cada dosificación.

12.1 Ensayo de densidad seca Bulk

El ensayo de densidad específica seca es una prueba comúnmente realizada en ingeniería civil para determinar la densidad seca del suelo.

Esta prueba es importante para evaluar las propiedades del suelo, en este caso BTCE, ya que la densidad seca se utiliza para calcular la porosidad, la permeabilidad, la capacidad de soporte y la compresibilidad del suelo; a mayor densidad, menos porosidad y a su vez menos espacio para que vida orgánica como insectos o raíces logre ingresar a través del material.

Una vez que se conoce el volumen y la masa del suelo seco, se puede calcular la densidad específica seca del suelo utilizando la siguiente fórmula: $\text{Densidad específica seca} = (\text{Masa del suelo seco}) / (\text{Volumen del suelo})$ La densidad específica seca se expresa en unidades de masa por unidad de volumen, como gramos por centímetro cúbico (g/cm^3) o kilogramos por metro cúbico (kg/m^3), el proceso se presenta en la figura 39.

Figura 39 – Toma de datos de Densidad Seca Bulk



A continuación, se presentarán los datos de cada espécimen según su categoría, la fórmula se presenta en la ecuación 1 a continuación.

Ecuación 1 - Densidad Seca

$$\rho = \frac{Masa}{Volumen}$$

Utilizando la fórmula de densidad seca y los datos de los ensayos se procede a completar unificar en una tabla de datos por cada categoría, presentadas en la tabla 16, 17, 18, 19, 20 y 21.

Tabla 16 - Densidad Seca BTC

		Espécimen			
Variables		1	2	3	Promedio
BTC	Ancho (cm)	14.5	14.5	14.5	14.5
	Largo (cm)	30	30	30	30
	Alto (cm)	12.2	12.5	12.5	12.40
	Peso (kg)	10.39	10.7	10.67	10.59
	Volumen (m³)	0.0053	0.0054	0.0054	0.01
	Densidad (kg/m³)	1957.8	1967.8	1962.3	1962.6

Tabla 17 - Densidad Seca BTCE RDC 30%

	Variables	Espécimen			
		1	2	3	Promedio
BTCE RDC 30%	Ancho (cm)	14.5	14.5	14.5	14.50
	Largo (cm)	30	30	30	30.00
	Alto (cm)	12.2	12.5	12.2	12.30
	Peso (kg)	10.4	10.32	10.45	10.39
	Volumen (m³)	0.0053	0.0054	0.0053	0.01
	Densidad (kg/m³)	1960	1897.9	1969.1	1942.2

Tabla 18 - Densidad Seca BTCE Plástico 4%

	Variables	Espécimen			
		1	2	3	Promedio
BTCE RDC 30%	Ancho (cm)	14.5	14.5	14.5	14.5
	Largo (cm)	30	30	30	30
	Alto (cm)	12	12	12.5	12.167
	Peso (kg)	8.83	9.51	9.69	9.34
	Volumen (m³)	0.0052	0.0052	0.0054	0.01
	Densidad (kg/m³)	1691.6	1821.8	1782.1	1765.2

Tabla 19 - Densidad Seca BTCE RDC 27% y Plástico 3%

	Variables	Espécimen			
		1	2	3	Promedio
BTCE RDC y PLA 3%	Ancho (cm)	14.5	14.5	14.5	14.5
	Largo (cm)	30	30	30	30
	Alto (cm)	12.5	12	12	12.167
	Peso (kg)	9.94	9.63	9.7	9.76
	Volumen (m³)	0.0054	0.0052	0.0052	0.01
	Densidad (kg/m³)	1828	1844.8	1858.2	1843.7

Tabla 20 - Densidad Seca BTCE RDC 28% y Plástico 2%

	Variables	Espécimen			
		1	2	3	Promedio
BTCE RDC y PLA 2%	Ancho (cm)	14.5	14.5	14.5	14.5
	Largo (cm)	30	30	30	30
	Alto (cm)	12.5	12.3	12.5	12.433
	Peso (kg)	10.5	10.15	10.4	10.35
	Volumen (m³)	0.0054	0.0054	0.0054	0.01
	Densidad (kg/m³)	1931	1897	1912.6	1913.6

Tabla 21 - Densidad Seca BTCE RDC 29% y Plástico 1%

	Variables	Espécimen			
		1	2	3	Promedio
BTCE RDC y PLA 1%	Ancho (cm)	14.5	14.5	14.5	14.5
	Largo (cm)	30	30	30	30
	Alto (cm)	12.5	12.5	12.5	12.5
	Peso (kg)	10.5	10.2	10.05	10.25
	Volumen (m³)	0.0054	0.0054	0.0054	0.01
	Densidad (kg/m³)	1931	1875.9	1848.3	1885.1

Con estos datos obtenidos en las tablas 16 a la 21 se procede a realizar un promedio entre los 3 especímenes de cada una de las 6 categorías.

12.2 Ensayo de abrasión

El ensayo de abrasión por cepillo en bloques de tierra es un método utilizado para evaluar la resistencia de la superficie de un bloque de tierra a la abrasión, es decir, a la fricción o desgaste causado por la acción repetida de una superficie abrasiva.

El ensayo implica el uso de un cepillo de fibras de acero que manualmente uno lleva con ida y vuelta a lo largo de la capa superior sobre la superficie del bloque de tierra. La fuerza y la duración de la abrasión son controlados por el usuario para garantizar resultados precisos y reproducibles.

La cantidad de material perdido por la superficie del bloque de tierra se mide después del ensayo.

El ensayo de abrasión por cepillo en bloques de tierra es una prueba importante para la evaluación de la durabilidad de materiales de construcción como bloques de tierra comprimida o adobe. Los resultados pueden ayudar a determinar si un material es adecuado

para su uso en un entorno específico, como en construcciones de viviendas, muros de contención, etc.

También puede ser utilizado para comparar diferentes materiales y evaluar su resistencia relativa a la abrasión.

Utilizando el cepillo se procede a realizar 20 cepilladas donde 1 cepillada cuenta como ida y vuelta entera a lo largo del BTC, donde se recolecto la evolución mediante fotografías como se aprecia en las figuras 40, 41 ,42, 43 y 44 donde cada foto muestra el proceso de pérdida de material en la superficie de un bloque ejemplo utilizando el cepillo de fibras de acero presentado en la figura 45.

Figura 40 -Ensayo de Abrasión en BTCE RDC 30%, 0 Pasadas



Figura 41 -Ensayo de Abrasión en BTCE RDC 30%, 5 Pasadas



Figura 42 -Ensayo de Abrasión en BTCE RDC 30%, 10 Pasadas



Figura 43 - Ensayo de Abrasión en BTCE RDC 30%, 15 Pasadas



Figura 44 - Ensayo de Abrasión en BTCE RDC 30%, 20 Pasadas



Figura 45 - Cepillo de fibras de acero



A continuación, se presenta la fórmula para sacar el coeficiente de abrasión (ecuación 2).

Ecuación 2 - Ecuación de abrasión

$$\text{Coef Abrasión} \left(\frac{m^2}{kg} \right) = \frac{(\text{Espesor} * \text{Longitud})}{(\text{Peso inicial} - \text{Peso final})}$$

Utilizando la ecuación 2 se procede a rellenar las tablas 22, 23, 24, 25, 26 y 27, presentadas a continuación con las variables de Peso inicial, Peso final, Altura y Espesor de la masa perdida junto a su longitud.

Tabla 22 - Resultados de Abrasión BTC

	Variables	Espécimen			
		1	2	3	Promedio
BTC	Peso Inicial (kg)	10.39	10.7	10.67	10.59
	Peso Final (kg)	10.19	10.45	10.44	10.36
	Altura (cm)	3	3	3	3.00
	Espesor (cm)	3	3	3	3.00
	Longitud (cm)	30	30	30	30.00
	Coefficiente de abrasión (m/kg)	0.045	0.036	0.0391	0.040

Tabla 23 - Resultados de Abrasión BTCE RDC 30%

	Variables	Espécimen			
		1	2	3	Promedio
BTCE RDC 30%	Peso Inicial (kg)	9.75	10.27	10.08	10.03
	Peso Final (kg)	9.6	10.11	9.91	9.87
	Altura (cm)	2	1.5	1.5	1.67
	Espesor (cm)	2.5	2.4	2.5	2.47
	Longitud (cm)	30	30	30	30.00
	Coefficiente de abrasión (m/kg)	0.05	0.045	0.0441	0.046

Tabla 24 - Resultados De Abrasión BTCE Plástico 4%

	Variables	Espécimen			
		1	2	3	Promedio
BTCE PLA	Peso Inicial (kg)	8.83	9.51	9.69	9.34
	Peso Final (kg)	8.04	9.27	9.49	8.93
	Altura (cm)	3	3	3	3.00
	Espesor (cm)	5	2.2	3	3.40
	Longitud (cm)	30	30	30	30.00
	Coefficiente de abrasión (m/kg)	0.019	0.0275	0.045	0.03

Tabla 25 - Resultados De Abrasión BTCE RDC 27% y Plástico 3%

	Variables	Espécimen			
		1	2	3	Promedio
BTCE RDC 27% y PLA 3%	Peso Inicial (kg)	9.94	9.8	9.85	9.86
	Peso Final (kg)	9.8	9.63	9.7	9.71
	Altura (cm)	1	1	1	1.00
	Espesor (cm)	3	3	2.5	2.83
	Longitud (cm)	30	30	30	30.00
	Coefficiente de abrasión (m/kg)	0.0643	0.0529	0.05	0.056

Tabla 26 - Resultados De Abrasión BTCE RDC 28% y Plástico 2%

	Variables	Espécimen			
		1	2	3	Promedio
BTCE RDC y PLA 2%	Peso Inicial (kg)	10.5	10.15	10.4	10.35
	Peso Final (kg)	9.88	9.99	10.15	10.01
	Altura (cm)	1.5	2	1.5	1.67
	Espesor (cm)	3	3	3	3.00
	Longitud (cm)	30	30	30	30.00
	Coefficiente de abrasión (m/kg)	0.0145	0.0562	0.036	0.04

Tabla 27 -Resultados De Abrasión BTCE RDC 28% y Plástico 2%

	Variables	Espécimen			
		1	2	3	Promedio
BTCE RDC y PLA 1%	Peso Inicial (kg)	10.5	10.2	10.05	10.25
	Peso Final (kg)	10.2	10.08	9.87	10.05
	Altura (cm)	1	1	1	1.00
	Espesor (cm)	3.3	3.75	3.2	3.42
	Longitud (cm)	30	30	30	30.00
	Coefficiente de abrasión (m/kg)	0.033	0.0938	0.0533	0.06

Con los resultados obtenidos entre las tablas 27 a la 32 se procede a realizar un análisis de resultados apartir del coeficiente de abrasión.

12.3 Ensayo de compresión

El ensayo de compresión en bloque de tierra comprimido es una prueba utilizada para evaluar la resistencia y la capacidad de carga de los bloques de tierra comprimida. Este ensayo se realiza aplicando una carga vertical gradual en un bloque de tierra comprimida hasta que se produce su rotura.

Durante el ensayo, el bloque de tierra comprimida se coloca en una máquina de ensayo de compresión, en este caso la Máquina Universal, presentada en la figura 46, la cual aplica una fuerza vertical sobre el bloque de forma gradual.

La máquina de ensayo registra la cantidad de fuerza aplicada y el grado de deformación del bloque en diferentes etapas de la prueba. La prueba continúa hasta que el bloque se rompe o falla bajo la carga aplicada.

El resultado del ensayo de compresión en bloque de tierra comprimido se emplea para determinar la resistencia a la compresión del material, es decir, la capacidad del bloque de soportar cargas verticales sin deformarse permanentemente ni romperse.

La resistencia a la compresión es una propiedad importante para los bloques de tierra comprimida, ya que se usa para determinar la capacidad de carga de una estructura y su durabilidad en el tiempo.

En resumen, el ensayo de compresión en bloque de tierra comprimida es una prueba fundamental usada para evaluar la resistencia y capacidad de carga del material, lo que permite determinar su idoneidad para su uso en diferentes aplicaciones de construcción.

Figura 46 - Ensayo de Compresión



Ecuación 3 - Formula de esfuerzo a compresión

$$\text{Esfuerzo(Mpa)} = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Area de la sección transversal}}$$

Utilizando esta fórmula se procede a convertir los datos para ajustarlos a la formula, multiplicando en 1000 el esfuerzo ultimo aguantado por cada sujeto de ensayo dividiéndola en la sección transversal de la cara que sufre el ensayo como se ve en la figura 47, y se completa en las tablas 28, 29 , 30 ,31 ,32 y 33 para cada categoría

Figura 47 - Simulación de esfuerzo a compresión del BTCE

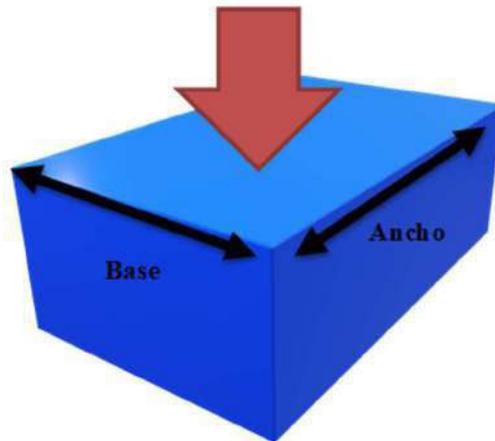


Tabla 28 -Resultados De Compresión BTC

	Variable	Espécimen			
		1	2	3	Promedio
BTC	Carga Última (kN)	24.00	24.70	32.50	27.07
	Deformación (mm)	4.30	3.50	4.10	3.97
	Área transversal (cm²)	375.00	375.00	375.00	375.00
	Esfuerzo Último (MPa)	0.640	0.659	0.867	0.722

Tabla 29 -Resultados De Compresión BTCE RCD 30%

	Variable	Espécimen			
		1	2	3	Promedio
BTCE RDC 30%	Carga Última (kN)	34.50	30.00	30.00	31.50
	Deformación (mm)	3.70	3.20	3.70	3.53
	Área transversal (cm²)	375.00	375.00	375.00	375.00
	Esfuerzo Último (MPa)	0.920	0.800	0.800	0.840

Tabla 30 - Resultados De Compresión BTCE Plástico

	Variable	Espécimen			
		1	2	3	Promedio
BTCE PLA	Carga Última (kN)	14.00	20.00	22.00	18.67
	Deformación (mm)	3.40	3.70	3.50	3.53
	Área transversal (cm²)	375.00	375.00	375.00	375.00
	Esfuerzo Último (MPa)	0.373	0.533	0.587	0.498

Tabla 31 - Resultados De Compresión BTCE RDC 27% y Plástico 3%

	Variable	Espécimen			
		1	2	3	Promedio
BTCE RDC y PLA 3%	Carga Última (kN)	31.5	24.7	24.7	26.97
	Deformación (mm)	4.5	4.3	4	4.27
	Área transversal (cm²)	375.00	375.00	375.00	375.00
	Esfuerzo Último (MPa)	0.840	0.659	0.659	0.719

Tabla 32 - Resultados De Compresión BTCE RDC 28% y Plástico 2%

	Variable	Espécimen			
		1	2	3	Promedio
BTCE RDC y PLA 2%	Carga Última (kN)	29.31	27.62	26.07	27.67
	Deformación (mm)	3.9	3.6	3.2	3.57
	Área transversal (cm²)	375.00	375.00	375.00	375.00
	Esfuerzo Último (MPa)	0.782	0.737	0.695	0.738

Tabla 33- Resultados De Compresión BTCE RDC 29% y Plástico 1%

	Variable	Espécimen			
		1	2	3	Promedio
BTCE RDC y PLA 1%	Carga Última (kN)	26.35	26.2	26.35	26.3
	Deformación (mm)	3.5	4.1	3.9	3.83
	Área transversal (cm²)	375.00	375.00	375.00	375.00
	Esfuerzo Último (MPa)	0.703	0.699	0.703	0.701

12.4 Ensayo de flexión

El ensayo de flexión en bloque de tierra comprimido es una prueba utilizada para evaluar la resistencia del material a la flexión. Durante el ensayo, se aplica una carga en el centro del bloque de tierra comprimida y se mide la cantidad de deformación que experimenta el material. Este ensayo se realiza para evaluar la resistencia del material a cargas transversales y su capacidad para soportar cargas de flexión.

Para realizar el ensayo, el bloque de tierra comprimida se coloca sobre dos soportes y se aplica una carga en el centro del bloque mediante un dispositivo de carga. La carga se incrementa gradualmente hasta que el bloque se deforma o se rompe.

La cantidad de carga necesaria para producir una deformación específica se mide y se utiliza para calcular la resistencia a la flexión del material.

El resultado del ensayo de flexión en bloque de tierra comprimida se utiliza para determinar la capacidad del material para soportar cargas transversales y su capacidad para soportar cargas de flexión.

Esta propiedad es importante en muchas aplicaciones de construcción, como la construcción de muros, techos y estructuras de soporte, donde la capacidad de un material para resistir cargas de flexión puede afectar la durabilidad y la estabilidad de la estructura. En resumen, el ensayo de flexión en bloque de tierra comprimida es una prueba importante utilizada para

evaluar la resistencia del material a cargas transversales y su capacidad para soportar cargas de flexión, lo que permite determinar su idoneidad para su uso en diferentes aplicaciones de construcción.

Su realización es en la Máquina Universal donde utilizando dos apoyos se ubican a 5 cm de los extremos de los BTC, presentadas en la figura 48, dejando 20 cm de luz libre, y utilizando una varilla de refuerzo colocada en el centro en la parte superior del BTC como carga puntual se procede a grabar y tomar nota de los datos mientras se falla el BTC, en las siguientes imágenes se enseñan una muestra de resultados y medidas en la figura 48, 49 y 50.

Figura 48 - Luz libre entre apoyos



Figura 49 - Ensayo de Flexión, BTC Antes y después de fallar



Figura 50 - Datos de Flexión



A diferencia del ensayo a compresión donde se tiene una carga distribuida en el ensayo a flexión se posee una carga puntual, por lo que su fórmula y representación de la carga se presentan en la figura 51 y ecuación 4.

Aplicando la ecuación 4 se procede a completar la tabla con los demás datos de carga ultima y dimensiones de los diversos BTCE, en la figura 52 y la tabla 34 se presenta una curva esfuerzo deformación del mejor ejemplar de cada categoría

Ecuación 4 - Ecuación Flexión

$$\sigma(Mpa) = \frac{\left(M = \frac{P * Largo}{4} \right) * \left(c = \frac{alto}{2} \right)}{\left(\frac{Ancho * Alto^3}{12} \right)}$$

Figura 51 - Representación de una carga puntual

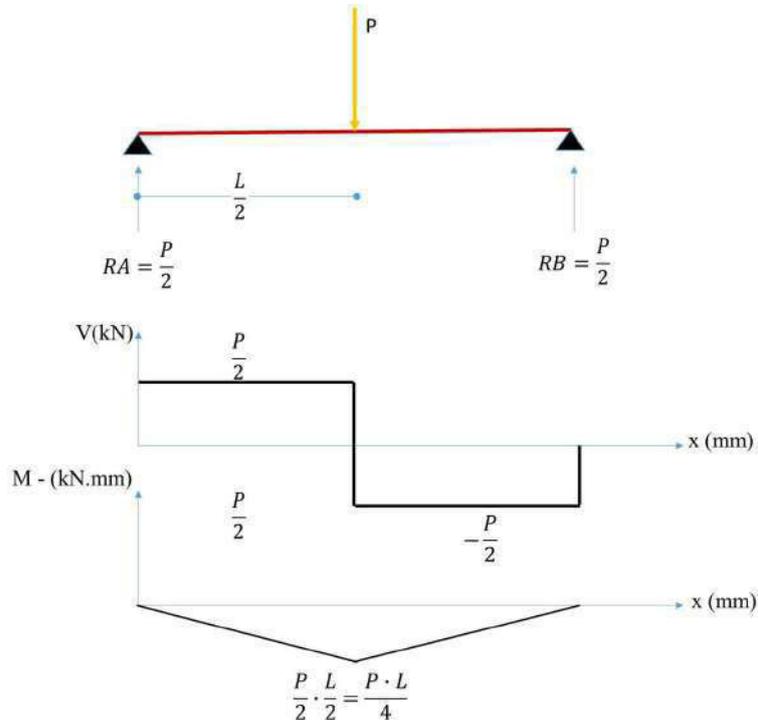


Figura 52 - Curva esfuerzo deformación

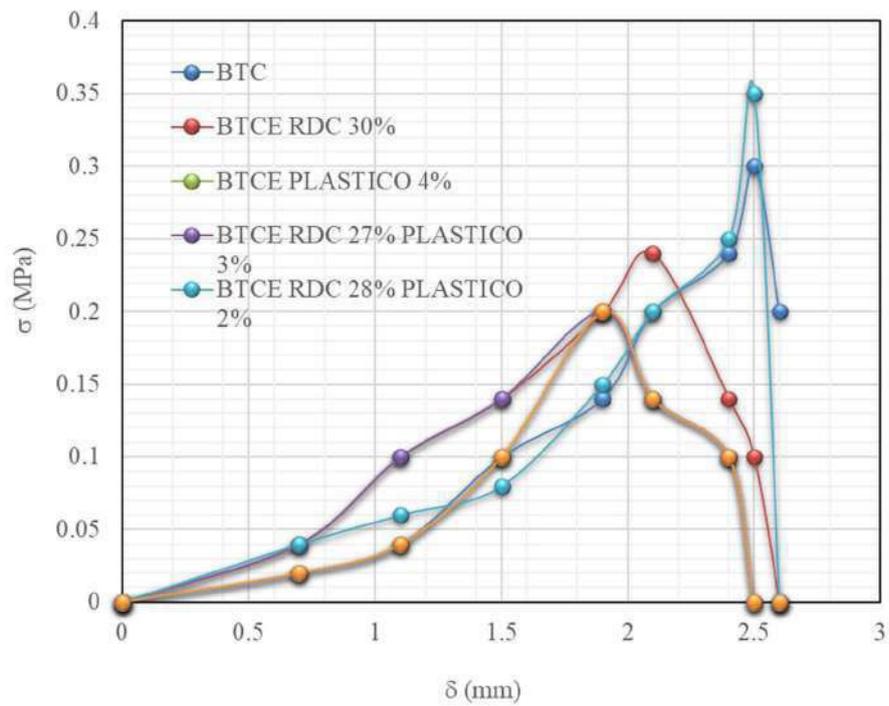


Tabla 34 - Esfuerzos últimos de los mejores ejemplares por categoría

ESFUERZO ULTIMO (MPA)						
BTC	BTCE RDC 30%	BTCE PLASTICO 4%	BTCE RDC 27% PLASTICO 3%	BTCE RDC 28% PLASTICO 2%	BTCE RDC 29% PLASTICO 1%	Deformación (mm)
0	0	0	0	0	0	0
0.02	0.04	0.02	0.04	0.04	0.02	0.7
0.04	0.1	0.04	0.1	0.06	0.04	1.1
0.1	0.14	0.1	0.14	0.08	0.1	1.5
0.14	0.2	0.2	0.2	0.15	0.2	1.9
0.2	0.24	0.14	0.14	0.2	0.14	2.1
0.24	0.14	0.1	0.1	0.25	0.1	2.4
0.3	0.1	0	0	0.35	0	2.5
0.2	0	0	0	0	0	2.6

Pasando a una vista y revisión general de todos los especímenes sacaremos el promedio para analizar cual sería la mejor categoría en este ensayo, como se ve en las categorías 35, 36, 37, 38, 39 y 40

Tabla 35 - Resultados Ensayo a Flexión BTC

		ESPECIMEN			
PROMEDIOS DE DATOS		1	2	3	PROM
BTC	Fuerza (kN)	1.20	1.50	0.20	0.97
	Esfuerzo (MPa)	0.24	0.30	0.04	0.19
	DEFORMACIÓN (mm)	1.70	2.50	1.60	1.93

Tabla 36- Resultados Ensayo a Flexión BTCE RCD 30%

	PROMEDIOS DE DATOS	ESPECIMEN			
		1	2	3	PROM
BTCE RDC 30%	Fuerza (kN)	1.00	1.20	1.20	1.13
	Esfuerzo (MPa)	0.21	0.24	0.25	0.23
	DEFORMACIÓN (mm)	1.80	2.10	3.50	2.47

Tabla 37 - Resultados Ensayo a Flexión BTCE Plástico 4%

	PROMEDIOS DE DATOS	ESPECIMEN			
		1	2	3	PROM
BTCE PLA	Fuerza (kN)	1.00	0.50	0.70	0.73
	Esfuerzo (MPa)	0.22	0.11	0.14	0.16
	DEFORMACIÓN (mm)	2.40	1.20	3.20	2.27

Tabla 38 - Resultados Ensayo a Flexión BTCE RCD 27% y Plástico 3%

	PROMEDIOS DE DATOS	ESPECIMEN			
		1	2	3	PROM
BTCE RDC y PLA 3%	Fuerza (kN)	1	0.7	1	0.90
	Esfuerzo (MPa)	0.20	0.15	0.22	0.19
	DEFORMACIÓN (mm)	2.2	0.5	1.8	1.50

Tabla 39 - Resultados Ensayo a Flexión BTCE RCD 28% y Plástico 2%

	PROMEDIOS DE DATOS	ESPECIMEN			
		1	2	3	PROM
BTCE RDC y PLA 2%	Fuerza (kN)	1.75	0.7	1	1.15
	Esfuerzo (MPa)	0.35	0.14	0.20	0.23
	DEFORMACIÓN (mm)	2.5	1.2	1	1.57

Tabla 40 - Resultados Ensayo a Flexión BTCE RCD 29% y Plástico 1%

	PROMEDIOS DE DATOS	ESPECIMEN			
		1	2	3	PROM
BTCE RDC y PLA 1%	Fuerza (kN)	1.2	0.7	0.7	0.87
	Esfuerzo (MPa)	0.24	0.14	0.14	0.17
	DEFORMACIÓN (mm)	2.2	2	0.7	1.63

12.5 Ensayo de erosión

El ensayo de erosión en bloque de tierra comprimido es una prueba que se realiza para evaluar la resistencia del bloque de tierra comprimido a la erosión.

La erosión es un proceso natural en el que la superficie de un material se desgasta debido a la acción de los elementos externos, como el viento y el agua.

Durante el ensayo, se somete un bloque de tierra comprimido a la acción de un chorro de agua a alta presión, que simula la acción erosiva de la lluvia.

La intensidad del chorro se mantiene y replica para cada uno de los especímenes durante un tiempo predefinido. En este caso se mide la profundidad del agujero creado por la erosión y se busca juntar un promedio entre los bloques de estas categorías

El ensayo de erosión en bloque de tierra comprimido se utiliza para evaluar la calidad del material y su resistencia a la erosión en diferentes condiciones climáticas.

Este ensayo es particularmente importante en áreas donde la lluvia es frecuente y fuerte, ya que puede afectar significativamente la durabilidad y estabilidad de las estructuras construidas con bloques de tierra comprimida.

En resumen, el ensayo de erosión en bloque de tierra comprimido es una prueba importante que se utiliza para evaluar la resistencia del material a la erosión, lo que permite determinar su idoneidad para su uso en diferentes condiciones climáticas y entornos.

El método en específico para el ensayo a erosión es el método SAET, (Simplified method of Assessing Erosion Thresholds) es un método simplificado utilizado para evaluar la resistencia de un suelo a la erosión hídrica. Fue desarrollado por investigadores de la Universidad de Newcastle en Australia. El método SAET se basa en la idea de que la erosión de un suelo es el resultado de la fuerza de corte del agua que actúa sobre el suelo y la resistencia del suelo a dicha fuerza.

El método utiliza una tabla de referencia que compara la fuerza de corte del agua con la resistencia del suelo en función de su textura, estructura y contenido de materia orgánica. El método SAET es relativamente simple y fácil de aplicar, lo que lo hace útil en situaciones en las que se requiere una evaluación rápida y preliminar de la resistencia a la erosión de un suelo.

El procedimiento fue adaptado a las condiciones del proyecto, se utilizó una sonda como fuente de goteo a 40 cm de altura entre el BTCE y la válvula de salida de agua, dicha válvula con un diámetro de mm donde se liberaba 1 gota por segundo durante 20 minutos, el BTC se encontraba inclinado con una pendiente aproximada de 30 grados para que la gota fuera más crítica y se deslizara por la cara superior del BTC, esto se presenta en la figura 53.

Figura 53 - Ensayo de Erosión



A continuación se recolectan los datos de profundidad en mm para los diversos especímenes de cada categoría en las tablas 41, 42, 43, 44, 45 y 46

Tabla 41 - Resultados Ensayo de Erosión BTC

	Variable	Especimen			
		1	2	3	Promedio
BTC	Profundidad (mm)	11	9	10	10.00
	Recomendación	Revestir o proteger de lluvia directas			

Tabla 42 -Resultados Ensayo de Erosión BTCE RCD 30%

	Variable	Especimen			
		1	2	3	Promedio
BTCE RDC 30%	Profundidad (mm)	5	4.5	3	4.17
	Recomendación	Apto para uso de exteriores			

Tabla 43 -Resultados Ensayo de Erosión BTCE Plástico 4%

	Variable	Especimen			
		1	2	3	Promedio
BTCE PLASTICO 4%	Profundidad (mm)	8	7	9	8.00
	Recomendación	Se recomienda proteger de lluvias directas			

Tabla 44 -Resultados Ensayo de Erosión BTCE RCD 27% Plástico 3%

	Variable	Espécimen			
		1	2	3	Promedio
BTCE RDC y PLA 3%	Profundidad (mm)	10	5	4	6.33
	Recomendación	Se recomienda proteger de lluvias directas			

Tabla 45 - Resultados Ensayo de Erosión BTCE RCD 28% Plástico 2%

	Variable	Espécimen			
		1	2	3	Promedio
BTCE RDC y PLA 2%	Profundidad (mm)	2	2	10	4.67
	Recomendación	Apto para uso de exteriores			

Tabla 46 - Resultados Ensayo de Erosión BTCE RCD 29% Plástico 1%

	Variable	Espécimen			
		1	2	3	Promedio
BTCE RDC y PLA 1%	Profundidad (mm)	3	7	2	4.00
	Recomendación	Apto para uso de exteriores			

12.6 Permeabilidad al agua

El ensayo de permeabilidad en bloque de tierra comprimido es una prueba utilizada para evaluar la capacidad de los bloques de tierra comprimida para permitir el flujo de agua a través de ellos.

Durante el ensayo, se mide la cantidad de agua que fluye a través de un bloque de tierra comprimida en un período de tiempo determinado bajo condiciones controladas. Para realizar el ensayo, se coloca el bloque de tierra comprimida en una cámara de permeabilidad con una superficie superior e inferior sellada.

Se aplica un flujo de agua constante en la superficie superior del bloque y se mide la cantidad de agua que fluye a través de este como se aprecia en la figura 54. La cantidad de agua que fluye a través del bloque se mide en función del tiempo y se utiliza para calcular la permeabilidad del material. El resultado del ensayo de permeabilidad en bloque de tierra comprimida se utiliza para determinar la capacidad del material para permitir el paso de agua a través de él.

Esta propiedad es importante en muchas aplicaciones de construcción, como la construcción de muros y cimientos, donde la capacidad de un material para permitir el drenaje de agua puede afectar la durabilidad y la estabilidad de la estructura.

En resumen, el ensayo de permeabilidad en bloque de tierra comprimida es una prueba relevante utilizada para evaluar la capacidad del material para permitir el paso de agua a través de él, lo que permite determinar su idoneidad para su uso en diferentes aplicaciones de construcción.

Figura 54 - Ensayo de Permeabilidad



Recolectando los datos del peso seco, saturado, el tiempo de absorción, la cantidad de agua absorbida, expulsada y las pérdidas de agua permiten obtener la velocidad de trasmisión de agua con la siguiente ecuación 5.

Ecuación 5 - Velocidad de Transmisión de agua

$$\left(\frac{ml}{s}\right) = \frac{Agua\ absorbida}{tiempo\ de\ absorción}$$

Aplicando la ecuación y los datos de rellenan las tablas 47, 48, 49, 50, 51 y 52.

Tabla 47 -Resultados Ensayo de Velocidad de Trasmisión del Agua BTC

	Variable	Espécimen
BTC	Peso inicial (kg)	10.12
	Peso Final saturado(kg)	10.34
	Tiempo de absorción (Seg)	300
	Cantidad de agua total (l)	1
	Agua absorbida (l)	0.22
	Agua expulsada (l)	0.78
	Perdidas de agua (l)	0
	Velocidad de trasmisión al agua (ml/s)	0.73

Tabla 48 -Resultados Ensayo de Velocidad de Trasmisión del Agua BTCE RCD

	Variable	Espécimen
BTCE RDC 30%	Peso inicial (kg)	9.94
	Peso Final saturado(kg)	10.2
	Tiempo de absorción (s)	300
	Cantidad de agua total (l)	1
	Agua absorbida (l)	0.26
	Agua expulsada (l)	0.68
	Perdidas de agua (l)	0.06
	Velocidad de trasmisión al agua (ml/s)	0.87

Tabla 49 -Resultados Ensayo de Velocidad de Trasmisión del Agua BTCE Plástico 4%

	Variable	Espécimen
BTCE PLA	Peso Inicial (kg)	9.54
	Peso Final saturado(kg)	9.78
	Tiempo de absorción (s)	300
	Cantidad de agua total (l)	1
	Agua absorbida (l)	0.24
	Agua expulsada (l)	0.7
	Perdidas de agua (l)	0.06
	Velocidad de trasmisión al agua (ml/s)	0.80

Tabla 50 - Resultados Ensayo de Velocidad de Trasmisión del Agua BTCE RCD 27% Plástico 3%

	Variable	Espécimen
BTCE RDC y PLA 3%	Peso Inicial (kg)	9.1
	Peso Final saturado(kg)	9.36
	Tiempo de absorción (s)	300
	Cantidad de agua total (l)	1
	Agua absorbida (l)	0.26
	Agua expulsada (l)	0.7
	Perdidas de agua (l)	0.04
	Velocidad de trasmisión al agua (ml/s)	0.87

Tabla 51 -Resultados Ensayo de Velocidad de Trasmisión del Agua BTCE RCD 28% Plástico 2%

	Variable	Espécimen
BTCE RDC y PLA 2%	Peso Inicial (kg)	10.12
	Peso Final saturado(kg)	10.3
	Tiempo de absorción (s)	300
	Cantidad de agua total (l)	1
	Agua absorbida (l)	0.18
	Agua expulsada (l)	0.76
	Perdidas de agua (l)	0.06
	Velocidad de trasmisión al agua (ml/s)	0.60

Tabla 52 -Resultados Ensayo de Velocidad de Trasmisión del Agua BTCE RCD 29% Plástico 1%

	Variable	Espécimen
BTCE RDC y PLA 1%	Peso Inicial (kg)	9.95
	Peso Final saturado(kg)	10.1
	Tiempo de absorción (s)	300
	Cantidad de agua total (l)	1
	Agua absorbida (l)	0.15
	Agua expulsada (l)	0.81
	Perdidas de agua (l)	0.04
	Velocidad de trasmisión al agua (ml/s)	0.50

13. CICLO DE VIDA DEL LADRILLO

El ciclo de vida del ladrillo H12 y el bloque de tierra comprimida son diferentes en varios aspectos.

Materias Primas: El ladrillo H12 está hecho de arcilla, que es extraída de canteras y luego procesada para obtener el producto final. En cambio, el bloque de tierra comprimida está hecho de tierra y materiales naturales como arena, grava, y estabilizadores como cemento, cal, etc.

Fabricación: El proceso de fabricación del ladrillo H12 implica la mezcla de arcilla con agua, moldeado y secado al sol o en un horno. Por otro lado, la fabricación del bloque de tierra comprimida implica la compresión de tierra y otros materiales naturales con una máquina para crear un bloque sólido.

Impacto Ambiental: La producción de ladrillos H12 tiene un impacto ambiental significativo debido a la extracción de arcilla y la emisión de gases de efecto invernadero durante el proceso de cocción. Por otro lado, el bloque de tierra comprimida se considera un material de construcción más sostenible debido a su bajo impacto ambiental durante la fabricación.

Durabilidad: Ambos materiales tienen una vida útil similar y son resistentes a la intemperie y a la mayoría de las condiciones climáticas. Sin embargo, el ladrillo H12 es más propenso a la formación de grietas y roturas con el tiempo, mientras que el bloque de tierra comprimida es más resistente y menos propenso a la deformación.

Costo: El costo de producción del ladrillo H12 es mayor que el del bloque de tierra comprimida debido a la necesidad de arcilla de alta calidad y el proceso de cocción. Además, el transporte del ladrillo también puede ser costoso debido a su peso.

Por otro lado, el bloque de tierra comprimida es más económico debido a su fabricación más simple y al uso de materiales locales. En conclusión, ambos materiales tienen sus pros y contras, y la elección entre el ladrillo H12 y el bloque de tierra comprimida dependerá de factores como el presupuesto, el impacto ambiental, la durabilidad y la disponibilidad de materiales locales.

14. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Haciendo un análisis de los resultados de todos los grupos de BTCE en cada ensayo se puede concluir que el grupo que mejor tuvo desempeño a nivel general de todos los ensayos es el grupo de BTCE 30% RCD.

Según los resultados obtenidos es seguro implementar la construcción en tierra, ya que se tienen en cuenta el bajo costo, la sostenibilidad y contribución al medio ambiente. Los resultados de los ensayos arrojan muy buenos datos dando una seguridad a esta técnica.

Los BTCE pueden proporcionar una alternativa sostenible y económica a otros materiales de construcción. Sin embargo, la calidad del bloque depende en gran medida de la calidad de la mezcla y del proceso de fabricación, por lo que el control de calidad es importante para garantizar su rendimiento y durabilidad.

Para esta investigación una mayor densidad se consideró como un mejor desempeño pero un mayor peso en los materiales también afecta la estabilidad aumentando la dificultad de soportar la estructura.

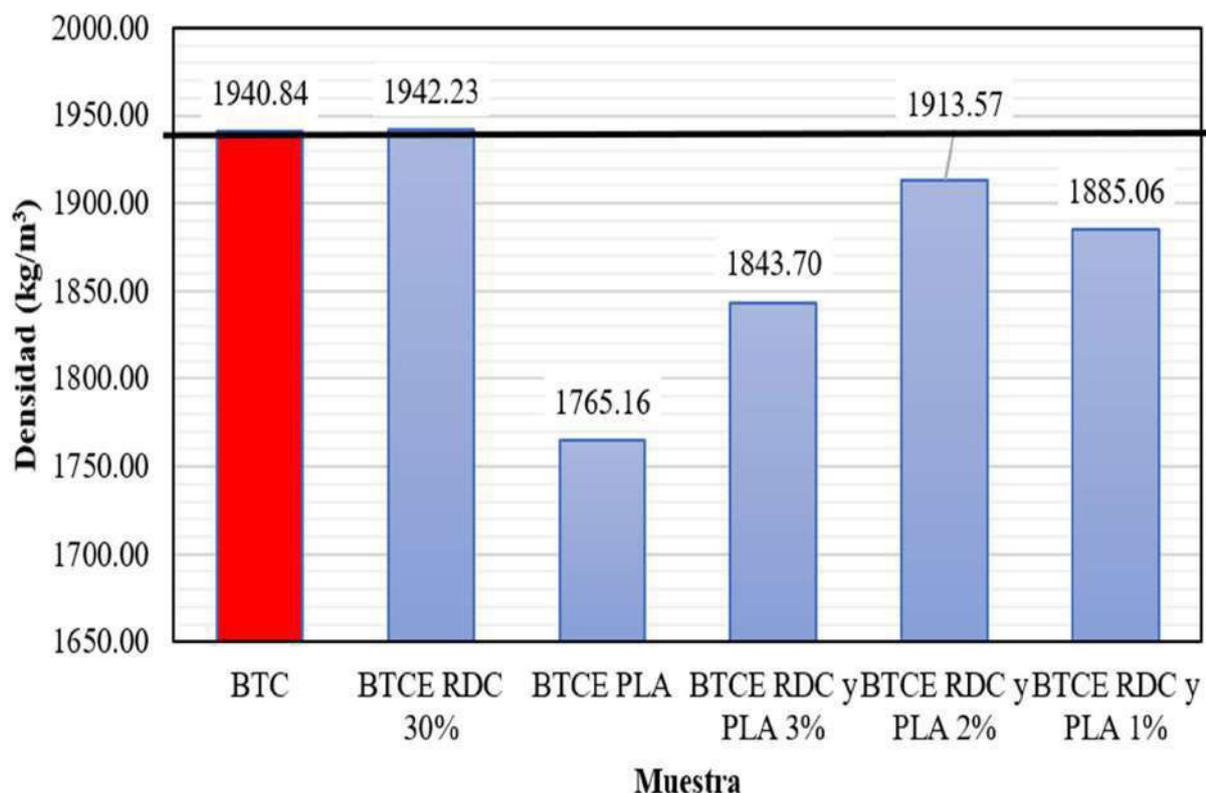
14.1 Densidad Seca Bulk

A continuación, se presenta la tabla 53 que compara el porcentaje de aumento o reducción de cada categoría vs el BTC tradicional, para una comparación más precisa se presenta además la figura 55.

Tabla 53 -Resultados Ensayo de Densidad Seca Bulk

DENSIDAD SECA BULK						
DATOS PROMEDIOS	BTC	BTCE RDC 30%	BTCE PLAS 4%	BTCE RDC 27 y PLA 3%	BTCE RDC 28 y PLA 2%	BTCE RDC 29 y PLA 1%
% PORCENTAJE DE AUMENTO/ REDUCCIÓN VS EL BTC	0.00	0.07	-9.05	-5.01	-1.41	-2.87

Figura 55 - Densidad Seca



Los resultados presentados en la tabla 53 del ensayo de densidad seca puede proporcionar información valiosa sobre la calidad y consistencia del bloque de tierra comprimida. Si los resultados muestran una densidad uniforme y adecuada, esto sugiere que el proceso de fabricación del BTC ha sido consistente y de alta calidad.

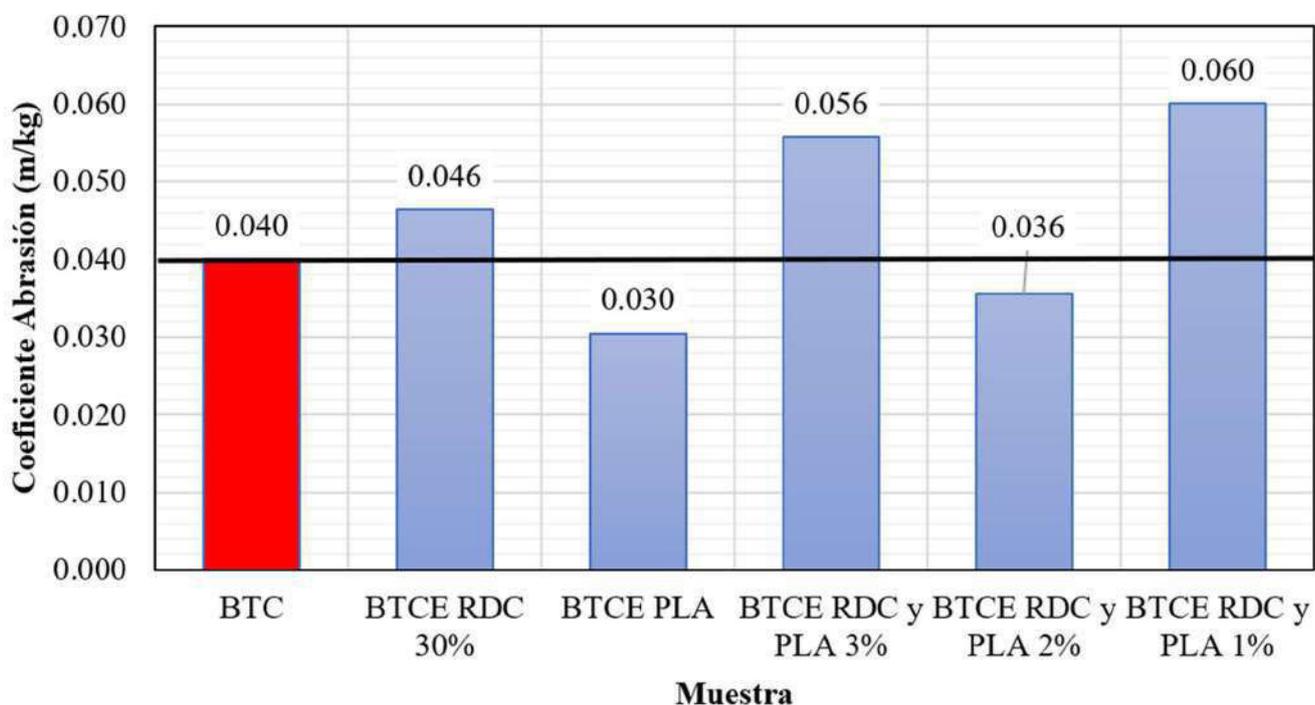
Los BTC se dejaron 30 días para que toda humedad fuera eliminada dejando así bloques macizos que se ven reflejados en estos datos, la tierra fue tamizada para que al comprimirse se homogeneizara mejor, cuando se añadió el concreto triturado se olió al punto de pasar por el tamiz 20, es por esto que la categoría BTCE RDC 30% es la más densa y compacta con un incremento de 0.07% que parece minúsculo pero considerando la compresión por la que paso la tierra es muy difícil de superar dicha densidad, en el proceso de fabricación no se dejaron espacios para poder tener una alta porosidad, por el otro lado el plástico molido al ser mucho más grande en tamaño que la tierra genero mayor porosidad y una menor densidad, por esto cada categoría que la contiene empeoro en porcentaje significativo versus el BTC tradicional.

14.2 Abrasión

Tabla 54 -Resultados Ensayo de Abrasión

ENSAYO DE ABRASIÓN						
DATOS PROMEDIOS	BTC	BTCE RDC 30%	BTCE PLA	BTCE RDC y PLA 3%	BTCE RDC y PLA 2%	BTCE RDC y PLA 1%
% PORCENTAJE DE AUMENTO/ REDUCCIÓN VS EL BTC	0	15.81	-23.84	39.2	-11.12	49.91

Figura 56 - Coeficiente Abrasión



En el ensayo de abrasión, se determina la pérdida de masa o volumen de la muestra de material que se ha sometido a la fricción con un material abrasivo durante un número determinado de ciclos. El coeficiente de abrasión se calcula dividiendo la cantidad de material desgastado por el número de ciclos y la distancia o el tiempo de la prueba.

Un coeficiente de abrasión alto indica que el material es más resistente a la abrasión y, por lo tanto, es más duradero en aplicaciones donde la abrasión es un factor importante. Por otro lado, un coeficiente de abrasión bajo indica que el material es más susceptible al desgaste y es menos adecuado para aplicaciones en las que se espera una alta resistencia a la abrasión.

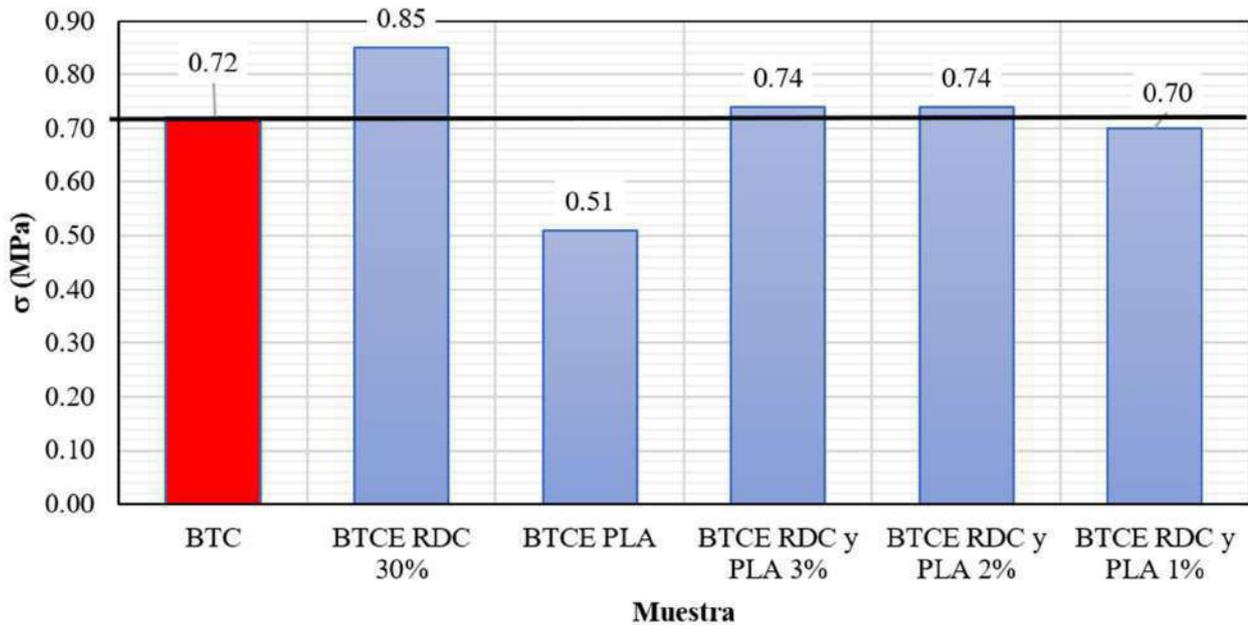
Aclarado eso y observando la Figura 56 se ve que la categoría BTCE RDC Y 1% PLAS es la mejor dosificación para este ensayo, siendo la que menos cantidad (en reacción a su peso inicial) de masa perdió, por otro lado, el que peor se comportó fue BTCE PLA, destacando que al momento de realizar el ensayo se observaba la gran cantidad de masa se perdía en cada ciclo de cepillado, seguramente al ser menos denso el plástico molido era más fácil de ser retirado del BTCE.

14.3 Compresión

Tabla 55 -Resultados Ensayo de Compresión

ENSAYO DE COMPRESIÓN						
DATOS PROMEDIOS	BTC	BTCE RDC 30%	BTCE PLA	BTCE RDC y PLA 3%	BTCE RDC y PLA 2%	BTCE RDC y PLA 1%
% PORCENTAJE DE AUMENTO/ REDUCCIÓN VS EL BTC	0	18.06	-29.17	2.78	2.78	-2.78

Figura 57 - Ensayo a Compresión



Analizando la figura 57 que expresa los resultados obtenidos en el ensayo de compresión para las diversas adiciones de los estabilizadores junto al BTC observamos un aumento al utilizar un 30% de concreto triturado para el BTCE RDC, obteniendo un 18% en su resistencia, por otro lado, al utilizar un 4% de plástico molido para la categoría BTCE PLA se redujeron en un 29% su capacidad de resistencia.

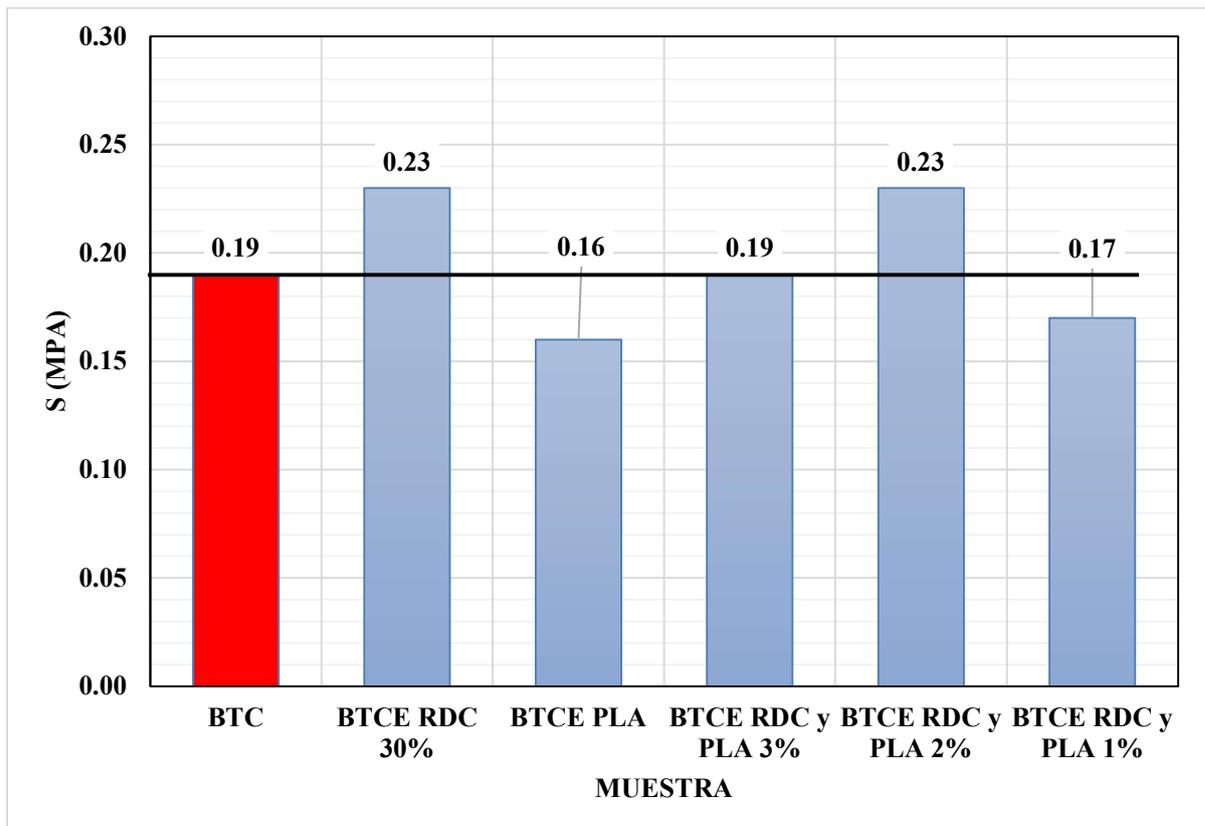
Además, se puede observar que la combinación de concreto triturado y plástico molido en diferentes proporciones ha producido resultados variables en términos de resistencia a la compresión, pero bastante similares al valor obtenido por el BTC convencional (+/- 2%), dando al concreto triturado como un aditivo/estabilizante bastante eficiente para los BTCE.

14.4 Flexión

Tabla 56 - Resultados Ensayo de Flexión

Ensayo de Flexión						
DATOS PROMEDIOS	BTC	BTCE RDC 30%	BTCE PLA	BTCE RDC y PLA 3%	BTCE RDC y PLA 2%	BTCE RDC y PLA 1%
% Porcentaje De Aumento/ Reducción Vs El Btc	0.00	21.05	-15.79	0.00	21.05	-10.53

Figura 58 - Ensayo flexión



El ensayo se diferencia principalmente del ensayo de compresión debido a que el esfuerzo de compresión se le aplica una carga continua por toda la cara, mientras el ensayo de flexión se aplica una carga puntual en el centro del elemento estando en una base con luz libre, esa es la razón de la diferencia de valores, una vez aclarado se procede a analizar los datos, en el contexto de la relación de valores se observa una resistencia similar en los sujetos de prueba, siendo el BTCE RDC 30% el mejor en este ensayo, su alta densidad se respalda con su mayor resistencia de un 21% mayor versus el BTC convencional, por su parte el BTCE PLAS 4% nuevamente fue la peor dosificación de BTCE con unos valores que empeoran en un 15% al BTC clásico, sin embargo en general los resultados de flexión de los BTCE son bajos pero se entiende en el contexto de que la tierra es comprimida con fuerza mecánica sin ningún proceso industrial.

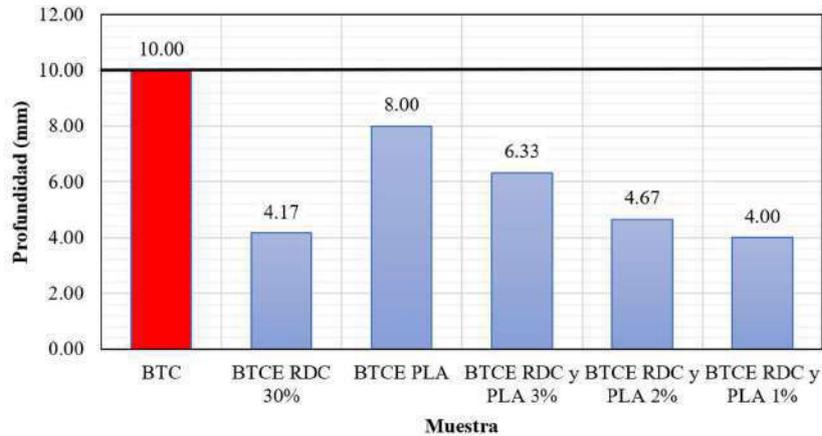
14.5 Erosión

Para este ensayo se tomaron unos parámetros especificados en la sección de resultados y se presentan en una tabla y grafica a continuación.

Tabla 57 - Resultados Ensayo de Erosión

ENSAYO DE EROSIÓN						
DATOS PROMEDIOS	BTC	BTCE RDC 30%	BTCE PLA	BTCE RDC y PLA 3%	BTCE RDC y PLA 2%	BTCE RDC y PLA 1%
PROFUNDIDAD (mm)	10.00	4.17	8.00	6.33	4.67	4.00
ANÁLISIS	Revestir o proteger de lluvia directas	Apto para uso de exteriores	Se recomienda proteger de lluvias directas	Se recomienda proteger de las lluvias directas	Apto para uso de exteriores	Apto para uso de exteriores

Figura 59 - Ensayo de Erosión



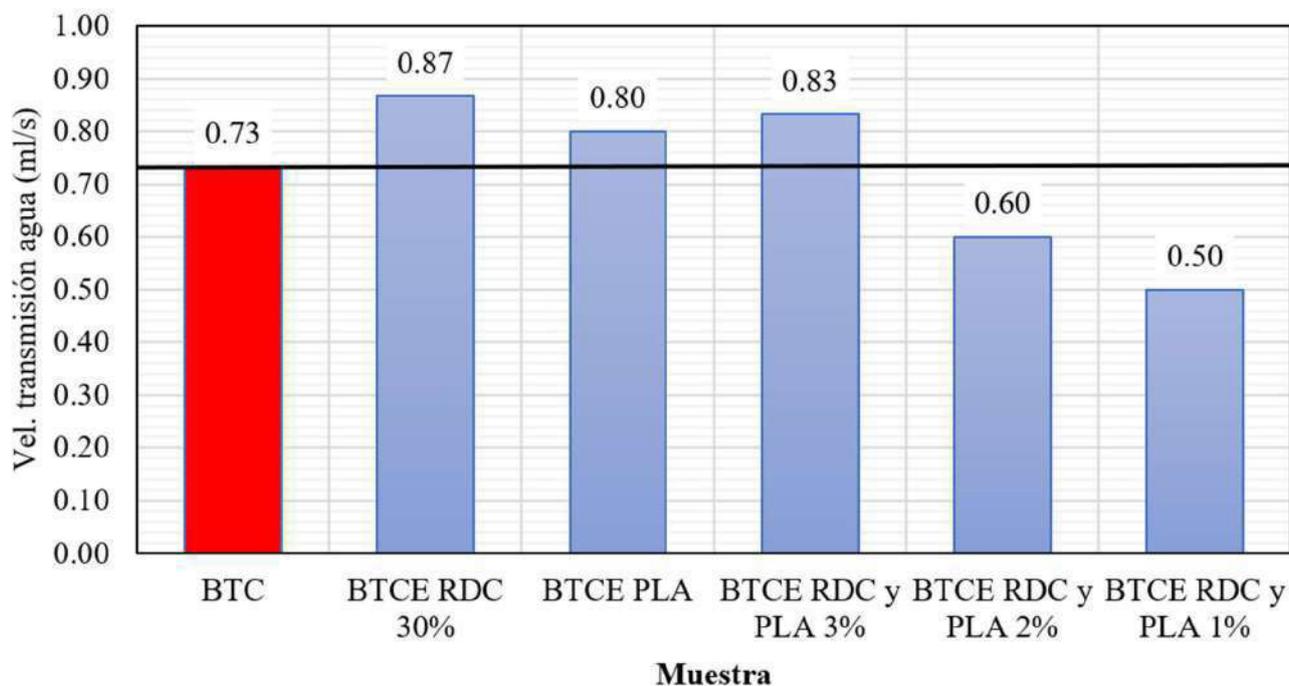
En los resultados del ensayo ya vienen unos mini análisis a partir de la profundidad creada por el goteo en mm; donde todas las versiones del BTCE dieron un mejor resultado vs el BTC tradicional, la categoría BTCE RDC 30% se podría deber a que son más densos y poseen superficie menos absorbente que la convencional de BTC; por el parte de la categoría BTCE PLAS se debe a la permeabilidad que posee el plástico, donde en vez de absorberlo como lo haría la tierra de manera natural la esparce a su alrededor, pero esta categoría por sí solo es superior en el ensayo contra el BTC pero no logra superar a sus versiones que incluyen concreto en las diferentes dosificaciones, resultando el concreto triturado (RDC) como el mejor aditivo/estabilizante evaluado para los BTCE.

14.6 Velocidad De Transmisión De Agua

Tabla 58 - Resultados Ensayo de Velocidad de trasmisión de agua

VELOCIDAD DE TRASMISIÓN DEL AGUA						
DATOS PROMEDIOS	BTC	BTCE RDC 30%	BTCE PLA	BTCE RDC y PLA 3%	BTCE RDC y PLA 2%	BTCE RDC y PLA 1%
Velocidad de trasmisión al agua (ml /seg)	0.73	0.87	0.80	0.83	0.60	0.50

Figura 60 - Grafica Velocidad Trasmisión del agua



Para este ensayo se realizó una adaptación según el contexto de nuestro proyecto, el ensayo suele realizarse en productos alimenticios, el ensayo busca saber cuánta cantidad de agua logra atravesar y ser retenida por el objeto de estudio, en este caso BTCE, analizando cuánta agua pasa en una cantidad de tiempo definida, eso indica que tan impermeable es el material.

El análisis consiste en calcular cuánta agua era retenida, siendo en este caso la menos impermeable aquella que menos expulse el agua, en este ensayo bajo estos parámetros el BTCE RDC y PLA 1% resultó ser el ganador, siendo aquel que menos agua absorbió como se ve en la figura 60, por otro lado sorprendentemente BTCE RDC 30% fue el que peor se comportó ante esta prueba, absorbiendo 20 ml más que el BTC convencional; traduciéndose en un 20% más de absorción al agua, aclarando que se buscaba saturar los BTCE poniendo los bloques en un escenario crítico.

A continuación, se presenta la tabla 58 donde se presenta una calificación de 6 a 1 para las diferentes categorías de BTCE y BTC frente a los diversos ensayos que se presentaron, dándole 6 puntos a la dosificación que mejor se comportó hasta llegar a darle 1 a la que peor interacción tuvo con los experimentos.

Tabla 59 – Tabla de calificaciones BTCE

	Propiedad	Calificación Espécimen					
		BTC	BTCE RDC 30%	BTCE PLA	BTCE RDC 27% y PLA 3%	BTCE RDC 28 y PLA 2%	BTCE RDC 29% y PLA 1%
Ensayos	Densidad	5	6	1	2	4	3
	Erosión	1	4	2	3	6	5
	Abrasión	3	4	1	5	2	6
	Compresión	4	6	1	4	5	2
	Flexión	4	6	1	3	5	2
	Permeabilidad del Agua	4	1	3	2	5	6
	Total	21	27	9	19	27	24

Como previamente se mencionó, la tabla 58 consta de un puntaje global que se le dio a cada categoría según su promedio en dicho ensayo, teniendo en cuenta el significado de estos, comenzando.

Siendo en total 6 categorías se calificó de 1 a 6 según su posición, se fue sumando su puntaje en cada categoría para si tener un ganador global.

Comenzando con el ensayo de Densidad Seca, el ganador fue el BTC RDC 30% debido al poseer una densidad mayor, se le dio los 6 puntos ya que en este ensayo el que poseyera una densidad promedia mayor será el mejor, valor importante para nuestra investigación ya que así se tendrá menos porosidad para el ingreso de insectos, raises, agua, etc.

La siguiente categoría es la erosión, en este ensayo el ganador fue el BTCE RDC 28% y PLA 2%, se le asignaron los 6 puntos y la razón es que en este ensayo quien obtuviera una menor cantidad de profundidad en mm.

En el ensayo de abrasión aquel que poseyera una cantidad mayor sería el ganador, siendo este el BTCE RDC 29% y PLA 1%, debido a que fue el que menos cantidad perdió y aquel que menos área de abrasión fue capaz de rastrillar.

En los ensayos de Compresión y Flexión a pesar de ser ensayos con una forma diferente de hacer fallar el elemento son congruentes en sus resultados, el orden de calificación de las categorías son las mismas en ambas, donde el ganador fue el BTCE RDC 30%.

Y para finalizar el ensayo de permeabilidad el ganador es quien menos agua haya absorbido (saturando el bloque y debilitando toda la estructura), siendo este BTCE RDC 29% y PLA 1% el ganador de los 6 puntos.

Dando como resultado un empate entre las categorías de BTCE RDC 30% y BTCE RDC y PLA 2%, donde presentaron una increíble mejora en la mayoría de los ensayos versus el BTC y las demás categorías, por otro lado, la dosificación que peor interacción tuvo fue el BTCE PLA empeorando al BTC tradicional en todas las pruebas realizadas.

15. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA

El análisis del ciclo de vida (ACV) es una herramienta que permite evaluar los impactos ambientales asociados con la producción, uso y disposición de un producto o servicio a lo largo de su ciclo de vida completo, desde la extracción de materias primas hasta el fin de su vida útil. En este sentido, comparar el ACV de un bloque de perforación horizontal y un bloque de tierra compactado implica evaluar los impactos ambientales de ambos productos en cada etapa de su ciclo de vida.

15.1 Análisis ciclo de vida del ladrillo

En términos generales, el ACV del bloque de perforación horizontal se centraría en la extracción de las materias primas necesarias para su fabricación, como arcillas y el uso de demás combustibles fósiles por la energía requerida para su producción debido al uso de un horno que se aprecia en la figura 52, así como en los impactos ambientales asociados con su uso, como la contaminación del aire y del agua durante la perforación. (Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (Cosude), 2023)

Además, también sería importante evaluar los impactos de su disposición final, como la emisión de gases de efecto invernadero y la generación de residuos.

Figura 61 - Horno Ladrillos



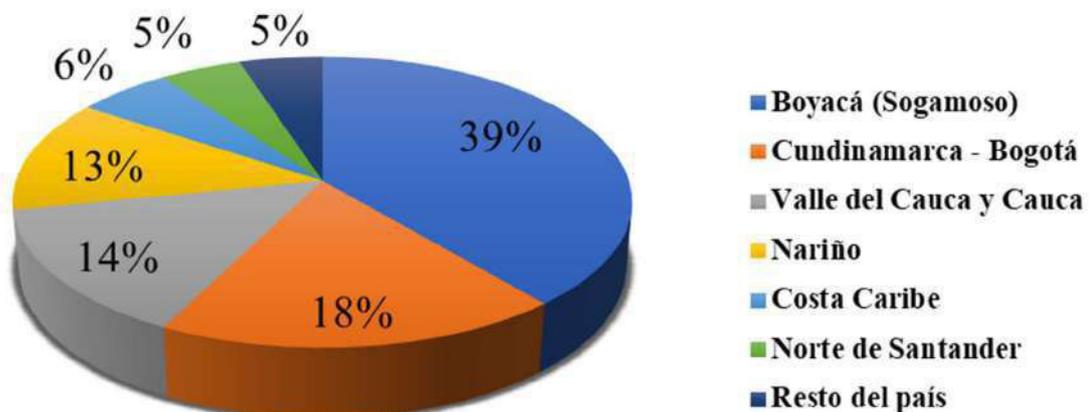
El bloque de perforación horizontal que se utilizará como comparativa en el análisis de ciclo de vida será el H12, El ciclo de vida de estos ladrillos consta de varias etapas, que incluyen la extracción de materiales, la fabricación, el uso en la construcción y, eventualmente, la demolición o el reciclaje. (Vivanuncios, 2023)

El ladrillo H12 es un tipo de ladrillo comúnmente utilizado en la construcción de muros y otras estructuras. La letra "H" en su denominación indica que es un ladrillo con perforación Horizontal, es decir, que tiene uno o más huecos en su interior que lo hace más ligero y económico. El número "12" se refiere a su ancho nominal de 12 centímetros.

Producción en Colombia: La mampostería en Colombia es una tradición constructiva y cultural, el MADS e INCONTEC han desarrollado lineamientos para reducir su efecto de gas invernadero además de normas como a NTC para determinar criterios de ecoetiquetas con un sello ambiental, la arcilla se extrae principalmente de nacimientos mineros en 14 países donde el 49% de su producción anual está localizada en Cundinamarca y Boyacá como se ve en la figura 53 (ANDES, 2016).

Figura 62 - Distribución Geográfica de ladrilleras en los diferentes departamentos en Colombia

Fuente: CAEM 2015

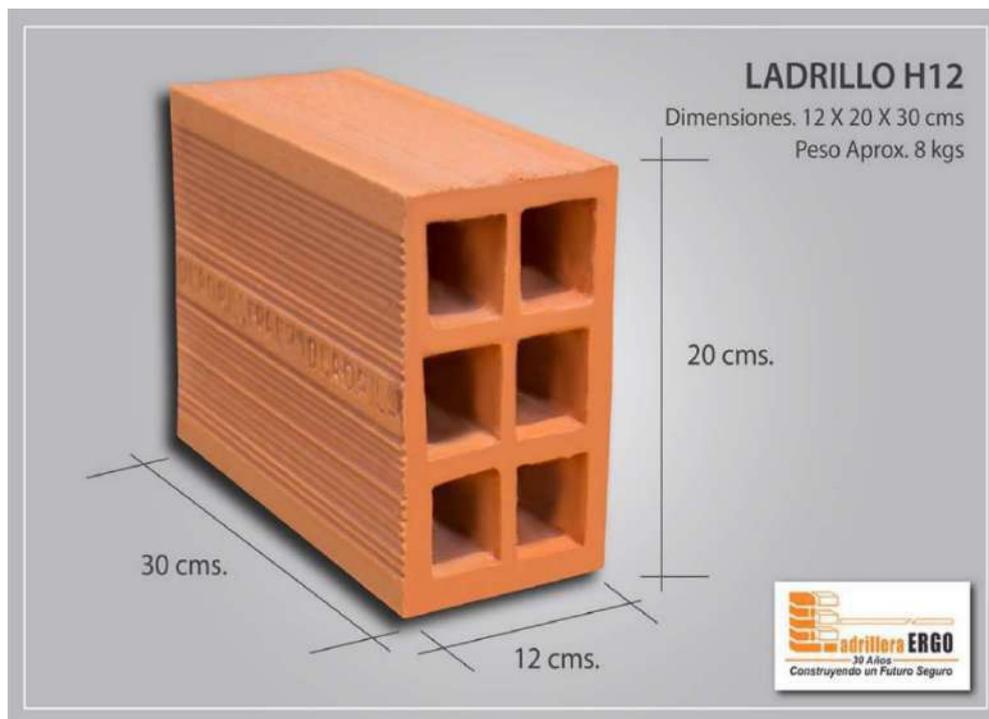


Materiales: Los materiales utilizados en la fabricación de un ladrillo H12 pueden variar según el fabricante y la región, pero por lo general incluyen arcilla, arena y otros aditivos como cenizas volantes o polvo de ladrillo. Estos materiales se mezclan en una proporción específica y luego se moldean en la forma de ladrillo.

Post fabricación: Después de la fabricación, los ladrillos H12 se someten a un proceso de secado y cocción a alta temperatura para endurecerlos y mejorar su resistencia. El resultado es un ladrillo resistente, duradero y de tamaño uniforme que se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones de construcción.

Dimensiones: Las dimensiones que posee son 12 cm de ancho, (de ahí su nombre de H12), 20 cm de alto y 30 cm de largo, como se ve en la figura 63.

Figura 63- Ladrillo H12

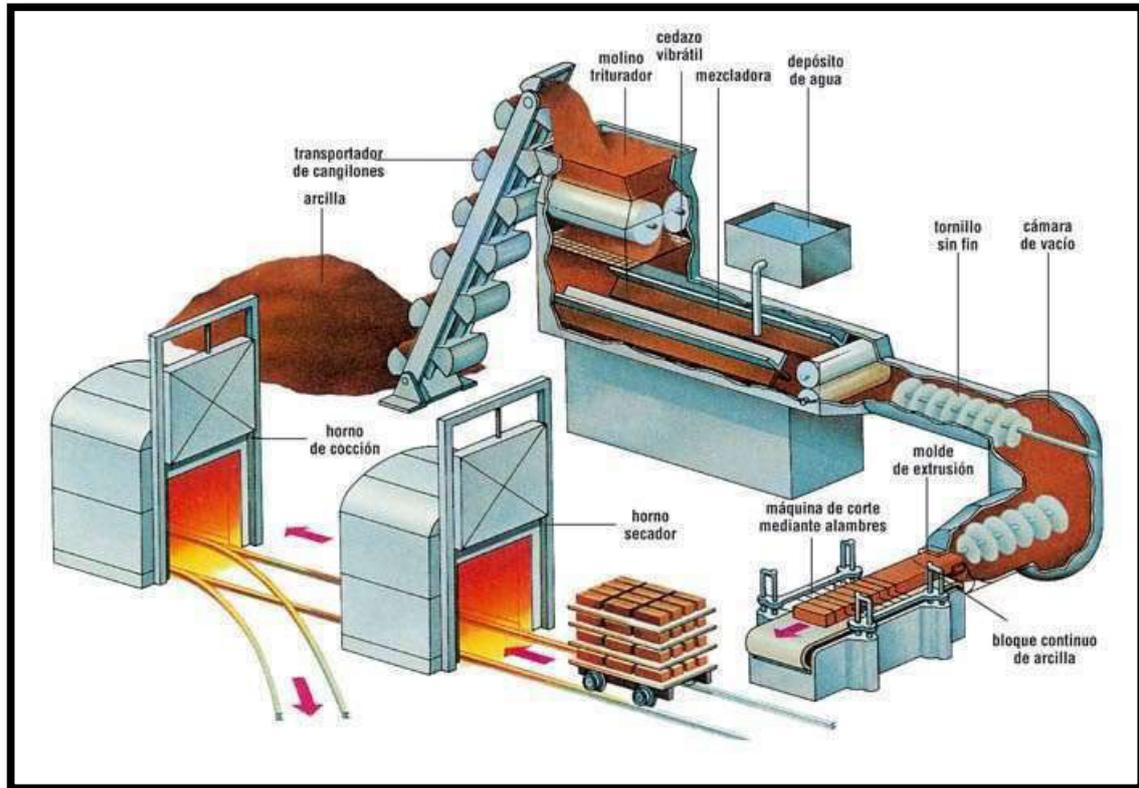


Maquinarias: Para la fabricación de ladrillos se utilizan máquinas especializadas como una mezcladora, molino de trituración, una prensa de compresión y un horno para secado y cocción como se ven en la figura 64.

Impacto ambiental: La extracción de arcilla puede causar la degradación del suelo y la pérdida de hábitats naturales. Además, la fabricación de ladrillos requiere grandes cantidades de energía y emite dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero, lo que contribuye al cambio climático.

Sin embargo, los ladrillos pueden ser reciclados o reutilizados, lo que reduce su impacto ambiental, tienen una vida útil larga y pueden durar décadas o incluso siglos si se mantienen adecuadamente. Con relación a las emisiones de CO₂ - eq, la obtención de un ladrillo mecanizado impacta al ambiente en un 36% más que la obtención de un ladrillo artesanal, debido al consumo de energía y transporte de los materiales y los insumos en producción de ladrillos mecanizados (Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (Cosude), 2023)

Figura 64 - Proceso de fabricación del ladrillo



Continuando con los impactos que genera impactos ambientales negativos, a continuación, enumeraremos los más destacables:

Emisiones de gases de efecto invernadero: La fabricación de ladrillos implica la quema de combustibles fósiles, lo que resulta en la emisión de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero.

Contaminación del aire: La quema de combustibles fósiles también puede emitir gases y partículas contaminantes al aire, lo que puede afectar la calidad del aire en las cercanías de las fábricas de ladrillos.

Consumo de agua: La fabricación de ladrillos requiere grandes cantidades de agua para la producción y el enfriamiento de los ladrillos. Esto puede tener un impacto en la disponibilidad de agua para las comunidades locales.

Contaminación del suelo: La extracción de arcilla y otros materiales para la fabricación de ladrillos puede resultar en la erosión del suelo y la degradación de la calidad del suelo.

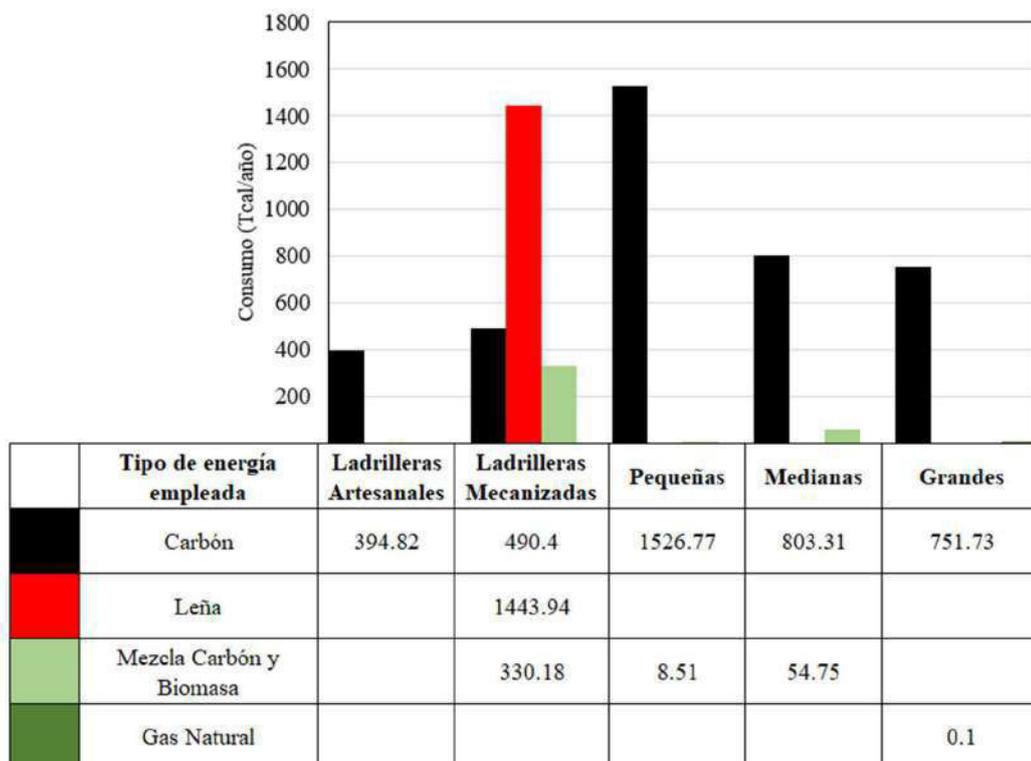
Desechos sólidos: La fabricación de ladrillos puede generar grandes cantidades de residuos sólidos, incluyendo cenizas y lodos residuales, que pueden ser difíciles de desechar adecuadamente, Colombia es un país que genera 200k residuos por habitante en 2014; de los cuales el 83% fueron a relleno sanitario donde solo el 17% se aprovechaban comparado con países desarrollados como Alemania donde el 99,5% de los residuos se aprovechaban. (UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, 2017).

Impactos en la biodiversidad: La extracción de arcilla y otros materiales para la fabricación de ladrillos puede tener un impacto negativo en la biodiversidad local, incluyendo la pérdida de hábitats naturales y la degradación de los ecosistemas naturales. (UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, 2017)

Consumo de energía: La fabricación de ladrillos requiere grandes cantidades de energía, que a menudo se generan a partir de fuentes no renovables. Esto puede contribuir a la escasez de energía y al cambio climático, donde se generó en 2015 en Colombia más de 5804.51 de Ton Cal/Año en el consumo de combustibles fósiles en las diversas variedades de fabricación de ladrillos. (ANDES, 2016), estos datos se observan desmenuzados en la figura 65.

Figura 65 - Consumo de combustible por tamaño

Fuente: CAEM (2015)



Cambio en el uso de la tierra: La construcción de fábricas de ladrillos y la extracción de arcilla y otros materiales pueden requerir la conversión de tierras agrícolas o forestales en tierras industriales. Esto puede tener un impacto en la biodiversidad y en la capacidad de las comunidades locales para producir alimentos y obtener recursos naturales.

Vida Útil: Se estima más de 100 años de vida del ladrillo, donde se destaca ciudades como Bogotá que la mayoría de sus edificaciones en los últimos 60 años destacaban el uso en mampostería de ladrillo (Construya Calidad, 2020).

Energía Para generar un ladrillo: El proceso de fabricación de 1 ladrillo consta de múltiples fases, la recolección del material, el triturado del material, la homogenización del mismo, su endurecimiento en el horno, todas estas fases generan un gasto energético gigante, Para la fabricación de 1 kilo de ladrillo se requiere más de 3,56 Mega julios (Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos, 2010), considerando un ladrillo H12 de peso promedio 6.5 kg traduce en 23.14 para 1 ladrillo H12, esto considerando todo el proceso de su fabricación, concentrándonos en el gasto energético de su cocción en horno se puede utilizar la siguiente ecuación

Ecuación 6 – Energía en temperatura Jules

$$H (KJ) = Masa (kg) * \left(\frac{KJ}{Kg} * ^\circ C \right) * \Delta T$$

Considerando la masa de 1 ladrillo es de 6.5 kilogramos, la capacidad de calor de un ladrillo convencional es en promedio 0,92 KJ/Kg* $^{\circ}C$, y un cambio de temperatura de 1030 $^{\circ}C$, el ladrillo comienza con una temperatura ambiente de 20 $^{\circ}C$ donde posteriormente dura días en un horno a una temperatura promedio de 1050 $^{\circ}C$ (SCIELO, 2016)

Aplicando la formula se procede a presentar el resultado en la tabla

Tabla 60 - Energía de cocción

temperatura inicial	temperatura final	Peso [kg]	6.5
20	1050	Capacidad calorífica específica [kJ/kg * $^{\circ}C$]	0.9
	Promedio	Cambio de temperatura [$^{\circ}C$]	1030
		H [KJ]	6025.5

Continuando con las emisiones que produce la creación de un solo ladrillo convencional, se documentan 270 gramos de CO_2 por kilo, es decir 1,8 kilos de CO_2 por un ladrillo H12 más liviano. (Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos, 2010)

Esos factores son críticos y cruciales para el análisis de desperdicio que genera 1 ladrillo en comparación con un Bloque de Tierra Comprimido.

Figura 66 - Fabrica de ladrillos (Nalah Technique)



15.2 Análisis ciclo de vida del BTC

Por otro lado, el ACV del bloque de tierra compactado se centraría en la extracción y procesamiento de las materias primas necesarias para su fabricación, como la tierra que entre sus propiedades posee unos porcentajes de tierra, arena y limos; entre otros materiales, siendo el caso de añadir estabilizantes como los propuestos por el proyecto se lograría reciclar, reducir y reutilizar desperdicios como los RDC y el Plástico molido.

Materiales: Los materiales son los presentados en la tabla 1, Agua en una cantidad optima, Tierra con unas propiedades y cantidades de limos, arenas y arcillas y de manera opcional un estabilizante que comúnmente es cal viva.

Maquinarias: Se podría industrializar la fabricación del BTC, pero la ventaja de este tipo de técnica constructiva en tierra es que se puede producir con una prensa mecánica la mencionada CINVA RAM en la Figura 10.

Impacto Ambiental: No se genera ningún tipo de afectación al bioma ni el medio biótico o abiótico, ya que es una técnica amigable con el medio ambiente que además utiliza solo 1% de la energía requerida para fabricar un ladrillo.

Dimensiones: Las Dimensiones varían del molde de Cinva Ram pero los utilizados en la investigación son de 30 cm de largo, 14.5 cm de ancho y la altura la cuál es la única que podía variar ya que no se veía comprometida por las dimensiones del molde, siendo en promedio 12.5 cm de altura

Post Fabricación: Una vez terminado el BTC se deja secando en protección de la lluvia, pero utilizando el sol, el tiempo varía según el clima y la metodología de los fabricantes, se estima en promedio un tiempo ideal de 30 días.

Mantenimiento: La tierra es un material reutilizable y de un uso ilimitado, por lo que el mantenimiento se realiza con una capa de tierra cal o incluso mortero en tierra que elimine las fisuras generadas o si es necesario derrumbar y volver a usar la tierra para construir de nuevo (SOLO ARQUITECTURA, 2009).

Energía para Compactar un BTC: El proceso de crear un bloque de tierra comprimido se enfoca en el uso de la Cinva RAM, dicha maquina usa la fuerza del usuario para mover la palanca y el mecanismo que comprime el bloque de tierra, el siguiente análisis presenta la energía requerida en cada etapa del movimiento de compresión de la Cinva Ram. Presentada en las figuras 66, 67, 68, 69, 70 y 71; cada imagen con un diagrama de cuerpo y su Angulo, estos datos se usarán más adelante

Figura 67 - Fase 1 de Cinva Ram Cerrado sin enganche

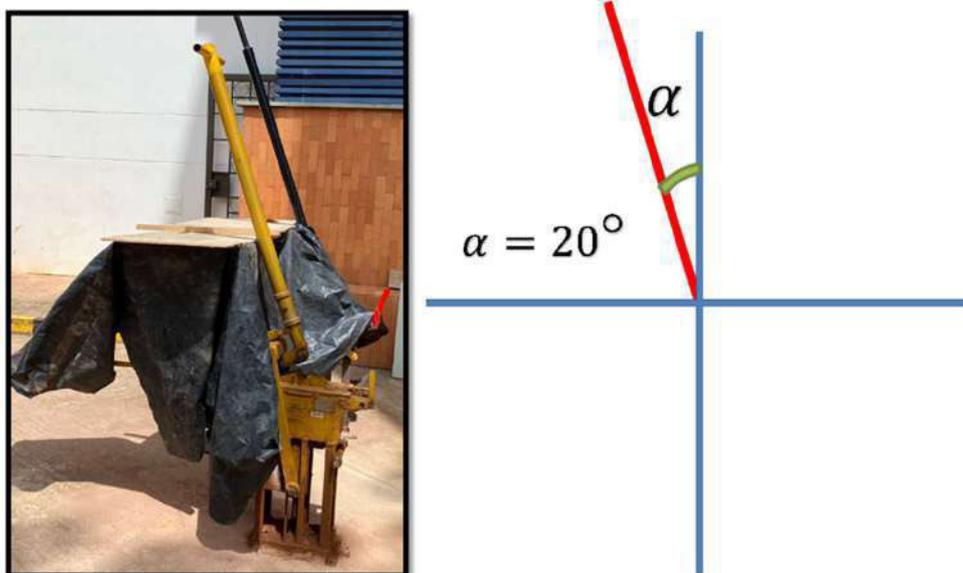


Figura 68 - Fase 2 Cinva Ram Abierto

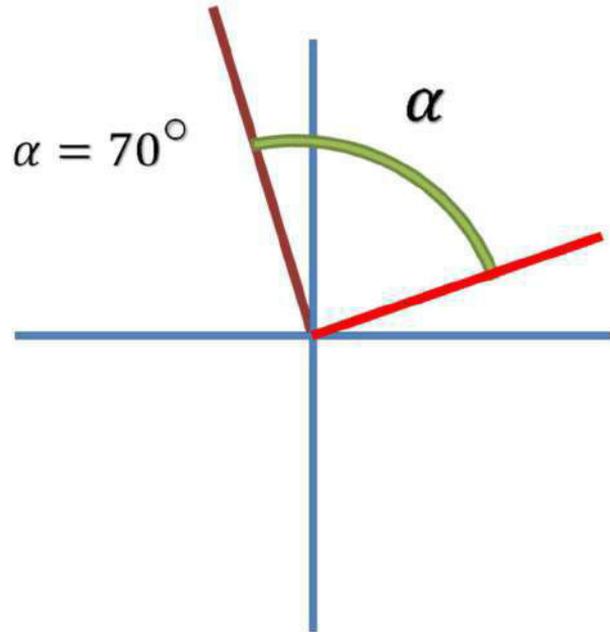


Figura 69 - Fase 3 Cinva Ram Cerrado con enganche

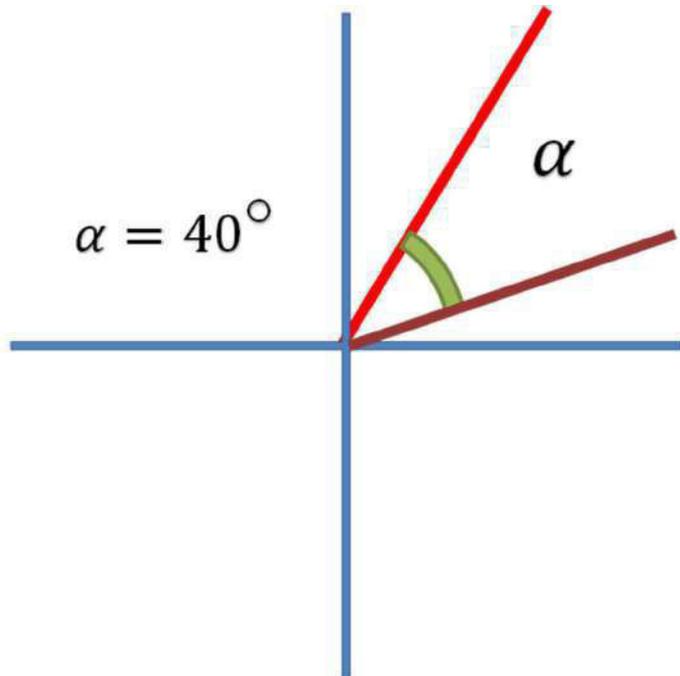


Figura 70 – Fase 4 Cinva Ram Compresión

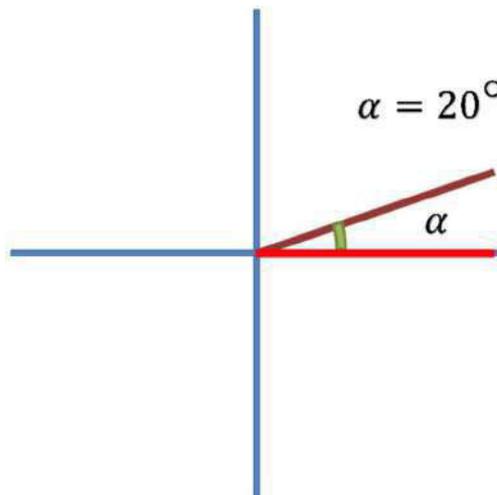


Figura 71 - Fase 5 Cinva Ram Cerrado sin engancho

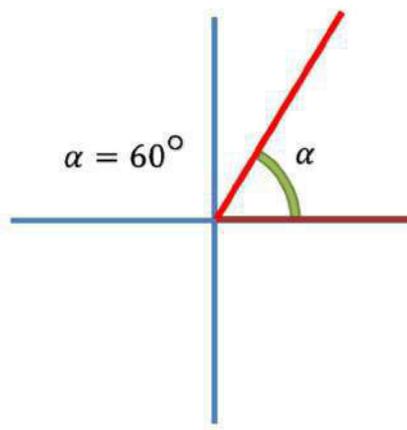
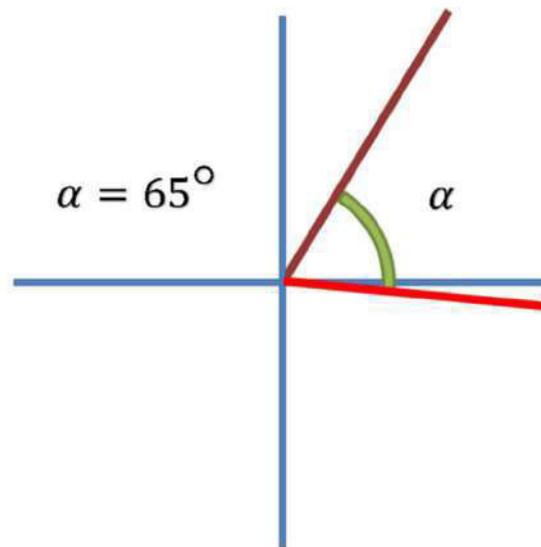


Figura 72 - Fase 6 Cinva Ram Extracción



Conociendo cada fase del proceso de hacer un BTC en la Cinva Ram y aplicando la ley de la palanca de segundo grado presentada en la siguiente ecuación y figura 72

Ecuación 7 - Ecuación Ley de palanca

$$P * BP = R * BR$$

Donde:

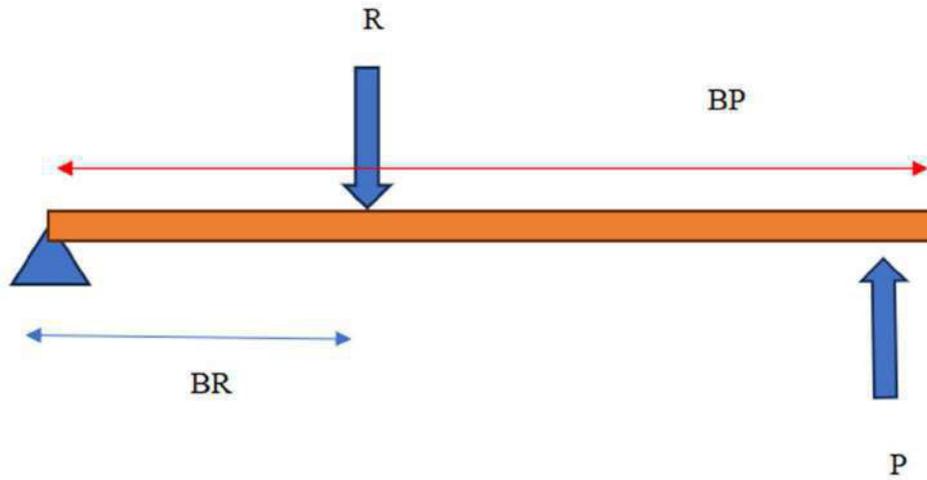
P es la potencia en kg

R es la resistencia en kg

BP es el brazo de potencia en metros

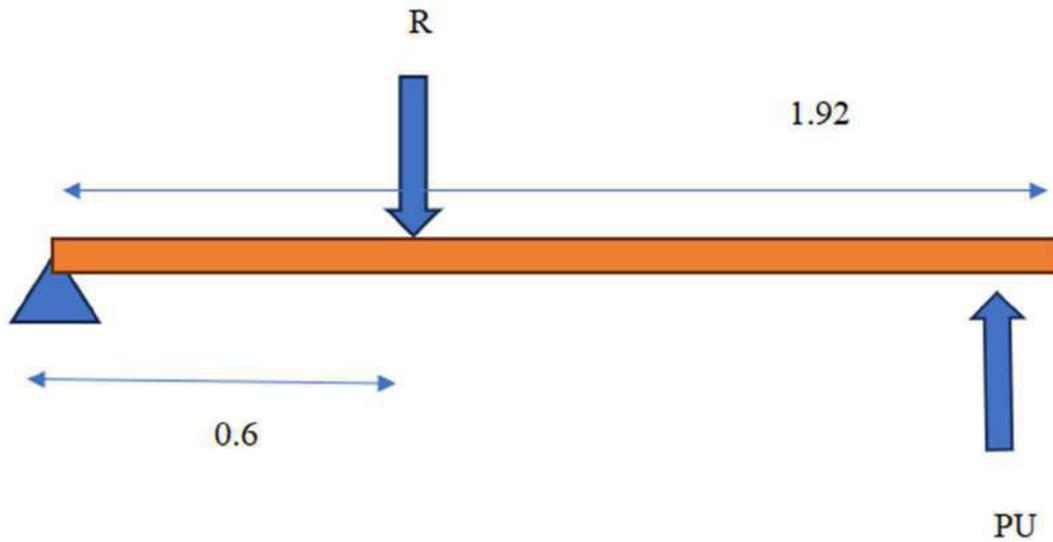
BR es el brazo de resistencia en metros

Figura 73 - Diagrama ley de palanca



Aplicando con los datos de la longitud de la palanca de la CINVA RAM obtenemos la figura 73, ya que conocemos el largo de la palanca (1.92 metros)

Figura 74 - Diagrama ley de palanca Cinva Ram



Para cada Fase la resistencia que se posee es diferente debido a que no es lo mismo la resistencia a la compresión a la resistencia de bajar la palanca sin tierra dentro del molde, por

lo que se crea la tabla 59, para calcular la potencia en kg requerida para cada fase, y posteriormente transformarla en trabajo (Newtons) con la aceleración de la gravedad (9.8 m/s²).

Tabla 61 - Calculo de Fuerza de cada fase Cinva Ram

FASES	1	2	3	4	5	6
R [kg]	0.5	5	5	50	5	20
BR [m]	0.6					
BP [m]	1.92					
P [kg]	0.15625	1.5625	1.5625	15.625	1.5625	6.25
a [m/s ²]	9.8					
F (N)	1.531	15.313	15.313	153.125	15.313	61.250

Conociendo la fuerza requerida en cada fase podemos transformarlo en energía (Joules) utilizando la distancia recorrida del trabajo con los datos previos y la ecuación 8, 9 y 10

Ecuación 8 – Longitud de arco

$$L_{arco} = \frac{\alpha}{360} * 2\pi * r$$

Donde el radio será la longitud de la palanca

Ecuación 9 – Perímetro de Sección circular

$$P_{sc} = 2 * r + L_{arco}$$

Ecuación 10 - Formula de Joules

$$1 J = N * m$$

El perímetro de la sección nos arrojará una distancia en metros del recorrido que hace la palanca en cada fase, multiplicando junto a su trabajo y tendremos la energía total de compactar un solo BTC en la Cinva Ram, aplicando la ecuación 9, como se presenta en la tabla 62

Tabla 62 - Energía de compactar en la Cinva Ram

FASES	1	2	3	4	5	6
r [m]	1.92	1.92	1.32	1.32	1.92	1.92
Angulo [°]	20	70	40	20	60	65
Larco [m]	0.67	2.35	0.92	0.46	2.01	2.18
Psc [m]	6.95	8.63	7.20	6.74	8.29	8.46
F (N)	1.531	15.313	15.313	153.125	15.313	61.250
Energía [J]	10.6	132.1	110.3	1032.7	127.0	518.3

Resultando en una energía total de 1931 J o 1,93 kJ. La Tabla 63 presenta una comparativa entre el ciclo de vida de una unidad de mampostería H12 y el BTC convencional, aunque ambos utilizan la tierra como mismo material la maquinaria y su proceso de fabricación es muy diferente, como se observa en la energía requerida para la compactación de un BTC es de solo 0.2 MJ mientras que para la producción de un ladrillo H12 (El más ligero en el mercado de 6.5 kilogramos) se requiere 23.14 MJ donde además se produce 1.8 kilogramos de CO₂ a la atmosfera debido al uso de hornos en su fabricación caso contrario al BTC que no genera ninguna emisión dañina a la atmosfera ya que su secado es con el ambiente, por otro lado la duración de un hogar en BTC requerirá de un mantenimiento constante (la restauración es económica y que solo requiere de estabilizantes, agua y tierra) para poder cumplir con los requerimientos de seguridad en la estructura a diferencia del ladrillo que permite que una familia viva por generaciones sin necesidad de preocuparse por el cuidado de esta.

Los 30 años de vida útil se tomaron a partir de un estudio del mantenimiento de muros de adobe o barro (BUILD , 2023), siendo un periodo de mantenimiento requerido para evitar agrietamientos perjudiciales para el muro.

Tabla 63 - Comparación de ciclo de vida

Comparación de ciclo de vida		
Aspectos	Btc	Ladrillo
MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> • Tierra • Agua • Estabilizante (recomendado) 	<ul style="list-style-type: none"> • Tierra (En su mayoría arcilla) • Agua • Cenizas
MAQUINARIAS	<ul style="list-style-type: none"> • Cinva Ram 	<ul style="list-style-type: none"> • Mezcladora, • Molino de trituración • Prensa de compresión • Horno para secado • Horno para cocción
IMPACTO AMBIENTAL	<ul style="list-style-type: none"> • No aplica / no genera 	<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones de gases de efecto invernadero • Contaminación del aire • Consumo de agua • Contaminación del suelo • Desechos sólidos
Post fabricación	Secado al sol protegido de agua	Secado en horno
Vida útil	30 años	100 años
Mantenimiento	Constante, cada par de años en el mejor de los casos.	Casi nulo, cada 60 de ser necesario
Energía requerida para 1 bloque	0.2 Mega Jules	23.14 Mega Jules
Cantidad de CO ₂ generada	0	1.8 kilos

16. CONCLUSIONES

- El uso del Plástico molido como estabilizante demostró no ser viable por sí solo debido a que empeoro en todas las pruebas al BTC convencional.
- Los residuos de construcción y demolición (Concreto triturado) resulto ser un excelente agregado y creando una versión superior del BTCE, mejorando en casi todo factor y prueba realizada al BTC convencional, siendo el agregado de concreto una mejoría para los ensayos de densidad, abrasión, compresión, flexión, erosión y permeabilidad
- La investigación demostró que el BTCE RDC 30% y BTC RDC 28% - PLAS 2% son como dosificación una solución económica y ecológica que revaloriza y mejora al BTC tradicional además de permitir darle un segundo uso a estos materiales que usualmente son desechados, siendo así un aporte y desarrollo a la construcción sostenible.
- La principal ventaja de los bloques de tierra compactada estabilizada es su bajo costo en comparación con otros materiales de construcción como el ladrillo, lo que los pone al alcance de una amplia gama de personas.
- La energía requerida para compactar 1 BTC es 0.03 veces la requerida para cocer 1 ladrillo convencional, lo cual es una enorme ventaja el uso del BTC sobre el ladrillo.
- El BTC gana al ladrillo convencional en el factor de su bajo impacto ambiental ya que la materia prima del suelo es rica y renovable y el uso de estabilizantes como los residuos de Construcción y demolición junto al plástico molido ayudan a reducir la huella de carbono que genera la industria y la ingeniería civil, genera una técnica constructiva atractiva y ecológica para la sociedad
- Los BTCE tienen buenas propiedades térmicas y acústicas, lo que los hace aptos para la construcción de hogares con altos requerimientos energéticos y de confort.
- Los BTCE son una solución sostenible y rentable para la construcción de hogares y estructuras cuando se siguen prácticas de fabricación renovables y se realizan pruebas de calidad adecuadas.
- El ciclo de vida del BTCE es limpio, accesible, económico, Amigable con el medio ambiente y renovable a comparación de un ladrillo semejante como lo es el H12 que genera una cantidad de.

17. RECOMENDACIONES

- Entre las principales recomendaciones se encuentra la del laboratorista, contar con el apoyo de alguien con experiencia en el tema para guiar e indicar si el procedimiento está siendo el adecuado, además de claro leer e investigar sobre las normas tanto de los ensayos como de la fabricación de los BTC.
- Hay que asegurar que cada ensayo se pueda replicar en los diversos especímenes, esto quiere decir que las condiciones sean las mismas tanto el encargado como de realizar las pruebas como los materiales y paso a paso a seguir, así reduciendo la variabilidad e incertidumbre de los datos.
- El tiempo de secado se planeó para 30 días por las condiciones climáticas de Bucaramanga en la temporada del momento, se debe de asegurar la climatología de la zona delimitada de trabajo siempre protegido de la luz y la lluvia.
- Seleccionar una tierra que cumpla con las proporciones adecuadas para su utilización asegurando la calidad de los materiales con ensayos de caracterización.
- Para el diseño estructural de una vivienda se debe tener en cuenta la resistencia que proporcionan, por lo que los ensayos presentados son claves para el estudio además de realizar más pruebas de calidad para ofrecer seguridad en la vivienda.
- No utilizar una cantidad de plástico molido superior al 1% a menos que se combine con demás estabilizantes.
- El BTC al igual que las demás construcciones en tierra sufre de problemas con el control del agua, esta investigación no evaluó el uso de impermeabilizantes pero si recomienda trabajar el BTC con una capa externa de saliva u otro impermeabilizante.

18. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (Cosude). (2023). *ESTUDIO DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LADRILLOS Y BLOQUE DE CONCRETO*. Cusco: Universidad Católica Pontificia del Perú. Obtenido de https://www.cooperacionsuiza.pe/wp-content/uploads/2019/06/13_estudio_ladrillo.pdf
- AIMPLAS. (1 de 12 de 2016). *AIMPLAS*. Obtenido de <https://www.aimplas.es/blog/ensayos-de-permeabilidad-al-vapor-de-agua-para-envases/#:~:text=Para%20medir%20la%20cantidad%20de,es%20el%20ASTM%20F-1249>.
- ANDES, E. Y. (5 de 12 de 2016). *ISSUU*. Obtenido de Metodología para el análisis del ciclo de vida de mampostería de arcilla y su consumo energético: https://issuu.com/sergioballen/docs/acv_mamposteria_cundinamarca
- Arquitectura y Empresa. (22 de 06 de 2015). *Arquitectura y Empresa*. Obtenido de Construcción sostenible: Bloques de tierra comprimida BTC: <https://arquitecturayempresa.es/noticia/construccion-sostenible-bloques-de-tierra-comprimida-btc#:~:text=15%2013%3A01-,Los%20bloques%20de%20tierra%20comprimida%2C%20BTC%2C%20son%20bloques%20constructivos%20fabricados,comprime%20en%20una%20prensa%20mecanic>
- BUILD . (03 de 02 de 2023). *BUILD* . Obtenido de <https://build.com.au/mud-brick-and-adobe#:~:text=of%20what%27s%20involved-,Maintenance,roof%20with%20deep%20eaves%2C%20though>
- Carvajal Jimenez, A. R. (09 de 02 de 2014). *UTADEO*. Recuperado el 29 de 11 de 2022, de <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/3429>
- Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos. (9 de Julio de 2010). *EL PAIS*. Obtenido de <https://blogs.elpais.com/eco-lab/2010/07/lo-que-contamina-un-ladrillo.html>
- Cointeraux, F. (1790). *Ecole d'architecture rurale*. Paris.

- Construya Calidad. (25 de 02 de 2020). *GRUPO CONSTRUYA*. Obtenido de https://www.grupoconstruya.com.ar/notas/Informes_Detalles?CCTN=5118&CINF=450#:~:text=La%20vida%20útil%20de%20una,con%20un%20mantenimiento%20prácticamente%20nulo.
- Donkor, P., & Obonyo, E. (2015). *Earthen construction materials: Assessing the feasibility of improving strength and deformability of compressed earth blocks using polypropylene fibers*. Florida U.S.A: University of Florida.
- Fathy, H. (1969). *Arquitectura Para Los Pobres*. Egipo, Cairo.
- Félix Jové Sandoval, J. L. (2014). *Construcción con Tierra*. Cuenca de Campos: Publicación online.
- Francis Sloth, T. M. (2005). *'Earth Building Methods & Materials, Repair & Conservation'*. London: Keefe.
- GARCÍA, M. M. (22 de Junio de 2015). *Arquitectura y Empresa*. Obtenido de <https://arquitecturayempresa.es/noticia/construccion-sostenible-bloques-de-tierra-comprimida-btc>
- LABFERRER METER. (2020). *ACTIVIDADES DEL AGUA*. Obtenido de <https://blog.actividaddeagua.com/isotermas-de-sorcion-de-humedad-que-son/>
- M.Desmarais. (2021). *Waste Fibers in Unstabilized Compressed Earth Blocks for Sustainable Construction in Ghana*. Ghana.
- mebarka, R. (2022). *Study of the effect of cement kiln dust on the mechanical, thermal and durability properties of compressed earth blocks*. Algeria.
- METEOR RED. (19 de 01 de 2022). *METEOR RED TIEMPO.COM*. Obtenido de METEOR RED TIEMPO.COM: <https://www.tiempo.com/bucaramanga.htm>
- Niño, M. (2012). *Effect of the addition of coal-ash and cassava peels on the engineering properties of compressed earth blocks*.
- Oubaha, S. (2022). *Elaboration of compressed earth blocks based on phosphogypsum and phosphate mining by-products*.
- R. Gentil, B. M. (2011). *Characterization of Clayey Soils from Congo and Physical Properties of Their Compressed Earth Blocks Reinforced with Post-Consumer Plastic Wastes*. congo.

- SCIELO. (22 de Marzo de 2016). *SCIELO*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-921X2017000100009#:~:text=Finalmente%2C%20los%20ladrillos%20son%20llevados,Lang%20y%20Fernández%2C%202006).
- SOLO ARQUITECTURA. (08 de 05 de 2009). *SOLO ARQUITECTURA*. Obtenido de <https://www.soloarquitectura.com/foros/threads/restauracion-paredes-tierra-y-cal.44729/>
- UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. (14 de 06 de 2017). *ISSUU*. Obtenido de https://issuu.com/sergioballen/docs/methodological_considerations_for_1 Methodological considerations for life cycle assessment of clay masonry:
- UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. (19 de 07 de 2017). *Simposio Crecimiento Verde y Política Económica, segundo día*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=G5KampZauPE&t=3s>
- Vásquez, A. (2015). *Fabricación de bloques de tierra comprimida con adición de residuos de construcción y demolición como reemplazo del agregado pétreo convencional*.
- Vivanuncios. (2 de 1 de 2023). *VIVANUNCIOS*. Obtenido de <https://blog.vivanuncios.com.mx/bienes-raices/comprar-casa/vida-util-de-materiales-de-construccion/#:~:text=Vida%20útil%20de%20materiales%20de,Madera%2C%2060%20a%2070%20años>
- Wright, F. L. (1940). *EARTHWORK FOR A SYMBIOTIC LANDSCAPE*. California.
- ZICK ROELL. (01 de 07 de 2022). *ZICK ROELL*. Obtenido de <https://www.zwickroell.com/es/sectores/ensayo-de-materiales/ensayo-de-compresion/>