

DETERMINAR LA VIABILIDAD DEL USO DE LAS FIBRAS DE POLIETILENO
COMO MATERIAL ALTERNATIVO PARA ESTABILIZAR BLOQUES DE TIERRA
COMPRIMIDA (BTC) Y COMPARAR SU COMPORTAMIENTO CON RESPECTO
A LOS BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA TRADICIONALES

PRESENTADO POR
JUAN ANDRÉS GARCÍA SEQUEA
ID: 000345534

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2022

DETERMINAR LA VIABILIDAD DEL USO DE LAS FIBRAS DE POLIETILENO
COMO MATERIAL ALTERNATIVO PARA ESTABILIZAR BLOQUES DE TIERRA
COMPRIMIDA (BTC) Y COMPARAR SU COMPORTAMIENTO CON RESPECTO
A LOS BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA TRADICIONALES

PRESENTADO POR
JUAN ANDRÉS GARCÍA SEQUEA
ID: 000345534

DIRECTOR
ING. CARLOS FERNANDO RIVERA
Ingeniero Civil

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA

2022

ii

Nota de aceptación:

Firma presidente del Jurado

Firma Jurado No. 1

Firma Jurado No. 2

Bucaramanga, 18 de julio de 2022

CONTENIDO

LISTA DE TABLAS.....	11
LISTA DE IMÁGENES	12
LISTA DE GRÁFICAS	14
LISTA DE FIGURAS	15
GENERAL SUMMARY	17
INTRODUCCIÓN	18
1. OBJETIVOS	19
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	19
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
2. ANTECEDENTES	20
3. MARCO TEÓRICO.....	24
3.1 BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDOS (BTC)	24
3.1.1 Contenido de agua de los suelos	26
3.1.2 Formas y dimensiones de los BTC.....	26
3.2 MOLDEO	26
3.2.1 Máquina de tipo CINVA – RAM.....	26
3.2.2 Murete	26
3.3 COMPACTACIÓN	27
3.3.1 Resistencia a la compresión	27
3.3.2 Norma Técnica Colombiana NTC-5324.....	28
3.4 ADICIÓN DE FIBRAS A LOS BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDOS	28
3.5 POLIETILENO	28
4. METODOLOGÍA.....	29
4.1 DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL MATERIAL.....	30
4.1.1 Descripción del material	31
4.1.2 Caracterización del material.....	32
4.1.3 Caracterización por brillo.....	33
4.1.4 Ensayos de caracterización en laboratorio.....	33
4.2 DETERMINACIÓN DE DISEÑO DE MEZCLA.....	40

4.2.1 Extracción del material	42
4.2.2 Secado y tamizaje	42
4.2.3 Caracterización del material	43
4.2.4 Elaboración de la mezcla	43
4.2.5 Prensado en CINVA-RAM.....	44
4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS E IMPACTO AMBIENTAL.....	50
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	54
5.1 PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DEL MATERIAL.....	54
5.2 ENSAYOS DE LABORATORIO.....	55
5.2.1 Densidades	55
5.2.2 Ensayo de resistencia a la compresión	56
5.2.3 Ensayo de resistencia a la tracción por flexión – Módulo de rotura	59
5.2.4 Ensayo de resistencia a erosión húmeda.....	61
5.2.5 Ensayo de resistencia a la abrasión.....	63
5.2.6 Ensayo de contracción lineal.....	66
5.2.7 Cuadro de efectos sinérgicos	68
5.3 Consumo energético, liberación de CO ₂ y reducción al impacto ambiental .	68
6. CONCLUSIONES.....	70
7. RECOMENDACIONES	72
BIBLIOGRAFÍA	73

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resultados Investigación BTC con fibras de poli sombra.....	23
Tabla 2. Características de los bloques de tierra estabilizados e inestabilizados .	25
Tabla 3. Caracterización del material	31
Tabla 4. Test de tamaño de partículas	32
Tabla 5. Test de color.....	32
Tabla 6. Caracterización por brillo.....	33
Tabla 7. Caracterización de Test de caída de bola	34
Tabla 8. Datos test de vidrio.....	34
Tabla 9. Caracterización Test del cordón	36
Tabla 10. Interpretación Test de cinta	37
Tabla 11. Caracterización con Test de exudación.....	37
Tabla 12. Caracterización por Test de resistencia seca	39
Tabla 13. Caracterización por test de rollo	40
Tabla 14. Cantidad de unidades de BTC	41
Tabla 15. Ensayos realizados a BTC en etapa experimental.....	51
Tabla 16. Tipo de suelo y técnica constructiva (adaptación CEPED. 1984).....	54
Tabla 17. Resultados - Ensayo a la compresión	57
Tabla 18. Estadística - Ensayo de Compresión.....	58
Tabla 19. Resultados - Resistencia a la tracción.....	59
Tabla 20. Estadística - Ensayo a flexión	60
Tabla 21. Resultados – Ensayo de resistencia a la erosión húmeda	61
Tabla 22. Estadística - Ensayo de erosión	62
Tabla 23. Datos - Calculo de abrasión	64
Tabla 24. Coeficiente de abrasión.....	64
Tabla 25. Estadística - Ensayo de abrasión	65
Tabla 26. Resultados – Ensayo de contracción lineal	66
Tabla 27. Estadística - Ensayo de contracción lineal	68
Tabla 28. Consumo CO2.....	69
Tabla 29. Cuadro de efectos sinérgicos	68

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Tamizado de muestra.....	31
Imagen 2. Secado de muestra	31
Imagen 3. Tamizado y secado de muestra	31
Imagen 4. Material seleccionado-Test tamaño de partículas	32
Imagen 5. Caracterización por brillo	33
Imagen 6. Test de caiga de bola	33
Imagen 7. Test de vidrio.	35
Imagen 9. Formación de la cinta	36
Imagen 10. Fractura en Test de cinta.....	36
Imagen 10. Test de exudación	37
Imagen 11. Test de la resistencia seca inicial	38
Imagen 12. Test de la resistencia seca media	38
Imagen 13. Test de la resistencia seca final.....	38
Imagen 14. Test de rollo.....	39
Imagen 15. Extracción de material de cantera	42
Imagen 16. Tamizaje material	42
Imagen 17. Secado del material.....	42
Imagen 18. Elaboración de la mezcla	43
Imagen 19. Fibras de polietileno	44
Imagen 20. Prensado en Cinva Ram	44
Imagen 21. Ladrillo prensado	44
Imagen 22. Cinva Ram.....	45
Imagen 23. Dimensiones Cinva Ram	45
Imagen 24. Fabricación BTC convencional.....	45
Imagen 25. Resultado BTC convencional	45
Imagen 26. Fibra polietileno 2%	46
Imagen 27. Mezcla con fibra al 2%	46
Imagen 28. Fabricación BTC 2%.....	46
Imagen 29. Resultado final BTC 2%	46
Imagen 30. Mezcla con fibra al 4%	47
Imagen 31. Lubricación de moldes.....	47
Imagen 32. Fabricación BTC 4%.....	48
Imagen 33. Resultado final BTC al 4%.....	48
Imagen 34. Cantidad de fibra al 6%	49
Imagen 35. Fabricación BTC al 6%.....	49
Imagen 36. Mezcla con fibra al 8%	49
Imagen 37. Fabricación BTC al 8%.....	50
Imagen 38. Resultado final BTC al 8%.....	50
Imagen 39. Compresión BTC Tradicional	57
Imagen 40. Compresión BTC 2%.....	57
Imagen 41. Compresión BTC 4%.....	57
Imagen 42. Compresión BTC 6%.....	57

Imagen 43. Compresión BTC 8%.....	57
Imagen 44. Flexión BTC Tradicional	59
Imagen 45. Flexión BTC 2%.....	59
Imagen 46. Flexión BTC 4%.....	59
Imagen 47. Flexión BTC 6%.....	59
Imagen 48. Flexión BTC 8%.....	59
Imagen 49. Erosión BTC Tradicional.....	61
Imagen 50. Erosión BTC 2%	61
Imagen 51. Erosión BTC 4%	61
Imagen 52. Erosión BTC 6%	61
Imagen 53. Erosión BTC 8%	61
Imagen 54. Abrasión BTC Tradicional.....	63
Imagen 55. Abrasión BTC 2%	63
Imagen 56. Abrasión BTC 4%.....	63
Imagen 57. Abrasión BTC 6%	63
Imagen 58. Abrasión BTC 8%	63
Imagen 59. Contracción lineal	66
Imagen 60. Medición de retracción	66
Imagen 61. Ensayo de contracción lineal.....	66
Imagen 62. Ensayo de retracción.....	66

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Densidades BTC.....	56
Gráfica 2. Esfuerzo de rotura - Compresión seca	58
Gráfica 3. Ensayo de resistencia a la tracción.....	60
Gráfica 4. Ensayo de resistencia a la erosión	62
Gráfica 5. Ensayo de resistencia a la abrasión	65
Gráfica 6. Ensayo de contracción lineal	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo - Metodología del trabajo.....	29
Figura 2. Test propiedades físicas	30
Figura 3. Test propiedades mecánicas	30
Figura 5. Clasificación de suelos.....	35
Figura 5. Metodología de fabricación de BTC	41
Figura 6. Tipos de ensayo	51
Figura 7. Recomendaciones para la técnica de construcción estabilizante (adaptado de CRATerre, 1979).....	55

RESUMEN GENERAL



RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO:	DETERMINAR LA VIABILIDAD DEL USO DE LAS FIBRAS DE POLIETILENO COMO MATERIAL ALTERNATIVO PARA ESTABILIZAR BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA (BTC) Y COMPARAR SU COMPORTAMIENTO CON RESPECTO A LOS BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA TRADICIONALES
AUTOR(ES):	Juan Andrés García Sequea
PROGRAMA:	Facultad de Ingeniería Civil
DIRECTOR(A):	Ing. Carlos Fernando Rivera

RESUMEN

El presente trabajo de grado, tiene como objetivo demostrar la viabilidad del uso de las fibras de polietileno como estabilizante en los bloques de tierra comprimida; se trabajó en porcentajes de 2%, 4%, 6%, 8%, con fibras de polietileno triturada con longitud de 100 mm y un rango promedio de diámetro de 0,98 mm, encontrándose una mejora en las características físico mecánicas del BTC, al practicarse diferentes ensayos en el laboratorio referentes a la resistencia a la compresión, a la tracción por flexión, a la erosión húmeda, a la abrasión y a la contracción lineal; Como resultado, el diseño de mezcla óptimo en el cual se obtuvo una mejora considerable fue en el 4%, convirtiéndose en una opción interesante para optimización de materiales sin perder las características principales, adicionalmente se convierte en un insumo para la construcción biosostenible y amigable con el medio ambiente; disminuyendo el impacto ambiental como material reciclado para un segundo uso y contribuyendo a reducir la contaminación que genera la producción y fabricación de ladrillos o bloques de arcilla, que requieren horno y una alta demanda de dióxido de carbono y consumo energético para su comercialización.

PALABRAS CLAVE:

Fibras polietileno, bloques de tierra, polietileno, BTC estabilizados

Vº Bº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY



GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: DETERMINE THE FEASIBILITY OF USING POLYETHYLENE FIBERS AS AN ALTERNATIVE MATERIAL TO STABILIZE COMPRESSED EARTH BLOCKS (CBO) AND COMPARE THEIR PERFORMANCE WITH RESPECT TO TRADITIONAL COMPRESSED EARTH BLOCKS

AUTHOR(S): Juan Andrés García Sequea

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: Ing. Carlos Fernando Rivera

ABSTRACT

The objective of this degree work is to demonstrate the feasibility of using polyethylene fibers as a stabilizer in compressed earth blocks; work was carried out in percentages of 2%, 4%, 6%, 8%, with crushed polyethylene fibers with a length of 100 mm and an average diameter range of 0.98 mm, finding an improvement in the physical- mechanical characteristics of BTC, when different tests were performed in the laboratory regarding resistance to compression, flexural traction, wet erosion, abrasion and linear shrinkage; As a result, the optimal mix design in which a considerable improvement was obtained was in 4%, becoming an interesting option for optimization of materials without losing the main characteristics, additionally it becomes an input for biosustainable and environmentally friendly construction; decreasing the environmental impact as a recycled material for a second use and contributing to reduce the pollution generated by the production and manufacture of bricks or clay blocks, which require oven and a high demand of carbon dioxide and energy consumption for its commercialization.

KEYWORDS:

Polyethylene fibers, earth blocks, polyethylene, stabilized BTC

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN

En el presente informe se analiza la viabilidad del uso de fibras de polietileno en bloques de tierra armada y dar composición a un bloque macizo que tiene varios usos en el sector constructor, para lo cual se realiza una serie de ensayos de laboratorio con el fin de compararlos y seleccionar el material que sea la mejor alternativa de desarrollo sostenible y ambientalmente viable.

Inicialmente se realiza un recuento de antecedentes históricos de uso de estos materiales en la construcción, lo que llevará a la descripción de los usos y formas teóricas de fabricación de este tipo de bloques amigables con el medio ambiente.

Se realiza una descripción del material usado para la fabricación de BTC que comprende las propiedades físicas y mecánicas estudiadas a partir de la extracción del material, entre las pruebas realizadas se encuentran: test de caída de bola, test de vidrio, de cordón, test de cinta, test de exudación, test de resistencia seca, test de rollo, a la vez que se describen características como el tamaño de sus partículas, color y brillo.

Posterior a la metodología de fabricación de los bloques se encuentra la etapa experimental donde se realizaron ensayos de laboratorio para definir más de sus características mecánicas, de comportamiento y de funcionalidad de los bloques, se elaboró ensayo de estancia a la compresión, tracción, abrasión, erosión, humedad y flexión mediante el cálculo del módulo de rotura y el ensayo de correlación lineal en bloques de tierra armada con adiciones de fibras de polietileno al 2%, 4%, 6% y 8% comparadas entre sí y conjuntamente con las características de un BTC tradicional, por último se encuentra un análisis de resultados de las características encontradas en el material y unas conclusiones finales. Inicialmente se describe la metodología para la caracterización del material a usar en la elaboración de los bloques y su procedimiento de fabricación.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la viabilidad del uso de las fibras de polietileno como material alternativo para estabilizar bloques de tierra comprimida (BTC), a través de un comparativo llevado a cabo a escala de laboratorio frente a bloques de tierra comprimida tradicionales, con el fin de aportar soluciones sustentables a las problemáticas medioambientales que representa este material.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar las propiedades física-mecánicas de los BTC estabilizados con los porcentajes establecidos de polietileno y compararlos con los BTC tradicional.

Implementar las fibras de polietileno en los porcentajes (0%, 2%, 4% ,6%) para establecer cuál es el diseño de mezcla óptimo de los BTC estabilizados.

Analizar los resultados de las propiedades descubiertas en los ensayos ejecutados, analizando la efectividad de la aplicación de las fibras de polietileno en la disminución de los requerimientos de consumos energéticos y liberación de CO₂ en su proceso de fabricación, con el fin de promover su desarrollo y utilidad en la disminución de impactos ambientales.

2. ANTECEDENTES

A lo largo de la historia, la tierra ha sido utilizada como materia prima en las labores de construcción, razón por la que se encuentran documentadas técnicas constructivas con barro que de más de 9.000 años. En diferentes ciudades del mundo se encuentra arquitectura construida en tierra, por ejemplo, la gran muralla china, la pirámide del sol en Teotihuacán, México; muchas viviendas coloniales en Suramérica, entre otras.

El barro, término con el que se conoce la mezcla de tierra y agua, tiene como componentes arcilla, limo y arena muy fina, a partir de los cuales se puede obtener bloques de tierra a los que se agrega grava, gravilla, tierra arcillosa obteniéndose bloques comprimidos, moldeados y cocidos; caracterizándose también por el tamaño de las partículas que van de 0,002 mm a 2 mm (Minke, 2005).

Los Bloques de Tierra Comprimida (BTC) son una mezcla de tierra, agua y estabilizante como paja, cemento, fibras sintéticas o vegetales y cal), así como un porcentaje de arena, la cual se dispone en un molde que pasa por el proceso de compresión en una prensa, lo que reduce los vacíos y aumenta la densidad del bloque, a la vez que mejora sus propiedades mecánicas; posteriormente pasa al proceso de secado al aire libre una vez desmoldado (Sitton et al, 2018)

Las características mecánicas de los bloques comprimidos pueden variar según el material utilizado para estabilizarlo, diferentes estudios reportan mejoras en la estabilidad al usar fibras como ceniza de bagazo de caña de azúcar y paja de trigo; esta última estabiliza y refuerza también el cemento OPC; al analizar las propiedades del BTC colado, los cambios encontrados fueron:

- Aumento en el contenido de aditivos con una cantidad fija de cemento reduce el valor de absorción de agua de los bloques; contrario a lo que ocurre en la mezcla, donde una proporción particular de SBA y contenido de fibra de paja de trigo de 6%, se presenta una reducción de absorción media de agua del 3%.
- La reducción de absorción de agua no tiene un efecto tan insignificante como el que tiene en el cemento.
- La adición de SBA y paja de trigo aumenta muchos pliegues debido a la resistencia a la compresión en seco.
- Optimización de la resistencia a la compresión en seco con una proporción de 8% de ceniza de base de azúcar y paja de trigo con un contenido fijo de cemento del 5%.
- Aumento en la resistencia de compresión en húmedo al aumentar el contenido de aditivo al 5% de cemento, tal como se observa en la resistencia a la compresión en seco.

- Incremento porcentual de la resistencia a la compresión en húmedo con el aumento de aditivos como SBA y paja de trigo, pero este aumento porcentual fue muy inferior en comparación con la resistencia a la compresión en seco.
- Diferencias significativas en la resistencia a la compresión en húmedo, la cual fue mayor en comparación a la obtenida con el 8% de los aditivos, lo que permite inferir que la unión del material se produce con la adición de agua debido al comportamiento puzolánico del SBA y la paja como material de refuerzo fibroso (Singh., Singh Chohan., Kumar., & K. Gupta., 2021)

El uso de cenizas volantes como estabilizador de los BTC mejora la resistencia a la compresión y durabilidad del bloque de tierra, se utilizó en las muestras ceniza volante con 28 días de curado. La resistencia mínima para alcanzar fue de 5,2 MPa, la resistencia obtenida con una adición de 10% de cenizas volantes solo fue de 1,36 MPa; y con un 15% de cenizas volantes fue de 1,27 MPa, la tasa de absorción fue de 11,43% relativamente baja en comparación a las otras muestras (14,7%). En la prueba abrasiva, el desgaste de las partículas fue de 1,02% con el 10% de cenizas volantes, valor viable de resistencia y durabilidad (Elavarasan, Priya, Raja Gurusamy, Mohamed Riyas Naveeth, & Natash, 2021)

Bloques de Tierra Comprimida (CEB) con fibras de banano que resisten fuerzas de flexión y compresión: Se concluye que los bloques construidos agregando fibras de plátano (B-CEB) a lo largo de la mezcla se desempeñaron mejor que el bloque sin fibras (CEB) tanto en resistencia a la compresión como en flexión.

- La resistencia a la compresión promedio del bloque con fibra de banano natural de 60 mm (mezcla n.º 3) y con fibras de banano de 70 mm (mezcla n.º 4) registraron las tensiones más altas con un aumento de alrededor del 71 % y 68 % respectivamente sobre CEB sin fibras.
- Los B-CEB reforzados con fibra con una longitud promedio entre 60 mm y 70 mm realizaron las tensiones más altas con un aumento significativo del 77 % y el 82 % respectivamente, en comparación con los que no se utilizó fibras.
- Todos los bloques reforzados con fibra estuvieron expuestos a rangos de deflexión en la mitad del vano entre 0,6 mm y 1 mm, dependiendo de la longitud de la fibra, mientras que los bloques no reforzados estuvieron expuestos a una deflexión máxima en la mitad del vano de 0,26 mm.
- Finalmente, el aumento en la tenacidad es posiblemente el resultado más valioso de agregar fibras de banano, ya que extendió el rango de aplicación de estos materiales a condiciones donde la tenacidad era necesaria. Si los bloques de tierra comprimida se pueden producir para cumplir con los estándares de resistencia, dureza y durabilidad, pueden ser un material de construcción versátil, asequible y ambientalmente apropiado para los sectores de la vivienda en las regiones desarrolladas y en desarrollo. (Mostafa & Nasim, 2016)

Los BTC pueden mejorar sus propiedades mecánicas al ser reforzados con cemento y fibra natural estabilizada y no estabilizada, lo cual da lugar a variedad de diseños como también una mayor resistencia a la compresión, especialmente

cuando la cantidad de cemento utilizada en la mezcla aumenta, como en el caso de los BTCE (BTC con 6% de cemento), incrementándose la resistencia en dos veces más en comparación con la observada en los BTC sin estabilizar.

Así mismo, se observa un incremento en la resistencia a la flexión entre 0,37 y 0,44 MPa en las variedades BTCE-I (BTC con 4% cemento y 0,5% de fibra de bagazo de caña) y BTCE-II (BTC con 4% de cemento y 1% de fibra de bagazo de caña) en comparación con los BTC sin estabilizar; sin embargo, fueron inferiores en los BTCE y BTCE-II, este último con una diferencia de 26% frente al primero. No obstante, todos ellos cumplen con el estándar NZS-4298 (0,3 Mpa).

A partir de lo anterior, se infiere que las propiedades mecánicas del BTC no se ven alteradas si se disminuye la cantidad de cemento tipo I utilizado en la mezcla de suelos arcillosos de baja plasticidad y fibras naturales, específicamente la resistencia a la compresión y a la flexión.

El mejor comportamiento mecánico se observó en la variedad BTCE-II, la cual podría obtener mejores beneficios en comparación con los BTCE, lo cual precisa de análisis que midan la efectividad de la fibra de bagazo de caña con cemento respecto a la durabilidad del BTC mediante la realización de pruebas de inmersión y absorción (Cabrera & Tello, 2021).

Por su parte, Barrera & Buitrago (2014), realizaron una serie de pruebas en la fabricación y reforzamiento de BTC reutilizando fibras de polisombra, con peso promedio de 7,097 kg, con proporciones mínimas de arena (40-80%), limo (0-20%) y arcilla (5-35%), siguiendo las recomendaciones brindadas en la norma NTC-4017; la cantidad de cemento utilizada estuvo entre 5 a 12%, los resultados alcanzados se relacionan en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados Investigación BTC con fibras de poli sombra

Para determinar	Tipo de prueba	Resultados	Conclusiones
Desgaste	Resistencia a la abrasión	6.96 cm ² /g	Capacidad de desgaste dentro del rango normal, superior en comparación con otros estudios.
	Fuerza de compresión húmeda	41,87 kgf/cm ²	La compresión de los bloques y el promedio alcanzado en la prueba superan el mínimo de 20 Kgf/cm ² , superior en 1,87 a otros estudios.
Absorción	Absorción de agua	6,4 kg/f/cm ²	El porcentaje de absorción de agua promedio es bueno, porque se encuentra dentro del rango máximo permitido por el estándar NTC-4017.
Densidad o compactación	Peso unitario	1.898,77 Kg/m ³	Se encuentran dentro de los rangos normales para esta técnica.

Sumado a lo anterior, se encuentra que la producción diaria de BTC puede ser de 1.000 unidades si estos cuentan con los componentes tradicionales y de 800 unidades/día al adicionarse fibras de polisombra dado que el proceso implica mayor inversión de tiempo, el tamaño recomendado de estas debe ser menor a 4 cm de longitud de tal manera que formen una especie de red de amarre en la tierra (Barrera & Buitrago, 2014)

3. MARCO TEÓRICO

Las técnicas constructivas con tierra datan de la era antigua, ejemplo de ellas se encuentran viviendas ubicadas en Turquestán construidas entre los años 800 y 600 a. de C.; cimientos de tierra apisonada en Asiria en el año 5.000 a. de C.; culturas que utilizaron la tierra para construir viviendas y obras asociadas a eventos religiosos que incluso tienen más de 3.000 años de antigüedad.

La tierra también fue material de construcción en Marruecos, China y México, en donde la técnica más utilizada fue la apisonada, como en el caso de la Muralla China, enchapada posteriormente con piedras naturales y ladrillos; y la Pirámide del Sol en México construida entre los años 300 y 900 (Minke, 2005).

De igual manera, se encuentra el uso de fibras como materiales de construcción, naturales (Colin, 2014), artificiales, sintéticas bien sean para mejorar los materiales frágiles (Claria & Vettorelo, 2010), el suelo o controlar otros aspectos: fisuración por contracción plástica, tenacidad, resistencia al impacto, con lo cual pueden obtenerse ventajas significativas desde el punto de vista tecnológico, especialmente por sus características (elasticidad, resistencia a la tensión y peso) (Vishnu, 2017).

Estudios anteriores demuestran que la aplicación de bloques de tierra comprimida incluyendo fibras naturales presentan resultados óptimos en cuanto a la resistencia y características propias de su uso, afirman que el porcentaje propicio de refuerzo de estas fibras suele ser superior al 1% con el fin de incluir mejores condiciones de permeabilidad. (Mujica, 2012)

3.1 BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDOS (BTC)

El BTC es un material de construido compuesto por una mezcla de tierra y una variedad de estabilizantes (cal, cemento, arcilla) en proporciones mínimas (generalmente un 5%), comprimido y moldeado mediante prensa mecánica, el cual es utilizado en procesos constructivos como reemplazo del ladrillo común, alternativa al bloque ecológico y más económico frente a estos, utilizado mayormente en la construcción de muros, armados manualmente a los que se adiciona materiales como pega o mortero (Arteaga, Medina, & Gutierrez, 2011).

Tabla 2. Características de los bloques de tierra estabilizados e inestabilizados

BTC	Estabilizados	No Estabilizados
Cemento Agregado	Si	No
Agua	Mas agua	Menos agua
Precio	Mayor	Menor
Propiedades mecánicas	Mas agua	Menos agua
Prensas mecánicas manuales	Si	Si
Producción en obra	Si	Si
Uso inmediato post-fabricación	Si	Si
Continuación de curado después de colocados	Si	Si
Ganancia de resistencia después de colocados	Si	Si

En cuanto a las ventajas que ofrecen los BTC estabilizados se encuentran los costos de fabricación que frente a los inestabilizados son mayores, porque requieren grandes cantidades de agua y cemento durante su proceso productivo; sin embargo, la incorporación de tecnología para generar mayor presión en arcillas de mayor plasticidad puede mejorar la calidad de los mampuestos (Viñuales, 2008).

De acuerdo con Vélez (2001), las desventajas se relacionan con el tiempo de producción porque se requieren de 2 a 3 semanas para poder utilizarlos cuando su fabricación se hace en la obra; también depende del área de pisado, prensado, secado y acopio durante el proceso de secado de las piezas, por lo cual es preciso contar con superficies horizontales limpias y protegidas evitando así que la producción sea afectada por el agua lluvia.

En las construcciones con adobes se han identificado fallas mediante chequeo de la tierra y estabilizantes utilizados, verificación de las dimensiones de las piezas, muros, estructuras, cimentación del muro portante, vigas y pilares, que buscan protegerlas del clima y humedad natural del terreno, en resumen, son las condiciones propias de las obras las que determinan la viabilidad de los procesos productivos (Velez, 2001).

De acuerdo con Santos & Montes (2010), el adobe compactado es una excelente alternativa para construir viviendas porque su uso mejora las características del suelo mediante la estabilización mecánica, obteniéndose así un material estable y ecológico de amplio uso en la construcción.

3.1.1 Contenido de agua de los suelos

El porcentaje adecuado de agua en suelos finos permite alcanzar un grado óptimo de compactación, proceso durante el cual se busca un peso específico seco máximo, donde las compresiones entre las partículas del suelo generadas por el agua presente en forma capilar en el material forma grumos difíciles de desintegrar, lo que dificulta el proceso de compactación; es decir que a mayor humedad menor tensión capilar en el agua, y por tanto, mejor compactación (Morales Ortiz & Alvarez, 2007).

3.1.2 Formas y dimensiones de los BTC

Las dimensiones de los adobes pueden variar, no obstante, su longitud no puede superar la suma del doble de su ancho y el espesor de una junta de pega, por tanto, la dimensión máxima es de 40 cm para longitud y ancho, su altura máxima de 14 cm, la relación entre longitud y altura de 4 a 1 aproximadamente, de manera que se logre una unión horizontal de 2:1, lo que brinda mayor seguridad ante el efecto de corte producido por los sismos.

3.2 MOLDEO

El tipo de moldeo empleado es el tradicional, en el cual se utilizan moldes sin fondo, con técnica de vaciado directo de la mezcla sobre el tendal, se puede realizar empleando moldes con fondo lo que brinda mayor uniformidad, resistencia y presentación.

3.2.1 Máquina de tipo CINVA – RAM

La máquina tipo CINVA-RAM se utiliza en la fabricación de adobes artesanales, su nombre se origina por la combinación del Centro Interamericano de Vivienda (CINVA) y las primeras tres letras del apellido de su desarrollador Raúl Ramírez.

3.2.2 Murete

El murete se elabora a partir de BTC, aplicado solo en estructuras de 1 o 2 pisos, aunque los BTC son secados al aire libre y no presentan un alto grado de resistencia, los estudios actuales buscan que este material alcance el mismo nivel de uso del ladrillo normal.

3.3 COMPACTACIÓN

La compactación es el proceso de disminución de vacíos que optimiza las características del suelo y es el resultado de la acción mecánica de los equipos de compactación, esto es, mayor capacidad de carga y densidad del suelo con lo que se brinda una mejor distribución de fuerzas resultantes de la carga transmitida al suelo de forma directa (Estabilización de suelos, 2012)

3.3.1 Resistencia a la compresión

De acuerdo con Santos & Montes (2010), al aplicarse un conjunto de fuerzas a un sólido deformable o medio continuo se genera flexión, cizallamiento o torsión que disminuye su volumen, la respuesta a esta acción se conoce como resistencia a la compresión y las tensiones generadas en dicho sólido se le denomina esfuerzo de compresión. La fuerza que actúa sobre el material del sólido acorta la pieza en dirección al baricentro.

Aplicaciones recientes en varias partes del mundo demuestran la efectividad del uso de estos bloques en la construcción como una alternativa muy viable y ecológica además de económica, además de presentar una ventaja sobre los muros igualmente en tierra comprimida y es que controlan las condiciones de humedad y acumulación de calor, pueden ser fabricados in-situ y además tiene un gasto energético del 1% comparado con la producción de un ladrillo convencional. (García, 2022), entre las ventajas mencionadas anteriormente se encuentran unas adicionales como es el caso del uso de estos bloques como fachada sin necesidad de un acabado o revoque lo que disminuye de manera significativa los costos de producción y de construcción; además de controlar de mejor manera la temperatura y la humedad se puede aumentar la producción considerablemente ya que no necesita horno y se pueden fabricar para múltiples usos. (Infopico, 2020)

Tras el sismo de 2017 en México, estos bloques lograron un uso significativo en más de 150 proyectos de reconstrucción de vivienda, respaldados por la fundación PienZa Sostenible, conocidos como “Eco locks” con los cuales se construyó una casa en Malinalco (Vergara, 2022).

Ahora bien, en Colombia, ante la preocupación por el cuidado del medio ambiente, entidades gubernamentales como el Ministerio de Vivienda han considerado a reglamentación de la VIC (Vivienda de Interés Cultural) abordando el concepto de biosostenibilidad, uno de los primeros modelos para casas culturales se construyó con BTC en Tibasosa, Boyacá, combinada bloques de tierra comprimida con barro, teja, madera y bahareque. (Chamorro, 2021)

3.3.2 Norma Técnica Colombiana NTC-5324

La norma NTC-5324 describe las especificaciones técnicas con las cuales deben fabricarse los bloques de suelo cemento destinados para la construcción de muros y divisiones, igualmente incluye las técnicas de ensayo que verifican su cumplimiento y condiciones de entrega (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC, 2004).

3.4 ADICIÓN DE FIBRAS A LOS BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDOS

El uso de fibras en BTC contrarresta la aparición de fisuras, función que se extiende en el tiempo, convirtiéndola en una estructura flexible ante los movimientos sísmicos.

3.5 POLIETILENO

Material plástico formado a partir de una cadena lineal y repetitiva de átomos de carbono e hidrógeno, polímero simple con una producción cercana a los 80 millones de toneladas anuales, caracterizado por su bajo costo y procesado por diferentes métodos de los que se derivan diferentes reacciones que permiten su obtención, descubierto por el químico alemán Hans von Peachmann en 1898 y posteriormente por Gibson y Fawcett en 1933, conocido este último como polietileno de baja densidad; y el de mayor densidad descubierto años después por Ziegler y Natta, a quienes se les otorgó el Premio Nobel de Química en 1963 (Ondarse, 2021)

4. METODOLOGÍA

El propósito principal del proyecto es determinar la viabilidad de las fibras de polietileno como material alternativo para estabilizar Bloques de Tierra Comprimida (BTC), para lo cual se comparan los bloques de tierra comprimida tradicionales como una forma de buscar alternativas sustentables a las problemáticas medioambientales que representa este material.

Como se observa en la figura 2, la primera fase comprende la caracterización del material extraído aplicando los ensayos de laboratorio propuestos en la Guía Técnica de Construcción en Tierra, un total de nueve (9) pruebas que ayudaron a determinar la viabilidad de este.

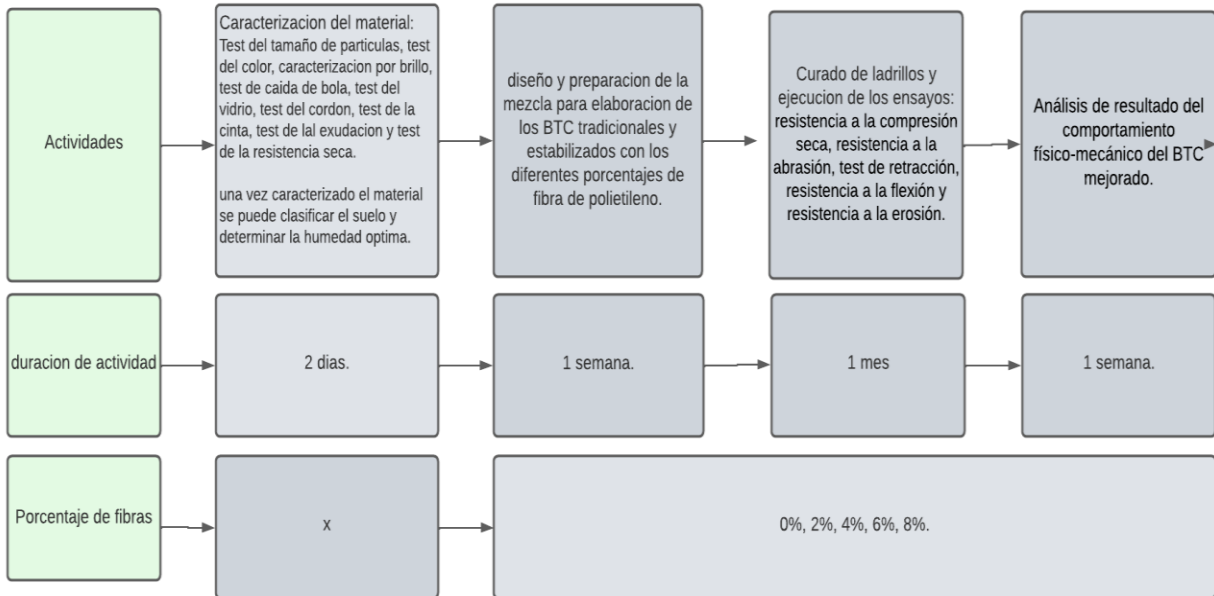


Figura 1. Diagrama de flujo - Metodología del trabajo

4.1 DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL MATERIAL

Para la determinación de estas propiedades inicialmente se realiza una selección del material a usar y es sometido posteriormente a un proceso de secado y de tamizado con el fin de identificar las muestras para su correcta caracterización, posterior a tener las muestras listas se lleva a cabo la realización de diferentes test para determinar las características físicas que se muestran a continuación:

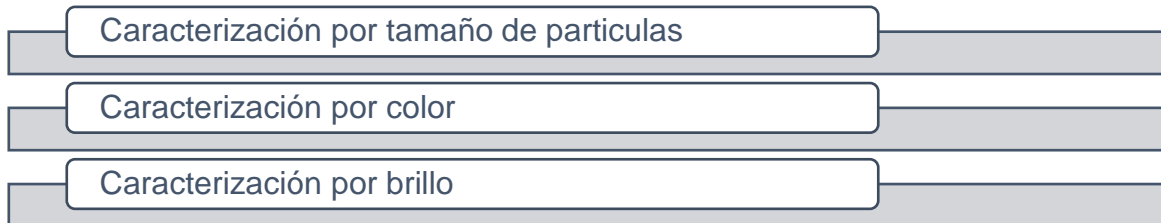


Figura 2. Test propiedades físicas

Posteriormente se realizan ensayos de caracterización en laboratorio para la determinación de las propiedades mecánicas del material extraído para la elaboración de los bloques en tierra armada, estos se muestran en la siguiente figura:

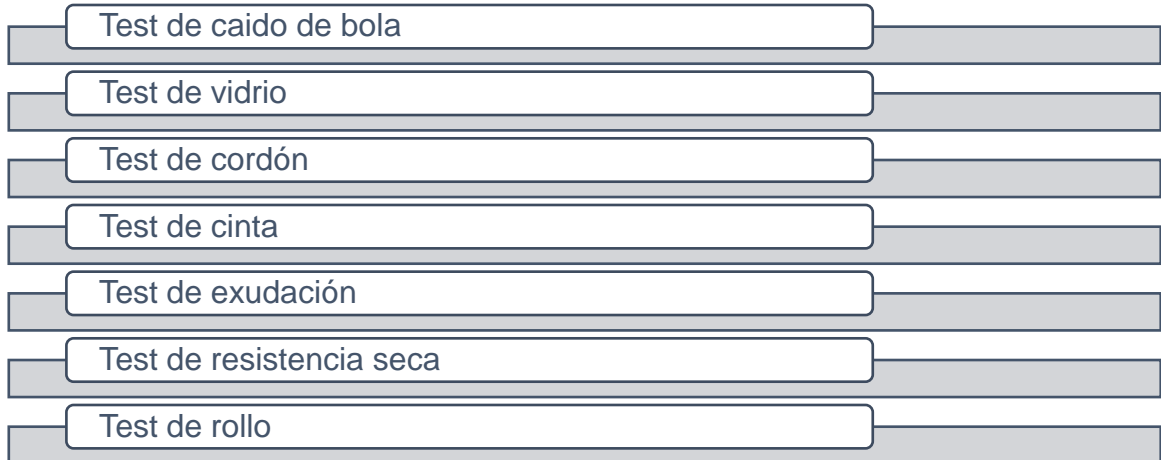


Figura 3. Test propiedades mecánicas

Mediante la elaboración de estas pruebas se podrán determinar las características del material y así poder dar una descripción acertada del material y así poder continuar con la metodología para la fabricación de los bloques.

4.1.1 Descripción del material

Los resultados de laboratorio obtenidos con la aplicación de los diferentes tests comprendidos en la Guía de Laboratorio, las cuales ayudaron a determinar la viabilidad del material para la fabricación de bloques de tierra comprimida tras la comparación de estos con los tradicionales, observando sus ventajas sostenibles y económicos, el primer paso fue la extracción del material de la cantera y determinar sus propiedades físicas y mecánicas, información relevante para los ensayos de laboratorio, en la tabla 3 se describen las características de la muestra.

Tabla 3. Caracterización del material

Nombre de la muestra	Tierra elaboración BTC
Localización	Universidad Pontificia Bolivariana, UPB
Fecha de colecta	1 de abril
Fecha de ejecución	2 de abril
Observaciones	Por la lluvia la muestra se encuentra con alto contenido de humedad

Para la preparación del material y posterior etapa experimental, es necesario que la muestra sea sometida previamente a proceso de secado y tamizado con el objetivo de homogenizar partículas, como se enseña en las imágenes 1, 2 y 3.



Imagen 1. Tamizado de muestra



Imagen 2. Secado de muestra



Imagen 3. Tamizado y secado de muestra

La región pasó por una época de lluvias, razón por la cual el material extraído se encontraba húmedo, procediéndose al tamizado y secado del mismo.

4.1.2 Caracterización del material

Caracterización por tamaño de las partículas: Esta prueba permite conocer la homogeneidad del material que conformara el bloque y así disminuir la presión de poros o vacíos.



Imagen 4. Material seleccionado-Test tamaño de partículas

Es aplicado mediante inspección visual, de esta manera se pueden separar las partículas que pudieron haber quedado retenidos luego del proceso de tamizaje, se procedió posteriormente a ubicar la tierra seca en una superficie plana, separándola las partículas de mayor tamaño con las manos, de las que no lo tienen, los resultados de la prueba táctil y visual se relacionan en la tabla 4.

Tabla 4. Test de tamaño de partículas

Test táctil visual	Marque con X	Clasificación
Limos y arcillas > Arena y grava	X	Limosa o arcillosa
Limos y arcillas < Arena y grava		Arenosa

De acuerdo con los resultados, se puede decir que la tierra es adecuada para la construcción, teniendo en cuenta su clasificación como limosa o arcillosa.

Caracterización por color: La realización de este test se hace con la finalidad de dar caracterización física del material a utilizar para la elaboración de los bloques.

Tabla 5. Test de color

Marque con X	Color	Característica
X	Claros y brillantes	Suelo inorgánico
	Café oscuro, verde oliva o negro	Suelo orgánico

La observación de la muestra permitió determinar que el color de esta es clara y brillante, característico del suelo orgánico.

4.1.3 Caracterización por brillo

Se da caracterización por brillo con el fin de llevar una adecuada y más detallada descripción de la muestra, como se muestra en la imagen 5.



Imagen 5. Caracterización por brillo

La prueba consistió en la toma de material fino del suelo y amasar aplicando agua de modo que el tamaño de la bola formada sea igual al de la mano, luego al cortarla por la mitad y observar la superficie se encontró que esta presenta un poco de brillo, característico de suelos limosos, los resultados se aprecian en la tabla 6.

Tabla 6. Caracterización por brillo

Tipo de superficie	Marque con una X	Clasificación
Brillante		Arcillosa
Poco brillo	X	Limosa
Opaca		Arenosa

4.1.4 Ensayos de caracterización en laboratorio

Test caída de bola: La preparación de la muestra se realizó separando la porción tierra seca y humedeciéndola para formar una bola de diámetro entre 3 a 4 cm.



Imagen 6. Test de caiga de bola

El ensayo consistió en tomar la muestra y dejándola caer de una altura de 1m posteriormente, se determinó que esta no presenta fisuras, lo que quiere decir que tiene mayor contenido de arcillas, los resultados se aprecian en la tabla 7.

Tabla 7. Caracterización de Test de caída de bola

Fisuras después de la caída	Marque con una X
Ninguna	X
Algunas	
Muchas	
Desintegración total	

Test de vidrio: Inicialmente se secciona la muestra en capas de dimensiones determinadas en altura como se muestra en la tabla 8.

Tabla 8. Datos test de vidrio

Altura [cm]	Porcentaje
h1	Arena
h2	Limo
h3	Arcilla

Preparado el recipiente se llenó de tierra seca hasta 1/3 de su altura, al cual se adicionó agua hasta 2/3 de la altura del vidrio, se agitó, se dejó en reposo por 1 hora para nuevamente agitar pasado este tiempo y repetir el tiempo de reposo, por último, se tomó la altura de las capas.

$$\left(\frac{h_1}{h_3}\right) * 100\% = 31,2\% \text{ arena}$$

$$\left[\frac{(h_2 - h_1)}{h_3}\right] * 100\% = 25\% \text{ limos}$$

$$\left[\frac{(h_3 - h_2)}{h_3}\right] * 100\% = 43,75\%$$

En la imagen 7 se puede visualizar como se realizó el ensayo, posterior se procede a dar clasificación al suelo mediante la gráfica que se encuentra en la figura 5.



Imagen 7. Test de vidrio.

Mediante los diagramas indicativos de uso de la tierra por test de vidrio se observa que es una arcilla.

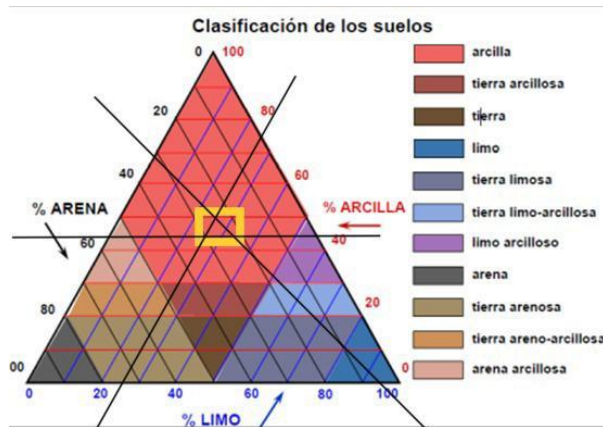


Figura 4. Clasificación de suelos

Fuente: Voth Boden, Distribución granulométrica expresada en un diagrama trilateral

Test del cordón: Consiste en dar forma a la bola hasta llegar a su punto de fractura teniendo en cuenta la manejabilidad de la muestra para así poder determinar la resistencia del material.

Tabla 9. Caracterización Test del cordón

Marque con una X	Tipo del cordón	Ruptura de la bola	Clasificación e interpretación
	Duro	Solo se puede quebrar la bola con mucho esfuerzo o no se quiebra	Demasiada arcilla; tierra de alta plasticidad
X	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.

De acuerdo con la tabla 9, la prueba se caracteriza por ser poco resistente, se fisura y desmorona fácilmente, característico de tierra arcillo limosa, arenosa o areno-arcillosa y por tanto de plasticidad mediana.

Test de la cinta: Consiste en adelgazar la muestra en forma alargada de determinada longitud con las manos hasta dar forma a una cinta hasta que se fracture o rompa, tal como se enseña en la imagen 9 y 10.



Imagen 8. Formación de la cinta



Imagen 9. Fractura en Test de cinta

La caracterización de esta prueba y resultados se describen en la tabla 10.

Tabla 10. Interpretación Test de cinta

Marque X	Tipo de la cinta	Comportamiento de la cinta
	Es posible formar una cinta de 25 a 30 cm sin dificultad	Mucha arcilla; tierra de alta plasticidad
X	Es posible formar una cinta de 5 a 10 cm con dificultad	Tierra arcillo-limosa, arenosa o arenos-arcillosa; plasticidad mediana
	No se hace la cinta	Bastante limo o arena y poca arcilla, sin plasticidad

Test de exudación: El test consiste en aplicar agua a la muestra, dar una serie de golpes para ver su comportamiento, su reacción al golpeteo puede presentarse de manera rápida o lenta, en la imagen 11 se muestra el desarrollo experimental del test.



Imagen 10. Test de exudación

La interpretación de los resultados para el caso de esta muestra se puede apreciar en la tabla 11.

Tabla 11. Caracterización con Test de exudación

Marque con una X	Tipo de reacción	Número de golpes	Efecto en la muestra	Clasificación interpretada
	Rápida	5 a 10	El agua aflora a la superficie de la muestra; la presión de los dedos hace desaparecer de manera inmediata el agua superficial que brota de la muestra, a mayor presión se observa aplastamiento de la torta	Poca plasticidad; arena fina inorgánica o limo grueso inorgánico; tierra arenosa o limosa.
X	Lenta	20 a 30	Al presionar con los dedos se observa deformación de la torta similar a una masa de caucho, lo que hace que el agua aparezca y desaparezca lentamente.	Limo ligeramente plástico o limo arcilloso
	Muy lenta	Más de 30	Sin cambios significativos	Tierra de alta plasticidad, arcilla

Como se observa en la imagen 12, la muestra se deformó por tanto se clasifica como limo, ligeramente plástico.

Test de la resistencia seca: El test consiste en elaborar “monedas” en estado húmedo y analizar su comportamiento al secarse, se muestra en las imágenes 12 a 14.



Imagen 11. Test de la resistencia seca inicial



Imagen 12. Test de la resistencia seca media



Imagen 13. Test de la resistencia seca final

Los resultados e interpretación de este test se encuentran en la tabla 12.

Tabla 12. Caracterización por Test de resistencia seca

Marque con una X	Resistencia	Esfuerzo de ruptura	Comportamiento	Clasificación e interpretación
	Grande	Resistente	No se pulveriza	Suelo inorgánico de alta plasticidad, arcilla
X	Mediana	Poco resistente	Es posible reducir los pedazos a polvo	Tierra arcillo-limosa, tierra arcillo-arenosa o arena arcillosa
	Poca	No resistente	Fácil disgregación	Falta de cohesión. Suelo arenoso, limoso inorgánico u otro con poca arcilla

Test de rollo: Consiste en elaborar con las manos teniendo presente la longitud de este como se muestra en la imagen 14 y determinando a que longitud se rompe para dar interpretación.



Imagen 14. Test de rollo

La interpretación de los resultados de elaboración de este test, está consignada en la tabla 13.

Tabla 13. Caracterización por test de rollo

Marque con una X	Ruptura del cordón	Interpretación
	Menos de 80 mm	No hay suficiente arcilla
X	Entre 80 y 120 mm	Arcilla en cantidad ideal.
	Mayor a 120 mm	Exceso de arcilla

4.2 DETERMINACIÓN DE DISEÑO DE MEZCLA

La fabricación de bloques de tierra armada (BTC), se realizó con especímenes de características tradicionales y luego se fabricaron probetas de acuerdo con diferentes dosificaciones de fibras de polietileno, se comparó el BTC tradicional con adiciones de 2%, 4%, 6% y 8%.

La cantidad de probetas a ensayar en las diferentes pruebas de laboratorio fueron 12 tradicionales y 48 bloques con adición de polietileno, posterior a la fabricación se hicieron pruebas específicas en las que se obtuvieron resultados con características específicas que determinaron las condiciones de comportamiento y funcionalidad del material.

Una vez realizada la metodología preliminar descrita en la figura 5 se aplica el proceso metodológico que se caracteriza por ser un procedimiento cíclico y repetitivo el cual se puede resumir en el siguiente proceso:

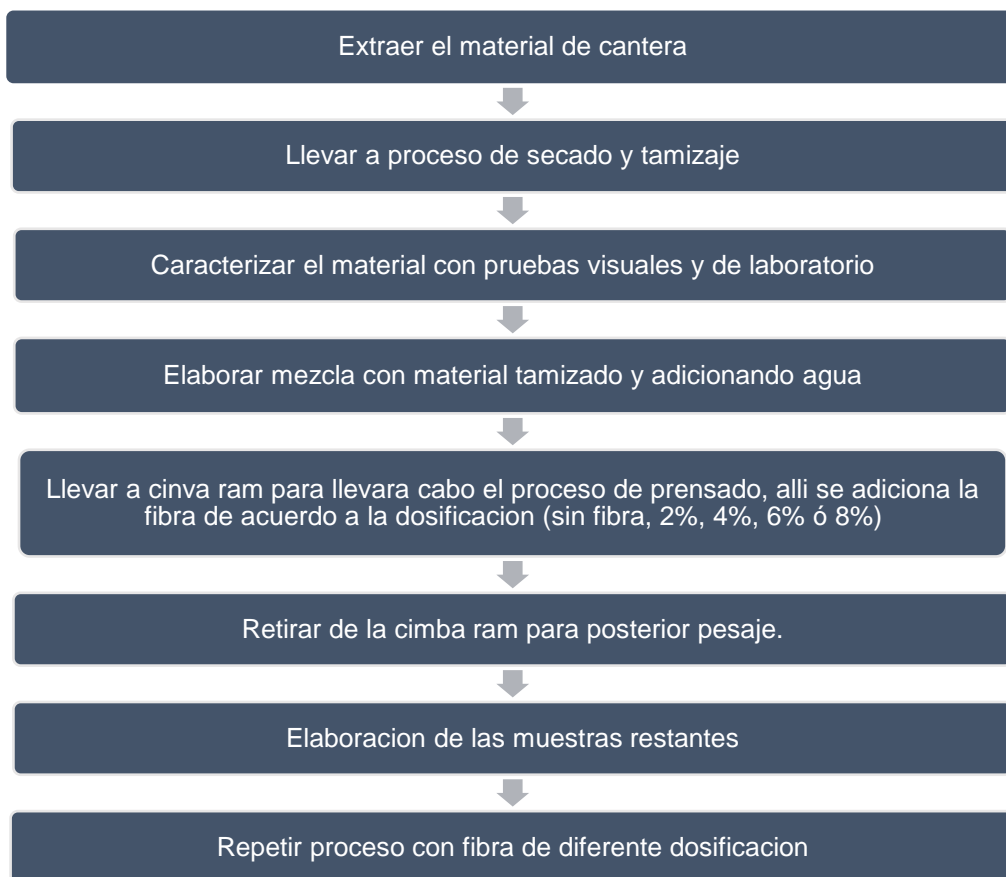


Figura 5. Metodología de fabricación de BTC

Para la elaboración de los bloques de tierra comprimida adicionada con polietileno triturado, se realizan 5 tipos de muestras (BTC0 a BTC4) con dosificaciones de 2%, 4%, 6% y 8% de aditivo y una cantidad de 12 unidades, tal como se muestra en la tabla 14.

Tabla 14. Cantidad de unidades de BTC

Identificación de los Bloques	Condición	Cantidad de Muestras
BTC0	Bloques de tierra comprimida de control, sin aditivo	12 Bloques
BTC1	Bloques de tierra comprimida con 2% de aditivo agregado	12 Bloques
BTC2	Bloques de tierra comprimida con 4% de aditivo agregado	12 Bloques
BTC3	Bloques de tierra comprimida con 6 % de aditivo agregado	12 Bloques
BTC4	Bloques de tierra comprimida con 8 % de aditivo agregado	12 Bloques

4.2.1 Extracción del material

En la imagen 15 se aprecia como se llevó a cabo el proceso de extracción de material para la fabricación de los ladrillos con adición de fibra de polietileno, material extraído en la Universidad Pontificia Bolivariana



Imagen 15. Extracción de material de cantera

4.2.2 Secado y tamizaje

En la imagen 16 se aprecia la separación de partículas según su tamaño por el método de tamizado y en la imagen 17 se encuentra explicado de manera grafica como se llevó a cabo el proceso de secado del material de sus condiciones naturales.



Imagen 16. Tamizaje material



Imagen 17. Secado del material

La región en el momento de extracción de la muestra se encontraba en época de lluvia, razón por la cual el material se encontraba en condiciones altas de humedad y contenido de agua, por esto se llevó a cabo proceso de tamizado y secado en uno solo.

4.2.3 Caracterización del material

Este paso para la fabricación de BTC se llevó a cabo una vez la cantidad de muestra necesaria para la elaboración de la totalidad de muestras fue extraída en donde se realizaron los diferentes test de caracterización y pruebas de laboratorio que se describieron en el capítulo 6 de este informe, generando como resultado final un suelo arcillo limoso por sus propiedades físicas y mecánicas interpretadas en cada prueba realizada.

4.2.4 Elaboración de la mezcla

Tenido en cuenta el tamizaje del material, se adiciona agua hasta obtener el porcentaje óptimo de humedad que se verifica de manera visual y mediante el ensayo de bola donde se establece la homogeneidad de la mezcla, como se muestra en la imagen 18.



Imagen 18. Elaboración de la mezcla

Se realizó adición de fibras de polietileno de alta densidad, con longitud de fibras de 100mm con un rango promedio de diámetro de 0.98 mm y con pesos específico de 0.95 g/cm³

Las dimensiones antes mencionadas se obtienen naturalmente de la trituración del material y son dimensiones promedias ya que el tamaño entre partículas varía. se pueden visualizar en la imagen 19.



Imagen 19. Fibras de polietileno

4.2.5 Prensado en CINVA-RAM

Este paso consiste en llevar el material a la maquina y realizar el proceso de prensado teniendo en cuenta si presenta aditivo sintético o no, como se planteó en los objetivos.



Imagen 20. Prensado en Cinva Ram



Imagen 21. Ladrillo prensado

La máquina donde se lleva a cabo la fabricación de los bloques (Cinva Ram) tiene unas dimensiones de 30x15x12 centímetros y se pueden observar en las imágenes que aparecen a continuación:



Imagen 22. Cinva Ram



Imagen 23. Dimensiones Cinva Ram

BTC convencional: Para la fabricación del ladrillo o bloque de tierra comprimida convencional, se llevó a la Cinva Ram para ser prensada sin ningún tipo de aditivo y adición de fibra sintética. En las imágenes 24 y 25 se observa cómo se llevó a cabo el proceso de fabricación del ladrillo convencional y el resultado final del BTC convencional respectivamente.



Imagen 24. Fabricación BTC convencional



Imagen 25. Resultado BTC convencional

BTC 2% de adición sintética: para la determinación de la cantidad de fibra de polietileno se tuvo en cuenta la siguiente ecuación:

$P_b * 4 = 39 \text{ Kg}$
 $39 \text{ Kg} * \% \text{fibra} = \text{Cantidad de fibra}$

Donde:

P_b=Peso del balde de medida (9.72 Kg)

% fibra= Porcentaje de fibra de polietileno a adicionar (2%)

En la imagen 26 se visualiza la cantidad de fibra de polietileno correspondiente al 2%, en la imagen 27 se observa la mezcla con su respectiva adición de fibra sintética, así mismo en las imágenes 28 y 29 se muestra el resultado de la fabricación de BTC con adición de fibra al 2% y el resultado de las unidades fabricadas respectivamente.



Imagen 26. Fibra polietileno 2%



Imagen 27. Mezcla con fibra al 2%



Imagen 28. Fabricación BTC 2%



Imagen 29. Resultado final BTC 2%

BTC 4% de adición sintética: para la determinación de la cantidad de fibra de polietileno se tuvo en cuenta la siguiente ecuación:

$$P_b * 4 = 39\text{Kg}$$

$$39 \text{ Kg} * \% \text{fibra} = \text{Cantidad de fibra}$$

Donde:

P_b=Peso del balde de medida (9.72 Kg)

% fibra= Porcentaje de fibra de polietileno a adicionar (4%)

En la imagen 30 se muestra la mezcla con la adición de fibra sintética del 4% con el adecuado contenido de humedad para llevar a su prensado en la Cinva Ram y en la imagen 31 se muestra el procedimiento de lubricación o engrasado de los moldes donde se ubica la muestra para la fabricación como tal del ladrillo.



Imagen 30. Mezcla con fibra al 4%



Imagen 31. Lubricación de moldes

En la imagen 32 se muestra el resultado de la fabricación del BTC con fibra adicionada del 4% y en la imagen 33 el resultado final de la fabricación y las unidades especificadas en la tabla 15.



Imagen 32. Fabricación BTC 4%



Imagen 33. Resultado final BTC al 4%

BTC 6% de adición sintética: para la determinación de la cantidad de fibra de polietileno se tuvo en cuenta la siguiente ecuación:

$$P_b * 4 = 39 \text{ Kg}$$

$$39 \text{ Kg} * \% \text{fibra} = \text{Cantidad de fibra}$$

Donde:

P_b=Peso del balde de medida (9.72 Kg)

% fibra= Porcentaje de fibra de polietileno a adicionar (6%)

En la imagen 34 se muestra la cantidad de fibra sintética de polietileno a adicionar a la mezcla de tierra para su posterior proceso de prensado, en la imagen 35 se puede apreciar el resultado de la fabricación del ladrillo con fibra adicionada del 6% con su peso, de la misma manera siguiendo especificaciones de la tabla 15 en cuanto a cantidades de unidades fabricadas.



Imagen 34. Cantidad de fibra al 6%



Imagen 35. Fabricación BTC al 6%

BTC 8% de adición sintética: para la determinación de la cantidad de fibra de polietileno se tuvo en cuenta la siguiente ecuación:

$$P_b * 4 = 39 \text{ Kg}$$

$$39 \text{ Kg} * \% \text{fibra} = \text{Cantidad de fibra}$$

Donde:

P_b=Peso del balde de medida (9.72 Kg)

% fibra= Porcentaje de fibra de polietileno a adicionar (8%)

En la imagen 36 se aprecia el resultado de la mezcla de tierra con fibras sintéticas de polietileno a una cantidad del 8%.



Imagen 36. Mezcla con fibra al 8%

En la imagen 37 es posible observar el resultado de la fabricación de BTC con adición de fibra al 8% y en la imagen 38 se aprecia la fabricación de unidades totales de ladrillos o bloques de acuerdo con la cantidad establecida en la tabla 15.



Imagen 37. Fabricación BTC al 8% Imagen 38. Resultado final BTC al 8%

El resultado final fue de 12 unidades de bloques de tierra comprimida convencionales o tradicionales con material arcillo-limoso y de 48 unidades de bloques de tierra comprimida con adiciones de diferente porcentaje de fibra sintética de polietileno.

4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS E IMPACTO AMBIENTAL

En cuanto a la determinación del impacto ambiental y requerimientos de consumos energéticos y consumo de oxígeno se basa en la búsqueda bibliográfica y exposición de comparación de fabricación y caracterización de este tipo de bloques en tierra armada y como es una de las alternativas de construcción ecológicas y amigables con el medio ambiente, adicionalmente se calcula la demanda de mampuestos por metro cuadrado de muro para terminar con un cuadro de efectos sinérgicos.

ENSAYOS DE LABORATORIO

Para determinar las características de los materiales se realizan una serie de ensayos de laboratorio, los cuales permiten determinar sus propiedades, al igual

que las propiedades mecánicas del elemento ya armado y fabricado como material de construcción, estos ensayos se muestran en la figura 6.

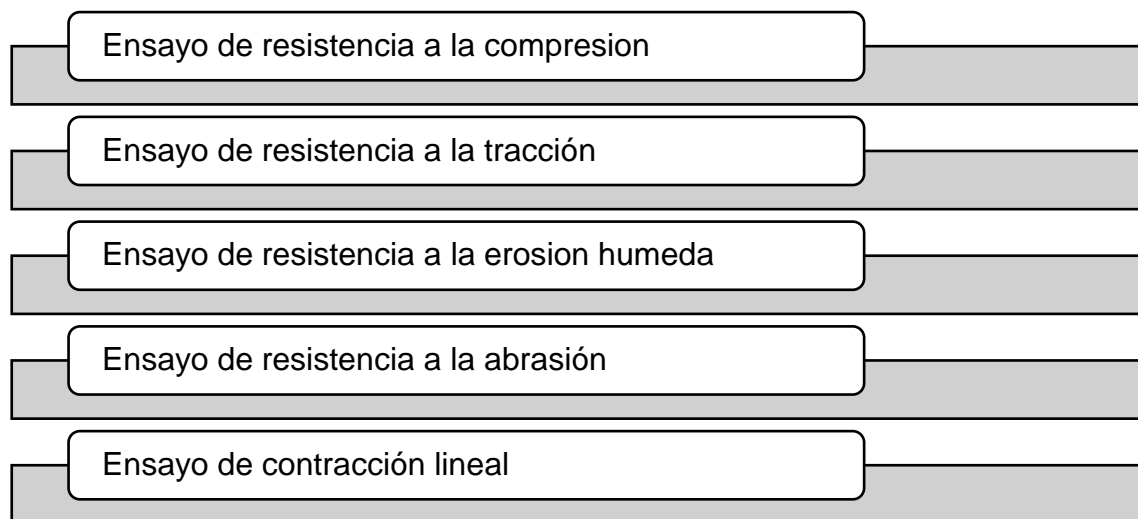


Figura 6. Tipos de ensayo

Tabla 15. Ensayos realizados a BTC en etapa experimental

Nombre del ensayo	Norma Referencia
Resistencia a la compresión	NTC 5324
Resistencia a tracción por flexión – Modulo de rotura	IRAM 12734, NZS 4298
Resistencia a la erosión húmeda	UNE 41410, NZS 4298, MX-C-508-ONNCCE
Resistencia a la abrasión	VN - E21 – 66, XP P13-901, NTC 5324
Correlación lineal (Retracción)	NZS 4298

Ensayo de resistencia a la compresión: Consisten en la aplicación de fuerza mediante una prensa donde se aplica la carga necesaria para que se presente su falla, para el caso de BTC la norma sugiere posicionar el elemento en forma vertical como se ve en la imagen 38, con el fin de obtener resultados más aproximadas al comportamiento y posición real que tendrían los bloques en su aplicación constructiva.

Al aplicar la norma de este ensayo se obtiene además de los datos de compresión de las probetas ensayadas, se determina el esfuerzo de rotura mediante la ecuación:

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

Donde:

R= Esfuerzo de rotura

C= Carga de rotura

S_b = Sección bruta mínima del bloque

Ensayo de resistencia a la tracción por flexión: Para la determinación del módulo de rotura, se realizan los siguientes cálculos:

$$f_k = \left(1 - 1.5 * \frac{S}{f_{prom}} \right) * f_{min}$$

Donde:

f_k = el módulo de rotura característico de la muestra, en MPa

f_{prom} = la resistencia media a compresión, determinada con la siguiente formula, siendo n el número de probetas ensayadas (al menos 5).

$$f_{prom} = \frac{\sum f_k}{n}$$

La desviación estándar de la muestra, en MPa, determinada mediante la fórmula:

$$S = \frac{\sum (\sigma_i - \sigma_{prom})^2}{n - 1}$$

Ensayo de resistencia a la erosión húmeda: El objetivo del ensayo es establecer la erosión que puede generarse producto de factores o agentes climáticos como las lluvias, la humedad, la precipitación es en bloques elaborados con tierra que están expuestos a condiciones extremas como en muros de fachada, exteriores o perimetrales.

Ensayo de resistencia a la abrasión: Consiste en realizar un cepillado a la probeta y tomar el dato de medición de su masa antes y después del cepillado, el cálculo del área de la superficie cepillada se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$S = (L * l) * 0.01$$

Donde:

S = Superficie cepillada, en cm^2
 L = Largo de la probeta, en mm
 l = Ancho de la cepillada, en mm

Posterior a esto se calcula en coeficiente de abrasión mediante la ecuación que se muestra en seguida:

$$C_a = \frac{S}{m_{\text{inicial}} - m_{\text{final}}}$$

C_a = Coeficiente de abrasión en, cm^2/g
 S = la superficie cepillada, en cm^2
 m_{inicial} = la masa inicial de la probeta antes, en g
 m_{final} = la masa final de la probeta luego del ensayo, en g

Ensayo de contracción lineal: Mediante este ensayo se determina la retracción por secado de las mezclas para los bloques armados, consiste en elaborar mezclas con porciones adecuadas y contenido de humedad óptimo, se colocan las muestras en moldes se apisona, se conserva la muestra húmeda por un periodo de 7 días y posteriormente se lleva a proceso de secado por 21 días.

Se calcula mediante la aplicación de las ecuaciones presentadas a continuación:

$$C_i = \left(\frac{X_1 + X_2}{600} \right) * 100$$

Donde:

C_i = Contracción lineal de cada muestra, en %
 X_1 = Contracción del extremo izquierdo de la muestra, en mm
 X_2 = Contracción del extremo derecho de la muestra, en mm

$$C_{\text{prom}} = \frac{\sum C_i}{n}$$

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DEL MATERIAL

De acuerdo con la elaboración de los distintos tests del capítulo 5 de este informe, se realiza un resumen de la interpretación de los resultados y se da una caracterización final del material teniendo en cuenta la tabla 16 y la figura 7.

Tabla 16. Tipo de suelo y técnica constructiva (adaptación CEPED. 1984)

Test cordón	Test cinta	Test exudación	Test resistencia	Tipo de tierra	Técnica constructiva
Cordón frágil o resistencia nula	Cinta corta o no se consigue hacer cinta	Reacción rápida a lenta, pero jamás muy lenta	Poca o nula, generalmente nula	Arenosa, areno-limosa, areno-arcillosa, limo-arcillosa	Ladrillo prensado, adobe y tierra compactada
Cordón frágil a blando	Cinta corta	Reacción lenta a muy lenta	Poca a mediana	Limosa	Utilización más difícil que las tierras anteriores, más posible con el uso de un aglomerante
Cordón blando	Cinta corta a larga	Reacción muy lenta o sin reacción	Mediana a grande	Arcillosa con grava, arcillo-arenosa y arcillo-limosa	Tierra compactada o ladrillo prensado con aglomerante
Cordón duro	Cinta larga	Sin reacción	Grande	Arcillosa	Fabricación de adobe con adición de fibras y embarrado de técnicas mixtas

De acuerdo con la tabla 16 y los resultados de los test realizados, analizados e interpretados, la muestra estudiada se caracteriza por la formación de cordón blando, cinta de larga a corta reacción por exudación muy lenta, resistencia de mediana a grande, por lo cual se clasifica como un suelo arcillo-limoso debido a su

caracterización y por tanto su aplicación se puede realizar en tierra compactada o ladrillo prensado con aglomerante.

IDENTIFICACIÓN	TEST DEL CORDÓN	TEST DE EXUDACIÓN	TEST DE RESISTENCIA SECA	TÉCNICA RECOMENDADA	ESTABILIZANTE IDÓNEO
TIERRA ARCILLOSA Y TIERRA LIMOSA					
Limo y limo arcilloso	cordón frágil, no hace la bola	reacción rápida a lenta, pero no muy lenta	poca o nula, generalmente nula	apto para todo tipo de técnica, especialmente el BTC	Cemento portland, puede afectarse por temperaturas bajas
limo.	cordón blando de resistencia mediana, bola muy frágil	reacción lenta a nula	poca o mediana	evitar usar; si es necesario, adicionar aglomerante y revestir la superficie	cemento portland ó emulsión asfáltica de baja viscosidad
Arcilla con grava, arcilla arenosa y arcilla limosa	cordón blando de resistencia mediana, bola frágil, se fisura	reacción muy lenta o nula	mediana grande	apropiado para BTC y tapia, necesita aglomerante	Corregir granulometría, usar impermeabilizante
Arcilla y arcilla plástica	cordón duro, bola no se fisura	sin reacción	grande	Apropiado para adobe y técnicas mixtas	paja u otro tipo de fibras
Limo orgánico y arcilla limosa orgánica	cordón frágil y esponjoso, bola	lenta	poca o mediana		no usar
Arcilla orgánica	esponjosa	Reacción muy lenta a nula	mediana grande		
TIERRA ARENOSA					
Arena limosa	Cordón frágil, no hace bola	Reacción rápida.	Poca o nula, generalmente nula	Apto para todo tipo, especialmente BTC, si tiene mucha arena, agregar arcilla y estabilizar con aglomerante	Cemento portland o cal, o los dos combinados. Corregir granulometría, si es necesario
Arena arcillosa	cordón blando de resistencia mediana, bola muy frágil	reacción lenta a muy lenta	mediana.	Apto para todo tipo, especialmente BTC, si tiene mucha arena, agregar arcilla.	Cemento portland o cal, o los dos combinados. Corregir granulometría, si es necesario
Arena	no funciona			no es apto	
TIERRA CON GRAVA					
Grava limosa, mezcla de gravas, arena y limos	no hace cordón	rápida	nula	conveniente si la grava no es muy gruesa; usar para adobe y monolíticos	cemento portland, usar cal como impermeabilizante
Grava arcillosa, mezcla de gravas, arena y limos	no hace cordón	lenta a muy lenta	mediana	Adobe y monolíticos	Cal, usar emulsión asfáltica como impermeabilizante
Grava	no funciona			no es apto	

Figura 7. Recomendaciones para la técnica de construcción estabilizante (adaptado de CRATerre, 1979)

De la figura 7, se puede concluir que el material se identifica como arcilla arenosa, al obtener una reacción lenta o nula, con una resistencia mediana grande. Es apropiado así mismo estable e idóneo para la construcción de materiales como bloques de tierra comprimido.

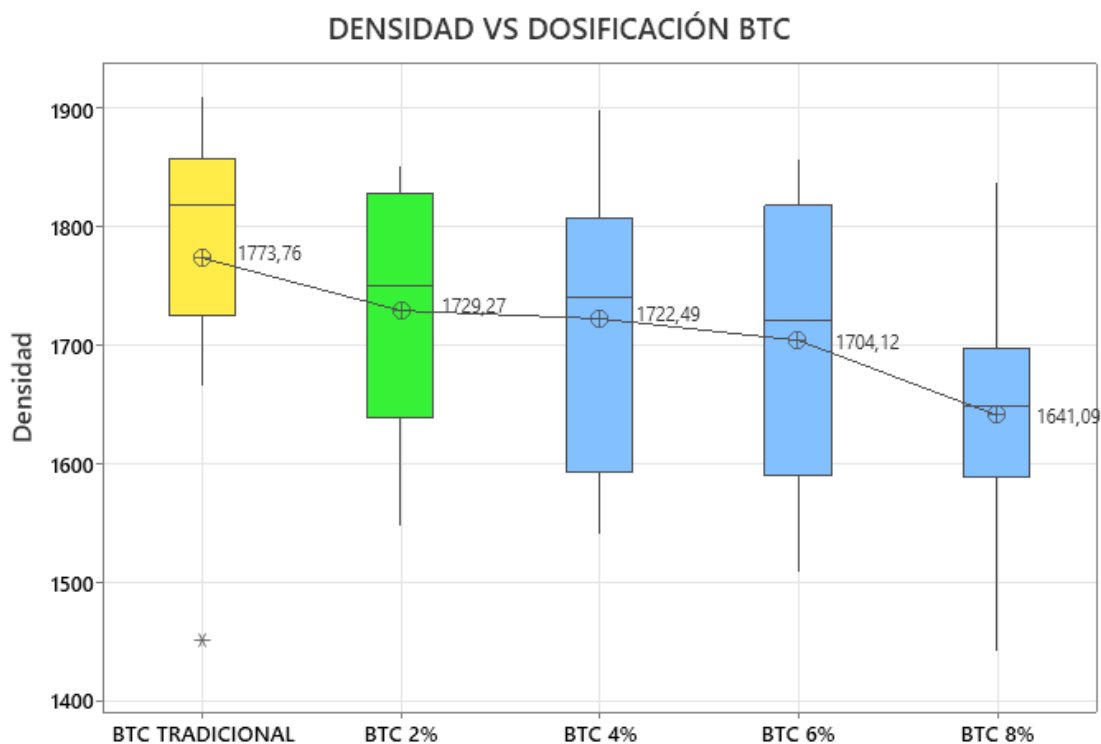
5.2 ENSAYOS DE LABORATORIO

5.2.1 Densidades

La elaboración de los ladrillos BTC se realizaron con dimensiones de 30X15X12 cm, después de pasar por un proceso de curado, sus dimensiones finales fueron 29,6X14,8X11,8 cm, con adición de fibras de polietileno de acuerdo con el

porcentaje asignado y su densidad se determina como la relación entre su peso y su volumen.

Inicialmente se tomaron datos del peso de las probetas elaboradas con el fin de realizar los distintos ensayos de laboratorio y se procedió al cálculo de las densidades, se pueden ver los resultados a continuación:



Gráfica 1. Densidades BTC

A las probetas elaboradas mediante el proceso descrito anteriormente se les aplicó una serie de ensayos de laboratorio para su respectiva comparación con implementación de varios porcentajes de fibras de polietileno.

5.2.2 Ensayo de resistencia a la compresión

En las imágenes 40 a 44 se puede apreciar la realización del ensayo para cada elemento analizado.



Imagen 39.
Compresión
BTC
Tradicional

Imagen 40.
Compresión
BTC 2%

Imagen 41.
Compresión
BTC 4%

Imagen 42.
Compresión
BTC 6%

Imagen 43.
Compresión
BTC 8%

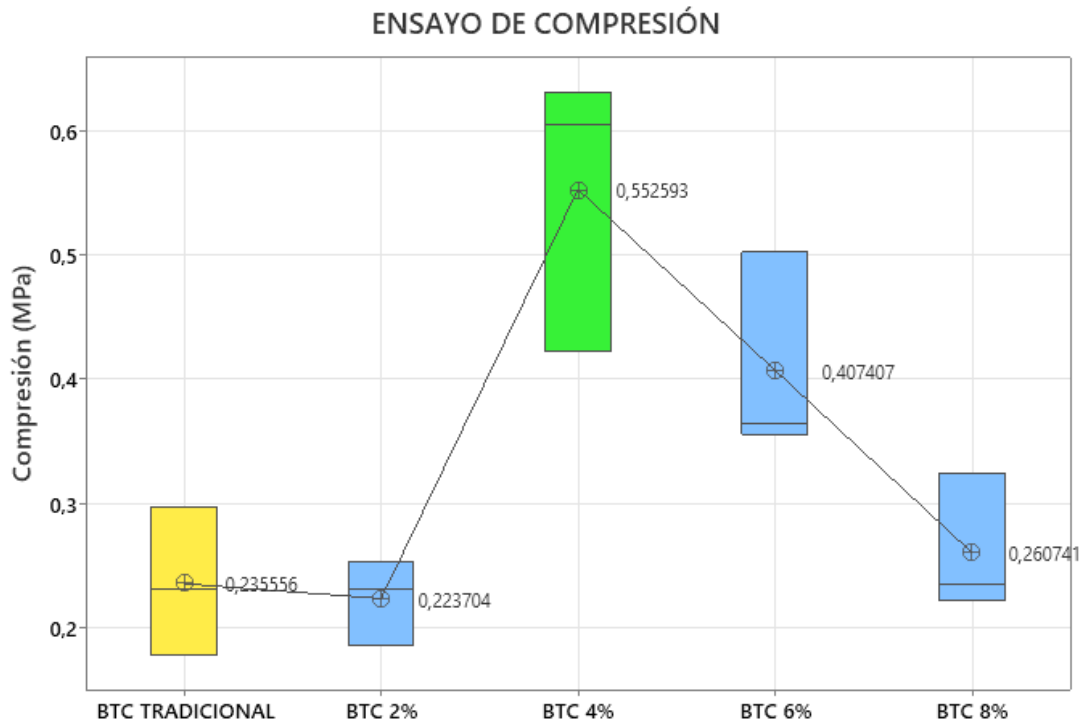
Para el caso de BTC la norma sugiere posicionar el elemento en forma vertical como se ve en la imagen 39, con el fin de obtener resultados más aproximadas al comportamiento y posición real que tendrían los bloques en su aplicación constructiva.

Se ensayaron un total de 15 probetas, 3 de cada tipo de BTC, este ensayo de resistencia a la compresión seca lo que indica es la producción de los bloques debe tener por lo menos el 95% de los datos de compresión a las probetas ensayadas de acuerdo con la norma de referencia, la tabla 17, se muestran los resultados obtenidos de este ensayo.

Tabla 17. Resultados - Ensayo a la compresión

DATO	PROBETA	BTC 0%	BTC 2%	BTC 4%	BTC 6%	BTC 8%
COMPRESIÓN BTC (KN)	1	4.00	4.20	9.50	8.00	7.30
	2	6.70	5.20	14.20	11.30	5.30
	3	5.20	5.70	13.60	8.20	5.00
ESFUERZO (MPa)	1	0.18	0.19	0.42	0.36	0.32
	2	0.30	0.23	0.63	0.50	0.24
	3	0.23	0.25	0.60	0.36	0.22
COMPRESIÓN EN LOS BLOQUES(DaN)	1	400.00	420.00	950.00	800.00	730.0
	2	670.00	520.00	1420.0	1130.0	530.0
	3	520.00	570.00	1360.0	820.00	500.0
ESFUERZO ROTURA(MPa)	1	0.18	0.19	0.42	0.36	0.32
	2	0.30	0.23	0.63	0.50	0.24
	3	0.23	0.25	0.60	0.36	0.22

De lo anterior se pueden obtener los resultados que se muestran a continuación:



Gráfica 2. Esfuerzo de rotura - Compresión seca

En la gráfica 2 se visualizan los resultados de esfuerzo de rotura en cada una de las dosificaciones de BTC con y sin adición de fibras de polietileno, se puede interpretar que se presenta variación en cuanto a esfuerzo de rotura en las diferentes dosificaciones, la característica principal del resultado de este ensayo es que el BTC con adición de fibras del 4% presenta un incremento de aproximadamente el 134,59% en su refuerzo de rotura, lo cual permite determinar inicialmente con este ensayo que la adición de fibras al 4% resulta favorable, comparado con los demás elementos analizados, por el contrario el BTC tradicional y con adición del 2% son los que presentan inferior esfuerzo de rotura.

La tabla 18 muestra los resultados estadísticos del ensayo presentado:

Tabla 18. Estadística - Ensayo de Compresión

TIPO	BTC TRADICIONAL	BTC 2%	BTC 4%	BTC 6%	BTC 8%
Q1	0.1777	0.1866	0.4222	0.3555	0.222
Mediana	0.23111	0.2311	0.6044	0.3644	0.235
Q3	0.29777	0.2533	0.6311	0.50222	0.324
Rango Intercuartil	0.12	0.0666	0.2088	0.14666	0.1022

TIPO	BTC TRADICIONAL	BTC 2%	BTC 4%	BTC 6%	BTC 8%
Bigotes	0.17; 0.29	0.1866; 0.2533	0.4222; 0.63111	0.3555; 0.5022	0.222; 0.3244
N	3	3	3	3	3

En los resultados de resistencia a la compresión de bloques de tierra armada con adición de fibras de bagazo la resistencia aumenta considerablemente sobre todo si los especímenes de ensayo han sido sometidos a curado durante un periodo de (Cabrera & Tello, 2021) 28 días, generando como resultado resistencias del orden de 3.64 Mpa.

5.2.3 Ensayo de resistencia a la tracción por flexión – Módulo de rotura

En la elaboración de este ensayo se aplicó el método de la palanca, permite establecer el módulo de rotura de un elemento constructivo, en las imágenes 45 a 49, la elaboración del ensayo:



Imagen 44.
Flexión BTC
Tradicional



Imagen 45.
Flexión BTC
2%



Imagen 46.
Flexión BTC
4%



Imagen 47.
Flexión BTC
6%

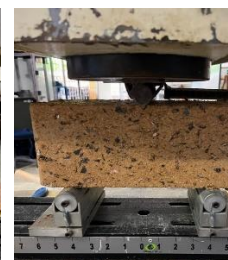


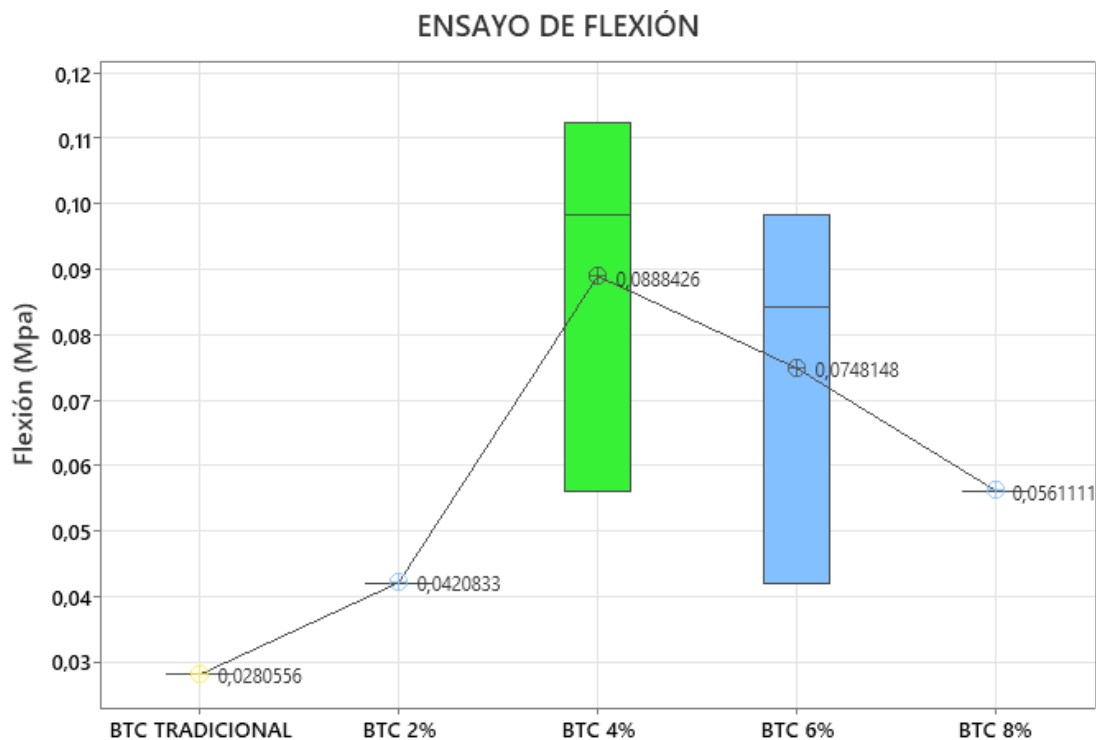
Imagen 48.
Flexión BTC
8%

Los resultados obtenidos para el módulo de rotura del ensayo son los siguientes:

Tabla 19. Resultados - Resistencia a la tracción

PROBETA	BTC TRADICIONAL (MPa)	BTC 2% (MPa)	BTC 4% (MPa)	BTC 6% (MPa)	BTC 8% (MPa)
1	0.028055556	0.042083333	0.0561	0.0981	0.0561
2	0.028055556	0.042083333	0.1122	0.0420	0.0561
3	0.028055556	0.042083333	0.0981	0.0841	0.0561

De la tabla anterior resulta la siguiente grafica;



Gráfica 3. Ensayo de resistencia a la tracción

El ensayo según la norma indica que por lo menos el 95% de las probetas elaboradas tengan un adecuado comportamiento por tracción y tengan módulos de rotura bajos, teniendo en cuenta los resultados de la gráfica 3 y su interpretación cabe destacar que los BTC tradicionales y con el porcentaje bajo de adición de polietileno presentan módulos de rotura bajos, el módulo de rotura de los BTC 4% presenta aumento en un 216.67% con respecto al BTC tradicional que es el que se caracteriza por rotura inferior de los elementos analizados y un aumento de esta variable del 166.67% con respecto al BTC 6%, los resultados del análisis estadístico se muestra en la tabla 20 que aparece en seguida:

Tabla 20. Estadística - Ensayo a flexión

TIPO	BTC 4%	BTC 6%
Q1	0.056111	0.04208
Mediana	0.0982	0.08416
Q3	0.11222	0.09819
Rango Intercuartil	0.05611	0.056111
Bigotes	0.05611; 0.1122	0.04208; 0.098194
N	3	3

En comparación con otros ensayos se puede decir que según (Cabrera, Marlo; Tello, Jose, 2021), los resultados de este ensayo son del orden de 0.13Mpa, lo cual representa una variación porcentual de 0.38%.

5.2.4 Ensayo de resistencia a erosión húmeda

La realización de este ensayo se muestra en las imágenes 49 a 53.



Imagen 49.
Erosión BTC
Tradicional



Imagen 50.
Erosión BTC
2%



Imagen 51.
Erosión BTC
4%



Imagen 52.
Erosión BTC
6%



Imagen 53.
Erosión
BTC 8%

El tiempo promedio de realización del ensayo vario de 25 a 27 minutos, en la tabla 22 se muestran los resultados del ensayo.

Tabla 21. Resultados – Ensayo de resistencia a la erosión húmeda

PROBETA	BTC TRADICIONAL (mm)	BTC 2% (mm)	BTC 4% (mm)	BTC 6% (mm)	BTC 8% (mm)
1	9.25	8.03	8	4.44	4.74
2	10.33	8.05	6.99	5.34	3.94
3	9.75	8	6.16	7.81	4.09

Como producto de la representación gráfica de resultados se obtuvo la gráfica 4.



Gráfica 4. Ensayo de resistencia a la erosión

La interpretación grafica muestra que no se presentan datos atípicos para el análisis estadístico de los datos de erosión húmeda en bloques armados de tierra, la gráfica indica que la erosión es inversamente proporcional al contenido de fibras que presente el bloque, teniendo en cuenta el método aplicado en la elaboración del ensayo los resultados de erosión se encuentran en un rango entre 4 y 9 mm, así pues se puede establecer que el BTC con adición de fibra al 8% presenta mayor resistencia a la erosión del 129.68% con respecto al tradicional considerando una inferior penetración del agua en el elemento, en la tabla 22 se aprecian los resultados estadísticos de este ensayo:

Tabla 22. Estadística - Ensayo de erosión

TIPO	BTC TRADICIONAL	BTC 2%	BTC 4%	BTC 6%	BTC 8%
Q1	9.25	8	6.16	4.44	3.94
Mediana	9.75	8.03	6.99	5.34	4.09
Q3	10.33	8.05	8	7.8	4.74
Rango Intercuartil	1.08	0.05	184	3.37	0.8
Bigotes	9.25; 10.33	8; 8.05	6.16; 8	4.44; 7.81	3.94; 4.74
N	3	3	3	3	3

La profundidad de erosión puede variar de acuerdo al contenido de materiales estabilizantes como el cal y el cemento conforme lo sustenta (Gonzalez & Santiago, 2021), en estos casos los tiempos de toma de ensayo se pueden disminuir para que los resultados obtenidos sean óptimos, al igual que este ensayo en el estudio se demuestra que el ensayo es confiable generando un patrón de perforación que se caracteriza por presentar el mismo diámetro a lo largo de su profundidad.

5.2.5 Ensayo de resistencia a la abrasión

A continuación, en las imágenes 54 a 58 se aprecia la práctica de laboratorio:



Imagen 54.
Abrasión BTC
Tradicional

Imagen 55.
Abrasión BTC
2%

Imagen 56.
Abrasión BTC
4%

Imagen 57.
Abrasión
BTC 6%

Imagen 58.
Abrasión
BTC 8%

Para obtener los resultados de este ensayo es necesario según norma, evaluar al menos 3 probetas, por tanto, se tiene esta cantidad de probetas ensayadas para cada una de las composiciones de BTC, inicialmente se tienen los siguientes datos:

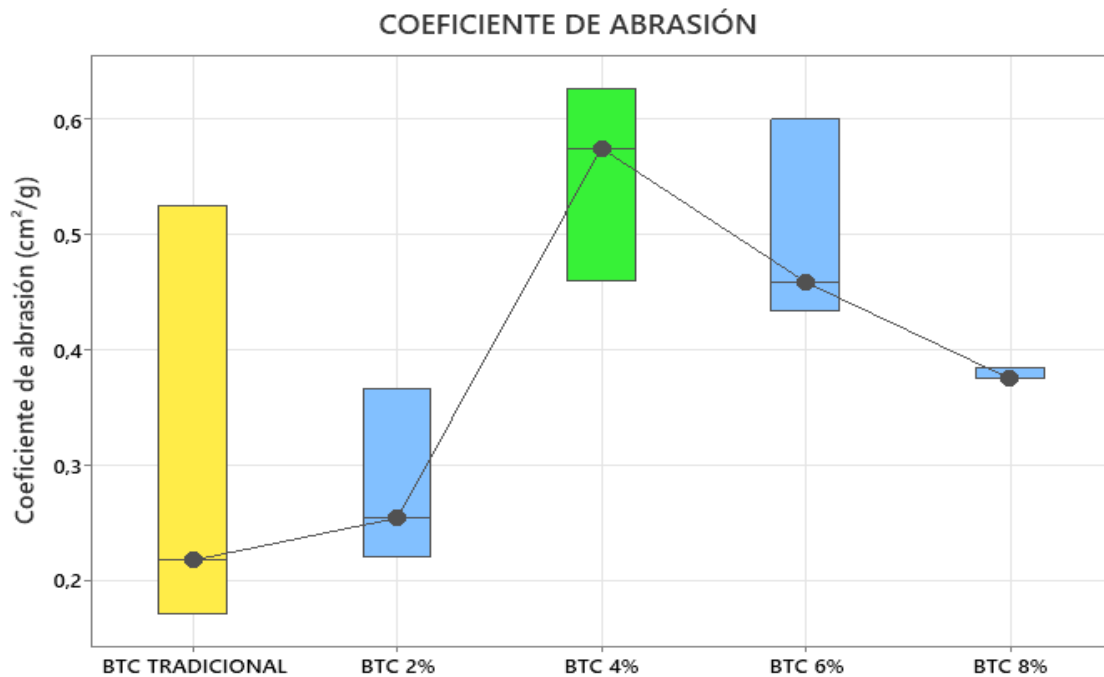
Tabla 23. Datos - Cálculo de abrasión

	PESO INICIAL (gr)	PESO FINAL DESPUES DEL CEPILLADO (gr)
LADRILLO #1 SIN FIBRA	7550	7180
LADRILLO #2 SIN FIBRA	7950	7660
LADRILLO #3 SIN FIBRA	8610	8490
LADRILLO #1 2% FIBRA	7730	7430
LADRILLO #2 2% FIBRA	7970	7790
LADRILLO #3 2% FIBRA	7800	7540
LADRILLO #1 4% FIBRA	8170	8050
LADRILLO #2 4% FIBRA	8270	8160
LADRILLO #3 4% FIBRA	7960	7810
LADRILLO #1 6% FIBRA	7760	7630
LADRILLO #2 6% FIBRA	7820	7650
LADRILLO #3 6% FIBRA	7900	7720
LADRILLO #1 8% FIBRA	7600	7400
LADRILLO #2 8% FIBRA	8140	7945
LADRILLO #3 8% FIBRA	7450	7250

Los resultados del coeficiente de abrasión se muestran en la tabla 24 y grafica 5.

Tabla 24. Coeficiente de abrasión

0% (cm ² /g)	2% (cm ² /g)	4% (cm ² /g)	6% (cm ² /g)	8% (cm ² /g)
0.170	0.220	0.575	0.600	0.375
0.217	0.367	0.627	0.459	0.385
0.525	0.254	0.460	0.433	0.375



Gráfica 5. Ensayo de resistencia a la abrasión

Ensayadas las 3 probetas, se tiene que los mayores coeficientes de abrasión los caracterizan los bloques cuya adición de fibras de polietileno es 4% y 6% y los coeficientes menores de abrasión se presenta en probetas sin adición de fibras o con adición de 2%. Para el bloque con adición de 4% que presenta un aumento de aproximadamente el 164.68% del coeficiente de abrasión con respecto al BTC tradicional, lo que indica que el BTC 4% tiene menor desgaste por fricción o abrasión comparado con un bloque tradicional, en la tabla 25 que aparece a continuación se encuentran relacionados los datos estadísticos de la elaboración del ensayo:

Tabla 25. Estadística - Ensayo de abrasión

TIPO	BTC TRADICIONAL	BTC 2%	BTC 4%	BTC 6%	BTC 8%
Q1	0.1702	0.22	0.46	0.4333	0.375
Mediana	0.2172	0.2538	0.575	0.4588	0.375
Q3	0.525	0.3666	0.6272	0.6	0.3846
Rango Intercuartil	0.3547	0.1466	0.1672	0.1666	0.00961
Bigotes	0.170; 0.525	0.22; 0.366	0.46; 0.627	0.433; 0.6	0.375; 0.384
N	3	3	3	3	3

En cuanto a los resultados de este ensayo, es importante resaltar que según un estudio sobre las adiciones de material sintético a los bloques de tierra armada constituidos por arcilla y tierra poseen la capacidad de tener una mejor relación de resistencia a la abrasión y genera un aumento en la capilaridad, como resultado de esto el uso de aditivos proporciona una mejor resistencia a la filtración de agua (Cañola, Builes, & Gonzalez, 2018), lo cual lo hace un elemento de construcción con aplicación en el campo donde este expuesto a condiciones ambientales adversas y no disminuirá su funcionalidad.

5.2.6 Ensayo de contracción lineal

Las imágenes 59 a 62 se encuentra el registro fotográfico de la realización del ensayo y medición de la retracción.



Imagen 59.
Contracción lineal



Imagen 60.
Medición de
retracción



Imagen 61.
Ensayo de
contracción lineal



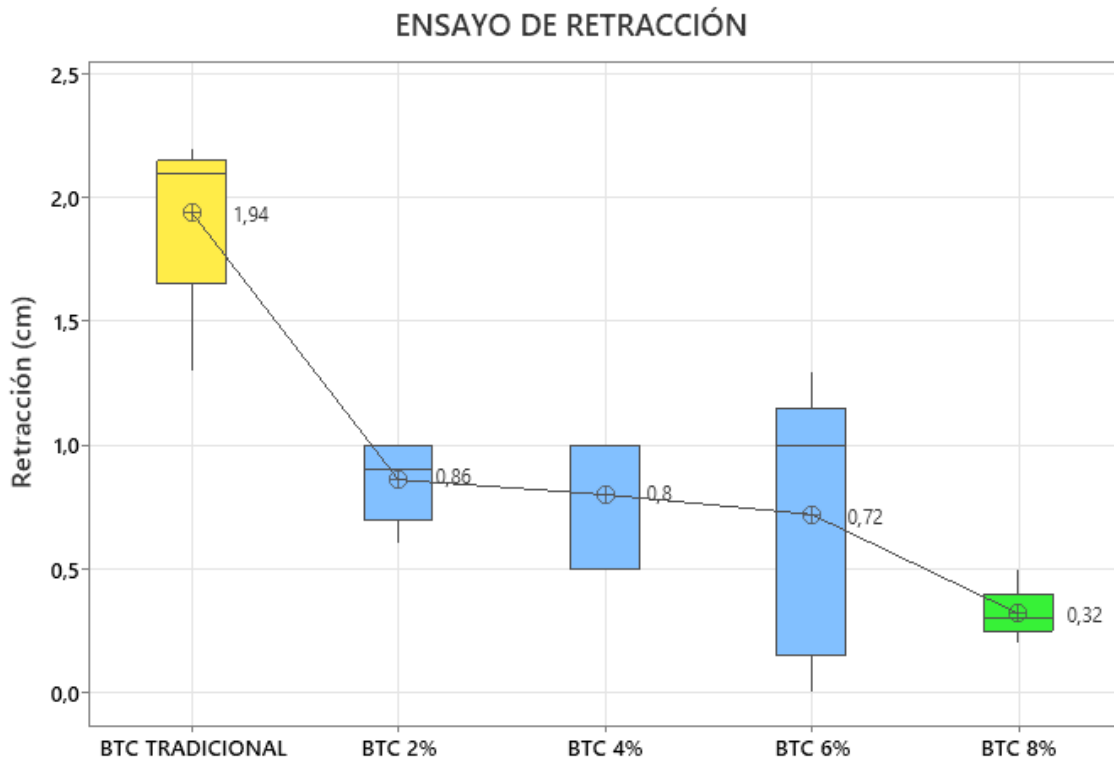
Imagen 62.
Ensayo de
retracción

En la tabla 26 se muestra la retracción presentada en los distintos tipos y composiciones de BTC analizadas.

Tabla 26. Resultados – Ensayo de contracción lineal

CAJA	BTC TRADICIONAL (cm)	BTC 2% (cm)	BTC 4% (cm)	BTC 6% (cm)	BTC 8% (cm)
CAJA 1	2	0.6	1	1.3	0.3
CAJA2	2.1	0.9	0.5	1	0.5
CAJA 3	2.2	0.8	1	1	0.3
CAJA 4	2.1	1	1	0.3	0.3
CAJA 5	1.3	1	0.5	0	0.2

La retracción presentada por cada una de las composiciones de BTC se muestran en la gráfica 6.



Gráfica 6. Ensayo de contracción lineal

De la gráfica 6 se infiere que los BTC tradicionales mayor retracción en comparación a los BTC con adición de fibras, ya que estos presentan una retracción menor y realizando un análisis de la cantidad de adición de fibras la retracción con 2%, 4% y 6% es muy similar, pero este último tiene mayor rango de retracción en las probetas ensayadas, caso contrario al BTC con adición del 8% cuyos resultados de retracción están dentro de un rango menos amplio, haciendo una comparación entre el elemento con mayor retracción y con el elemento de menor retracción los resultados demuestran que la retracción en BTC Tradicional es aproximadamente 6 veces mayor que el elementos con mayor cantidad de fibras en su mezcla, complementando lo anterior se muestra la tabla 27 que contiene la información estadística del ensayo en mención:





















Los resultados estadísticos de la elaboración del ensayo, se pueden visualizar en la tabla 27:

Tabla 27. Estadística - Ensayo de contracción lineal

TIPO	BTC TRADICIONAL	BTC 2%	BTC 4%	BTC 6%	BTC 8%
Q1	1.65	0.7	0.5	0.15	0.25
Mediana	2.1	0.9	1	1	0.3
Q3	2.15	1	1	1.15	0.4
Rango Intercuartil	0.5	0.3	0.5	1	0.15
Bigotes	1.3; 2.2	0.6; 1	0.5; 1	0; 1.3	0.2; 0.5
N	5	5	5	5	5

5.2.7 Cuadro de efectos sinérgicos

Tabla 28. Cuadro de efectos sinérgicos

BTC	COMPRESIÓN	FLEXIÓN	EROSIÓN	ABRASIÓN	CONTRACCIÓN LINEAL
2%					
4%					
6%					
+ 8%					

En la tabla 29 se aprecia la relación de los ensayos con cada tipo de BTC comparando sus resultados con el BTC tradicional, se muestra que el BTC donde sus características en mayoría con favorables es el que posee una adición de fibras de polietileno del 4%

5.3 Consumo energético, liberación de CO₂ y reducción al impacto ambiental

Las fibras de polietileno provenientes del plástico que se caracterizan por emitir 3.5Kg de CO₂ por cada kilogramo de plástico, en cambio al hacer uso del plástico reciclado como es el caso del uso de las fibras de polietileno para la fabricación de bloques de tierra armada, el consumo es de 1.7 Kg de CO₂ por cada kilogramo reciclado, lo que supone una reducción de la huella de carbono en casi un 50% (Z.E.O, 2021), esto refuerza la idea de la elaboración de BTC con fibras de polietileno son una buena estrategia de construcción y ambientalmente sostenible.

Según Alvarado (2021) la emisión de CO₂ total en la fabricación de bloques de tierra comprimida está en el orden de 0.04 a 0.78 Kg y esto se traduce en un impacto ambiental medio.

Ahora bien, se calcula que para 1m² de muro conformado por bloques de tierra armada se necesitan las siguientes unidades:

$$CL = \frac{1}{(L + Jh) * (H + Jv)}$$

Donde:

CL= cantidad de unidades de mampostería, m²

L= longitud del ladrillo, m

Jh= espesor junta horizontal, m

H= altura del mampuesto, m

Jv= espesor de la junta vertical, m

$$CL = \frac{1}{(0.30m + 0.01m) * (0.12m + 0.01m)}$$

$$CL = 24.814 \text{ mampuestos/m}^2$$

Teniendo en cuenta lo anteriormente dicho y haciendo un análisis de la cantidad de oxígeno, se tiene que:

Por cada kilogramo reciclado de fibras hay un consumo de oxígeno de 1.7Kg, para el peso promedio tomado en los ensayos de laboratorio para cada una de las dosificaciones de BTC y aplicando una regla de 3 se da lugar a los resultados de la tabla 28.

Tabla 29. Consumo CO2

	BTC 2%	BTC 4%	BTC 6%	BTC 8%
Peso [Kg]	8.939	8.904	8.809	8.483
Consumo [Kg/CO2]	15.197	15.137	14.976	14.422
Consumo por m ² [Kg/CO2]	377.027	375.551	371.544	357.802

6. CONCLUSIONES

El material usado para la elaboración de los bloques en tierra armada se caracteriza por ser un suelo limo-arcilloso, por su contextura clara y brillante se caracteriza por ser suelo orgánico; tiene como propiedades físico-mecánicas, baja resistencia, plasticidad mediana, presenta resistencia mediana y esfuerzo de rotura baja; de acuerdo con esta caracterización se define el elemento de construcción óptimo para su uso en bloque de tierra compactada o ladrillo prensado con aglomerante.

Las fibras adicionadas en bloques reforzados con polietileno de alta densidad tiene un peso específico de 0.95 g/cm^3 , la inclusión de estas fibras se comportan como estabilizadoras disminuyendo la aparición de fisuras y otorgan flexibilidad a la mezcla de tierra; por lo cual se concluye que la inclusión de este material conlleva a un mejor comportamiento del elemento mejorando características como su resistencia a la flexión, teniendo valores mayores para esfuerzos de rotura, dicho lo anterior se define que la mezcla más óptima según lo analizado es la de BTC 4% debido a sus características y resultados de ensayos de laboratorio.

En el ensayo de resistencia a la erosión se obtuvo para el BTC tradicional un resultado de 9.7mm y para el BTC 8% un resultado de erosión de 4.2mm, a partir de la realización del ensayo y el análisis se concluye que un mayor contenido de fibra de polietileno se traduce en un aumento en la resistencia a la erosión del elemento por lo cual su comportamiento ante agentes externos y climas variantes será bueno, ya que habrá menor penetración de agua.

Los ensayos de resistencia a la compresión y resistencia a la tracción son dos variables importantes para definir los elementos analizados, según los resultados obtenidos de las prácticas de laboratorios indican que el BTC con adición del fibra del 4% tiene un buen comportamiento de resistencia a la compresión mejorando esta característica en un 134.59% más que un BTC tradicional, lo que indica un aumento de aproximadamente 2.3 veces más resistencia, ahora bien, para el mismo elemento BTC 4% en cuanto a su comportamiento en resistencia a la flexión presenta valores de módulo de rotura superiores a los demás elementos analizados, se concluye así que al tener valores mayores presenta un esfuerzo máximo en las fibras al momento de su fallo, lo que indica que este sería el BTC con mejor comportamiento bajo estas dos características especiales para elementos de construcción.

Los elementos de construcción como los bloques de tierra armada tienen deterioro según las características y propiedades de los materiales que lo componen, los elementos sufren deterioro y desgaste que puede afectar algunas de las propiedades físico – mecánicas, según los resultados de los ensayos el BTC 4% presenta una mejor resistencia a la abrasión en un 164.68% más que un BTC

tradicional, a diferencia de la retracción el BTC tradicional se caracteriza por tener resistencia a la contracción lineal 6 veces mayor al BTC con mayor adición de fibras (8%) y tiene 2.4 veces más contracción lineal que un BTC 4%.

Generalmente los bloques macizos tienen buen comportamiento a la compresión, pero su funcionalidad es baja al momento de someterse a la tracción, el uso de polietileno en fibras adicionadas a este bloque mejora su comportamiento a la tracción haciendo que se presente rotura con más dificultad.

Se ha demostrado que el uso de este tipo de bloques es además de viables, factibles ya que al ser una alternativa de construcción ecológica en el sentido de que no requiere la utilización de horno y por tanto generar emisiones de CO₂, se ha visto en la implementación de este material que posee un buen comportamiento para construcciones de poca altura.

Los bloques de tierra armada tradicionales presentan una mayor retracción que los bloques con adición de fibras de polietileno, esto puede deberse gracias a las características plásticas y elásticas generadas por las fibras, de la misma manera los BTC de composición tradicional presentan mayor erosión que los adicionados con fibras, es de resaltar que a mayor cantidad de polietileno menor es la erosión que presente el elemento.

Son diferentes las variables que se deben tener en cuenta al momento de la elaboración de bloques de tierra amados, es importante mencionar que una variable importante es la presión que sea aplicada a la máquina para su compresión y compactación del material, de la uniformidad de esta presión dependen también factores como el esfuerzo de rotura o la resistencia que tengan los elementos a la compresión, lo que se traduce que a mayor presión se presenta un aumento de su resistencia a la compresión. Mediante este ensayo se pudo establecer que el BTC con adición del 4% es el bloque que presenta mayor resistencia a la compresión.

En el ensayo de erosión húmeda se evidencia que a mayor composición o adición de fibras de polietileno a los bloques de tierra armada dada menor es su erosión, lo que resulta favorable al incluir el bloque con esta composición ya que su comportamiento resultara mejor en exteriores y utilización de los bloques en condiciones climáticas adversas.

7. RECOMENDACIONES

Dentro del presente análisis comparativo de BTC adicionando fibras de polietileno como estabilizante de los bloques es recomendable, debido a que se evita la adición de cal que es un material con alto contenido de impacto ambiental.

Para el uso del material que funcionara bajo proceso de fabricación como bloque, se recomienda que la materia prima (tierra o suelo) no incurra en inadecuados procesos de secado y tamizado, esto con el fin de generar optimización en tamaño de partículas y que el mampuesto quede prensado de manera adecuada y de la misma manera se pueda garantizar una humedad óptima para las condiciones de fabricación.

Para la fabricación de los bloques se recomienda siempre mantener en buen estado de la maquina aplicada y generar siempre la misma fuerza de presión para que se genere la homogeneidad de los materiales.

Se recomienda tomar medidas iniciales y finales para menor rango de error en los resultados que se presenten, a su vez para la realización de los ensayos de laboratorio es recomendable que las maquinas usadas se encuentren en buen estado y calibradas de acuerdo con los requerimientos del ensayo.

Es indispensable antes de la realización de los ensayos de laboratorio contar con conocimiento previo de la guía de ensayos y tener claridad acerca de los conceptos presentados y los valores asociados a cada uno de los ensayos.

BIBLIOGRAFÍA

- Sitton, J. D., Zeinali, Y., Heidarian, W. H., & Story, b. A. (2018). Efecto del diseño de la mezcla sobre la resistencia del bloque de tierra comprimida. *Construcción y Materiales de Construcción*.
- Akhzouz, H., El Minor, H., Tatane, M., & Bendarma, A. (2021). Caracterización física del biocompuesto CEB estabilizado con cáscara de nuez de Argán y cemento. *Materials Today: Proceedings*, 36, 107-114.
- Alvarado, M. (2021). Determinación del consumo energético y emisión de CO2 en procesos de fabricación de adobe. *Universidad de Azuay. Diseño, arquitectura y arte*.
- Arteaga, K., Medina, O., & Gutierrez, O. (2011). Bloque de tierra comprimida como material constructivo. *revista facultad de ingeniería*.
- Barrera, L. G., & Buitrago, F. N. (2014). Fabricación y reforzamiento de bloques de tierra de bloques de tierra compactada (BTC) en bogota bajo la reutilización de las.
- Blazy, J., & Blazy, R. (2021). Hormigón reforzado con fibra de polipropileno y su aplicación en la creación de formas arquitectónicas de espacios públicos. *Case Studies in Construction Materials*, 14.
- Cabrera, M., & Tello, J. (2021). Mejora de las propiedades mecánicas de los bloques de tierra comprimida (BTC) reforzados con cemento y fibra natural.
- Cabrera, Marlo; Tello, Jose. (2021). Mejora de las propiedades mecánicas de los bloques de tierra. *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas*, 18-20.
- Cañola, Builes, & Gonzalez, M. &. (2018). Compressed Earth Blocks (CEB) with bitumen emulsion. *Instituto Tecnológico Metropolitano*.
- CCB. (2019). *Colombia entierra anualmente 2 billones de pesos en plásticos que se pueden reciclar*. (Cámara de Comercio de Bogotá) Obtenido de Cluster Bogotá.
- Chamorro, M. C. (19 de noviembre de 2021). La vivienda de interes cultural: una apuesta por la sostenibilidad. *El Universal*.
- Chun., B., Shin., W., Sik Jang., Y., & Yoo., D.-Y. (2021). Desarrollo de mortero de endurecimiento por deformación de endurecimiento ultrarrápido que contiene materiales cementicios suplementarios de alto volumen y fibras de polietileno. *Revista de investigación y tecnología de materiales*, 13, 1934-1945.
- Claria, J., & Vettorelo, P. (2010). Refuerzo de arena mediante la adición de fibras sintéticas. Mendoza, Argentina.
- Colin, J. (2014). En *Fiber-Reinforced Cements and Concretes*. London.
- Elavarasan, S., Priya, A., Raja Gurusamy, R., Mohamed Riyas Naveeth, J., & Natesh, S. (2021). Estudio experimental sobre bloque de tierra comprimida mediante estabilizador de cenizas volantes. *Materials Today: Proceedings*, 37, 3597-3600.
- Estabilización de suelos. (2012). *Arquis*.
- García, M. M. (Mayo de 2022). Construcción Sostenible: Bloques de tierra

- comprimida BTC.
- Gonzalez, A., & Santiago, C. (2021). Evaluación de metodos de resistencia a la erosion humeda en bloques de tierra comprimida. *Revista tecnológica de ciencia*, 57-60.
- Grace Mimboe, A., Tatiane Abo, M., Noël Y. Djobo, J., Tome, S., Cyriaque Kaze, R., & Giogetti N. Deutou, J. (2020). Ladrillos de tierra comprimida a base de suelo laterítico estabilizados con ligante de fosfato. *Journal of Building Engineering*, 31(101465).
- Hall, M., Lindsay, R., & Krayenhoff, M. (2012). Edificios modernos de tierras. *materiales, ingeniería, construcciones y aplicaciones*.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Imanzadeh, S., Hibouche, A., Jarno, A., & Taibi, S. (2018). Formulación y optimización de la resistencia a la compresión de un hormigón de tierra cruda mediante el diseño de mezclas. *Construcción y Materiales de Construcción*, 163, 149-159.
- Infopico. (2020). La construccion de bloques de tierra comprimida BTC ya es una realidad en General Pico. *Infopico*.
- Komal, K., Bawa, S., & KantSharma, S. (2021). Investigación de laboratorio sobre el efecto del polipropileno y la fibra de nailon en la arcilla estabilizada con limo. *Materials Today: Proceedings*.
- lebreton, L., van der zwet, J., Damsteeg, J.-w., Slat, B., Andrady, A., & Reisser, J. (2017). River plastic emissions to the world oceans. *nature communications*.
- Minke, G. (2005). En *Manual de construccion en tierras* (Vol. 2). Editorial fin de siglo.
- Morales Ortiz, M., & Alvarez, R. (2007). Mejoramiento de las propiedades mecanicas del adobe compactado. *Naturaleza y desarrollo*.
- Mostafa, M., & Nasim, U. (2016). Análisis experimental de Bloque de Tierra Comprimida (CEB) con fibras de banano que resisten fuerzas de flexión y compresión. *Case Studies in Construction Materials*, 5, 53-63.
- Mujica, R. S. (2012). *Bloques de tierra comprimida adicionados con fibras naturales*. Nuevo Leon, Mexico.
- Ondarse, D. (2021). Concepto polietileno. Etecé.
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *INTERNATIONAL JOURNAL OF MORPHOLOGY*, 227-232.
- Rodgers, L. (12 de 2018). *La enorme fuente de emisiones de CO2 que está por todas partes y que quizás no conocías*. Obtenido de BBC News.
- Santos, S., & Montes, J. (2010). Resistencia mecanica del adobe compactado incrementada por bagazo de agave.
- Singh., S., Singh Chohan., J., Kumar., R., & K. Gupta., P. (2021). Estabilidad de bloques de tierra comprimida a partir de ceniza de bagazo de caña de azúcar y paja de trigo. *Materials Today: Proceedings*.
- Velez, G. (2001). *Arquitectura de Barro*. Honduras.
- Vergara, F. (19 de Mayo de 2022). ¿Cómo es un casa hecha con bloques de tierra

- comprimida? *Arquitectura*, págs. 1-4.
- Viñuales, G. (2008). Tecnología y construcción con tierra. *Consejo Nacional de Investigaciones Técnicas y Científicas*.
- Vishnu, A. (2017). Use of polyethylene terephthalate in concrete.
- Z.E.O. (2021). ¿Cuanto CO2 emite el plástico? *Zero Emissions Objective* .