

**Fabricación de bloques de tierra comprimidos
(BTC) agregando aditivos reutilizables de
polietileno, polipropileno y evaluar su mitigación al
medio ambiente.**

Carlos Augusto Rueda Mantilla

323014

Freddy Josué Rueda Mantilla

322548

Director

Carlos Fernando Rivera Peña

Universidad Pontificia Bolivariana

Seccional Bucaramanga

Escuela de Ingenierías

Facultad de ingeniería civil

Bucaramanga

2023

Contenido

1	Introducción.....	2
2	Planteamiento del problema	3
3	Justificación	2
4	Objetivos.....	3
4.1	Objetivo general.....	3
4.2	Objetivos específicos	3
5	Antecedentes.....	4
6	Marco teórico.....	8
6.1	Bloque de tierra comprimido	8
6.2	Materiales.....	9
6.2.1	Arcilla de alta plasticidad	9
6.2.2	Polietileno de alta densidad	9
6.2.3	Polipropileno	9
6.3	Ensayos de campo.....	10
6.3.1	Caracterización del suelo.....	10
6.4	Ensayos de laboratorio.....	11
6.4.1	Ensayo de resistencia a la compresión	11
6.4.2	Ensayo de resistencia a la flexión.....	12
6.4.3	Ensayo de resistencia a la erosión	12
6.4.4	Ensayo de resistencia a la abrasión.....	12
6.4.5	Ensayo de retracción.....	12
7	Metodología.....	13
7.1	Caracterización del material	13
7.1.1	Test del tamaño de las partículas	13
7.1.2	Test del color	14
7.1.3	Caracterización por brillo	14
7.1.4	Test de caída de bola	14
7.1.5	Test del vidrio.....	15
7.1.6	Test del cordón	16
7.1.7	Test de la cinta.....	16
7.1.8	Test de la exudación	17
7.1.9	Test del rollo.....	17
7.2	Elaboración de los BTC añadiendo aditivos de polietileno y polipropileno	19

7.3	Ensayos de resistencia a la compresión, flexión, erosión, abrasión y ensayo de retracción.....	23
7.3.1	Ensayo de resistencia a la compresión	24
7.3.2	Ensayo de resistencia a la flexión.....	25
7.3.3	Ensayo de resistencia a la erosión	27
7.3.4	Ensayo de resistencia a la abrasión.....	29
7.3.5	Ensayo de retracción.....	31
7.4	Evaluar el impacto ambiental que se puede mitigar mediante la construcción de viviendas de interés social usando el BTC con mejores resultados.....	32
8	Resultados.....	32
8.1	Caracterización del suelo	34
8.2	Ensayo de resistencia a la compresión.....	35
8.3	Ensayo de resistencia a la flexión	37
8.4	Ensayo de resistencia a la erosión.....	39
8.5	Ensayo de resistencia a la abrasión	42
8.6	Ensayo de retracción	44
8.7	Análisis de resultados	47
9	Mitigación al medio ambiente por medio de la construcción de viviendas de interés social.....	52
10	Conclusiones y recomendaciones.....	56
11	Bibliografía.....	57

Lista de figuras

Figura 7.1.5.1 test del vidrio.....	15
Figura 7.1.5.2 clasificación test del vidrio.....	15
Figura 7.2.1 dimensiones de los BTC.....	21
Figura 7.2.2 Maquina empleada para elaborar los bloques de tierra comprimido	22
Figura 7.2.3 Polietileno de alta densidad triturado	23
Figura 7.2.4 polipropileno de alta densidad triturado.....	23
Figura 6.3.1.1 Modelo de construcción de murete para ensayo de compresión.....	24
Figura 6.3.2.1 ensayo de resistencia a la flexión de ladrillo virgen.....	26
Figura 7.3.3.1 modelo método Geelong para ensayo de resistencia a la erosión.	27
Figura 7.3.3.2 ensayo de resistencia a la erosión de bloques con agregado de polietileno ..	28
Figura 6.3.4.1 Modelo ensayo de abrasión	30
Figura 7.3.5.1 ensayo de retracción de mezcla sin agregado.....	32
Figura 8.2.1 Ensayo a compresión con agregado de polietileno	36
Fuente: Autores.....	36
Figura 8.2.2 Ensayo a compresión con agregado de polipropileno.....	37
Fuente: Autores.....	37
Figura 8.3.2 Resistencia a la flexión con agregado de polietileno	39
Figura 8.4.1 Resistencia a la erosión con agregado de polietileno.....	41
Fuente: Autores.....	41
Figura 8.4.2 Resistencia a la erosión con agregado de polipropileno	41
Figura 8.5.1 Resistencia a la abrasión con agregado de polietileno	43
Figura 8.5.2 Resistencia a la abrasión con agregado de polipropileno.....	44
Figura 8.6.1 Retracción con agregado de polietileno	46
Fuente: Autores.....	46
Figura 8.6.2 Retracción con agregado de polipropileno.....	47
Fuente: Autores.....	47
Figura 8.8.1 ejemplo de ladrillo de arcilla cocida macizo	48
Figura 9.1 Plano de vivienda de interés social	53

Lista de tablas

Tabla 6.3.1 Ensayos de caracterización del suelo.....	11
Tabla 7.1.1.1 Test del tamaño de las partículas.....	13
Tabla 7.1.2.1 Test del tamaño de las partículas.....	14
Tabla 7.1.3.1 Test del tamaño de las partículas.....	14
Tabla 7.1.4.1 Test del tamaño de las partículas.....	15
Tabla 7.1.5.1 Test del tamaño de las partículas.....	15
Tabla 7.1.6.1 Test del tamaño de las partículas.....	16
Tabla 7.1.7.1 Test del tamaño de las partículas.....	17
Tabla 7.1.8.1 Test del tamaño de las partículas.....	17
Tabla 7.1.9.1 Test del tamaño de las partículas.....	18
Tabla 7.1.1 tipo de suelo y técnica constructiva indicada por test expeditos	18
Tabla 7.1.2 Recomendaciones para selección de la técnica de construcción	19
Tabla 7.2.1 Numero de BTC fabricados.....	21
Tabla 7.2.2 Numero de ensayos a retracción fabricados	22
Tabla 7.3.1.1 Numero de muretes ensayados a compresión con su respectivo % de agregado	25
Tabla 7.3.2.1 Numero de BTC ensayados a flexión con su respectivo % de agregado	26
Tabla 7.3.3.1 Numero de bloques que se ensayaron a erosión con su respectivo % de agregado.....	28
Tabla 7.3.3.2 Nivel de resistencia a la erosión húmeda	29
Tabla 7.3.4.1 Numero de bloques ensayados a resistencia de abrasión con su respectivo % de agregado.....	29
Tabla 7.3.4.2 Nivel de resistencia a la abrasión	31
Tabla 7.3.5.1 Cantidad de ensayos de retracción.....	31
Tabla 6.3.1 propiedades del polietileno y polipropileno	33
Tabla 8.1.1 Resultados test de caracterización del suelo.....	34
Tabla 8.2.1 Datos resistencia a la compresión sin agregado	35
Tabla 8.2.2 datos de resistencia a la compresión con agregado de polietileno	35
Tabla 8.2.3 datos resistencia a la compresión con agregado de polipropileno.....	36
Tabla 8.3.1 resultados ensayo de resistencia a la flexión con agregado de polietileno	37
Tabla 8.3.2 resultados ensayo de resistencia a la flexión con agregado de polipropileno ...	38
Tabla 8.4.1 Resultados resistencia a la erosión sin agregado	40
Tabla 8.4.2 Resultados de resistencia a la erosión con agregado de polietileno	40
Tabla 8.4.3 Resultados resistencia a la erosión con agregado de polipropileno.....	40

Tabla 8.5.1 Resultados ensayo de resistencia a la abrasión con agregado de polietileno	42
Tabla 8.5.2 Resultados ensayo de resistencia a la abrasión con agregado de polietileno	42
Tabla 8.5.3 Resultados ensayo de resistencia a la abrasión con agregado de polipropileno	43
Tabla 8.6.1 Resultados ensayo de retracción sin agregado	45
Tabla 8.6.2 Resultados ensayo de retracción con agregado de polietileno	45
Tabla 8.6.3 Resultados ensayo de retracción con agregado de polipropileno	46
Tabla 8.8.1 resistencia mínima a la compresión de las unidades de mampostería estructural y no estructural	48
Tabla 8.8.2 Comparación de resultados con la norma NTC 4205.....	48
Tabla 8.8.3 Comparación de resultados de todos los ensayos.....	50
Tabla 8.8.4 Comparación de los mejores resultados de todos los ensayos.....	50
Tabla 9.1 Área de muros por cada vivienda de interés social	54
Tabla 9.2 cantidad de BTC y de polietileno que requiere cada vivienda de interés social...	54

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: Fabricación de bloques de tierra comprimidos (BTC) agregando aditivos reutilizables de polietileno, polipropileno y evaluar su mitigación al medio ambiente.

AUTOR(ES): Carlos Augusto Rueda Mantilla
Freddy Josue Rueda Mantilla

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): Carlos Fernando Rivera Peña

RESUMEN

El bloque de tierra comprimido (BTC) es un material elaborado a partir de arcilla y comprimido mediante una prensa mecánica, el BTC se puede emplear en reemplazo del ladrillo convencional para usos de muros divisores no estructurales. En el presente trabajo de tipo investigativo se fabricaron 108 bloques de tierra a los cuales se les añadió 0.5%, 1%, 1.5% y 2% de polietileno y 2%, 3%, 4% y 5 % de polipropileno. Una vez fueron elaborados los bloques se sometieron a 21 días de curado y seguido a esto se llevó a cabo la elaboración de los ensayos de resistencia a la compresión, flexión, abrasión, erosión y el ensayo de retracción y después de realizados los ensayos y mediante el análisis de los resultados se pudo determinar que el porcentaje que más aumento la resistencia en general con respecto a los bloques que no contenían ningún tipo de agregado fue al que se le añadió 0.5% de polietileno, destacando sobre todo en los ensayos de compresión y flexión]

PALABRAS CLAVE:

BTC, Polipropileno, Polietileno, Compresión, Flexión, Abrasión, Erosión, Retracción, Contaminación ambiental

Vº Bº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO



GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: Fabrication of Compressed Earth Blocks (CEB) With and Without The Use Of Reusable Additives: Polyethylene and Polypropylene, and Evaluating Environmental Effects.

AUTHOR(S): Carlos Augusto Rueda Mantilla
Freddy Josue Rueda Mantilla

FACULTY: Facultad de Ingenieria Civil

DIRECTOR: Carlos Fernando Rivera Peña

ABSTRACT

Compressed Earth Block (CEB) is a material made from compressed clay using a press machine. CEB can be used as a replacement for conventional brick for the construction of interior partition walls excluding exterior walls. In this investigative work, 108 CEB blocks were manufactured with 0.5%, 1%, 1.5%, and 2% of polyethylene added as well as 2%, 3%, 4%, and 5% of polypropylene. Once fabricated, the blocks underwent 21 days of curing and the development of the tests were carried out. The tests determined the resistance the CEB blocks had against compression, bending, abrasion, erosion, and shrinkage. After these tests took place, through the analysis of the results, it was determined that the blocks without additives had the most percentage increase in resistance versus the blocks which contained 0.5% of polyethylene. Furthermore, the blocks withstood above all in the compression and flexion tests.

KEYWORDS:

CEB, Polypropylene, Polyethilene, resistance, development

Vº Bº DIRECTOR OF GRADUATE WORK

1 Introducción

Los bloques de tierra comprimidos, más conocidos como “BTC”, son unos bloques contruidos a partir de una mezcla de arcilla y agua el cual se compacta con una máquina, se le puede añadir algún tipo de material para aumentar su resistencia, el BTC es en general empleado para reemplazar al ladrillo convencional, siendo utilizado para muro de exteriores o de aislamiento del calor. [1]

El presente trabajo esta dividido por capítulos 10 capítulos en los cuales los 3 primeros nos hablan sobre el planteamiento del problema, su justificación y los objetivos que se platearon en este trabajo, en los capítulos 5, 6 y 7 se puede observar las investigaciones que se realizaron para llevar a cabo el proyecto, así como el marco teórico y la metodología que se llevará a cabo y en los últimos capítulos se mostraron los resultados obtenidos, el análisis de resultados y las conclusiones

En sí, este proyecto tiene como finalidad evaluar si al añadir polietileno de alta densidad y polipropileno mejora las propiedades físico mecánicas del BTC con el objetivo de reducir la contaminación ambiental que estos causan debido a si no reciclabilidad.

2 Planteamiento del problema

Hoy en día el planeta se encuentra en una crisis ambiental debido a la gran contaminación que hay en diferentes partes del mundo, todo esto causado por el ser humano, el cual no es consciente de que al no tomar las medidas necesarias al respecto puede llevar a una destrucción de nuestro planeta a largo plazo. La mayor parte del denominado “Calentamiento global” se debe a el uso de combustible fósil y sus derivados como: Petróleo, Carbón, Gas, etc. Es cierto que diariamente se hace uso de los productos que en su fabricación requieren petróleo, como es el caso de las tapas de gaseosa que son fabricadas de polipropileno y la mayoría de envases que se compran en los super mercados los cuales contienen comidas, productos de aseo y demás embaces son fabricados en gran mayoría por polietileno de alta densidad.

Se propone una idea la cual se basa en incluir estos materiales que son contaminantes como aditivos en bloques de tierras comprimidos o mejor conocidos como BTC, para así evaluar su viabilidad y llegar a la conclusión de si sirven o no para la construcción de viviendas y así poder contribuirle al medio ambiente reciclando dicho material contaminante. [2]

3 Justificación

Debido a la gran contaminación que afecta nuestro planeta la cual ya se puede sentir con los aumentos excesivos de temperatura, el derretimiento de los polos, la mala calidad del aire, incendios forestales y en su gran parte es causado por el uso de combustible fósil como el petróleo y sus derivados, los seres humanos se deben poner en la tarea de contrarrestar toda esta problemática generando conciencia en cómo hacer bien el reciclaje de residuos contaminantes o como ir dejando a un lado su uso. Pero en un mundo tan desarrollado actualmente, en el que la gran mayoría de países depende del uso del petróleo, carbón, gasolina y etc. Se debe encontrar la forma en darle un buen uso a los materiales que desechan las personas cada día para así contribuir al medio ambiente y tratar de apaciguar los problemas que se avecinan por no reciclar correctamente y el seguir usando los materiales derivados del petróleo debido a la gran cantidad de CO₂ que emiten a su fabricación. [3]

4 Objetivos

4.1 Objetivo general

Determinar el diseño de mezcla óptimo del BTC con los aditivos añadidos y evaluar su posible mitigación al impacto ambiental.

4.2 Objetivos específicos

- 1.** Definir las propiedades físico-mecánicas del suelo (Textura, estructura, Porosidad, color, permeabilidad, porosidad, drenaje y consistencia) del cual se va a extraer el material para llevar a cabo la elaboración de los bloques de tierra comprimidos.
- 2.** Elaborar bloques de tierra comprimidos añadiendo 2%, 3 %, 4% y 5% de polipropileno y el 0.5%, 1%, 1.5% y 2% de polietileno de alta densidad.
- 3.** Analizar la aceptabilidad de los BTC mejorados bajo los criterios de la norma sismorresistente NSR-10 de la sección D mampostería estructural.
- 4.** Evaluar el impacto ambiental mitigado mediante la construcción de viviendas de interés social empleando BTC con los aditivos evaluados.

5 Antecedentes

Se realizaron las siguientes investigaciones para tomar como referencia las bases del proyecto que realizara:

El estudio titulado “Aprovechamiento de residuos de botellas PET en hormigón como un material de construcción compuesto innovador” tuvo como fin determinar si mejora la resistencia a la compresión de los BTC añadiéndoles 2%,4%,6% y 8% de botellas de plástico tipo PET. Los resultados arrojaron que la resistencia a la compresión aumentó considerablemente y también se comprobó que los bloques presentaban menor absorción de agua. [4]

Para elaborar un BTC que cumpla con los estándares de resistencia y calidad, se debe tomar partida de la norma NTC 5324 la cual es la establecida para bloque de suelo de cemento. y realizarle a dicho bloque algunos ensayos de desempeño. Luego de realizada una producción y seguido a esto el curado, se debe observar detalladamente las características con las cuales quedó el bloque (aspecto, textura, dimensiones y deformaciones) todo esto debe ser revisado cuidadosamente ya que un bloque optimo no presenta roturas ni deformaciones. Los ensayos a realizar a los bloques de tierra comprimidos son la resistencia a la compresión, el ensayo de resistencia a la abrasión y diferentes ensayos de capilaridad. Todo esto a partir de la norma colombiana NTC 5324. [5]

El estudio llamado “Influencia de la adición de residuos plásticos en las propiedades de los bloques de tierra estabilizada comprimida” publicado por la revista Journal of cleaner production en el año 2020, tuvo como intención evaluar las propiedades mecánicas y físicas de los BTC añadiéndole plástico triturado en cantidades de 0.5%, 1%, 1.5% y 2%. Una vez finalizado se determinó que al añadirle plástico de manera triturada en dichos porcentajes mostró una mejoría en la resistencia a la compresión y redujo la absorción del agua, así mismo, cabe agregar que entre más plástico contenían mayor reducción presentaban. [6]

El proyecto de grado llamado “Fabricación y reforzamiento de bloques de tierra compactada en Bogotá bajo la reutilización de las fibras de la poli sombra” habla sobre como afectaría al BTC al agregarse poli sombra el cual es un polietileno de alta densidad, para saber dichos resultados se sometieron a ensayos de erosión, compresión y abrasión. [7]

Se tomó como referencia el proyecto demonizado “Elaboración de BTC con suelos derivados de ceniza volcánica y materiales alternativos” en la cual incluyeron como aditivo al BTC un 6% de cemento portland y fibra de coco para evaluar si mejoro la resistencia comparada con un bloque normal o con otros aditivos. [8]

“Bloques de tierra comprimida estabilizados con cal evaluación de dosificación y resistencia a la compresión” el cual consiste en evaluar los bloques de tierra comprimidos producidos con tierra del monte vera los cuales son estabilizados con cal y hacer una comparación con los BTC estabilizados con cemento, todo esto con el fin de evaluar si es viable o no el reemplazo de la cal. [9]

Bloques de tierra comprimida adicionando fibras naturales: Para realizar BTC reforzados con fibra de coco, como primer paso se debe realizar un análisis a las características del suelo como: Plasticidad, humedad optima, granulometría, entre otras, mediante el ensayo de Proctor. Se realizaron los respectivos ensayos a la fibra de coco la cual cumplió con lo estipulado en la norma ASTM-C1116-89, dicha norma indica que cualquier fibra natural contiene unas características físico-mecánicas las cuales deben cumplir. Seguido a esto, se procedió a la elaboración de los bloques de grupo control, los cuales estaban estabilizados con 6% de cemento pero no contenían ningún tipo de fibra natural y se elaboró el grupo experimental el cual estaba conformado por 4 muestras de 10 especímenes cada una, las cuales contenían 0.5%, 1%, 1.5% y 2% de fibra de coco con relación al peso de cada muestra. Se escogieron dichos porcentajes debido a que en el procedimiento tradicional se utiliza un agregado del 1%, por lo que se establecieron porcentajes arriba y abajo del anterior mencionado. Una vez terminada la elaboración de las muestras, estas se sometieron a ensayos de resistencia a la compresión simple y al ensayo de absorción de agua tomando como

referencia la norma nom-C-36-1974 y por ultimo el ensayo de resistencia a la flexión según la norma nom-C-303- 1986. [10]

“Fabricación de BTC con adición de residuos de construcción y demolición como reemplazo del agregado pétreo convencional”. Debido a la problemática ambiental que presenta el Valle de Aburrá a causa del uso de recursos pétreos, que están compaginados con el sector de la construcción, a la gran cantidad de tierra que no se usa y se considera como residuo, y a la gran cantidad de residuos que son arrojados a los botaderos, se planteó la construcción de BTC añadiendo elementos que son considerados residuos en la construcción como reemplazo a los agregados pétreos que son los que más se emplean para mejorar la resistencia de los bloques. Una vez fabricados los bloques se le realizaron ensayos a la resistencia tales como la compresión, abrasión y capilaridad. Los ensayos demostraron que los ladrillos de BTC con adicción de residuo triturado, presentan una mejoría con respecto a los BTC que tienen agregados convencionales. Además, se observa que los BTC que contienen agregado convencional tienen un promedio de esfuerzo máximo del 60%, por otro lado, los que contienen residuos de construcción de manera triturada sobrepasan el 60% de esfuerzo promedio de los bloques que contienen agregado convencional.

Se pudo determinar que todos los bloques ensayados presentaron fallas plásticas, esto debido a que a que la tierra de forma intencional tiende a deformarse y a soportar cargas. En todos los bloques se presentaron grietas verticales, sin embargo, en los bloques que contenían menor cantidad de agregado se presentaban más grietas. Sumado a esto también se pudo demostrar que el BTC con agregado de triturado presenta menos grietas que el de agregado pétreo convencional. [11]

“Los materiales alternativos estabilizados y su impacto ambiental”. Después de caracterizar el material se procedió a la elaboración de los ladrillos (BTC) reforzados con cal hidratada, se planteó la fabricación de un BTC que contuviese las características idóneas en porcentaje, estas características son que cuente con un 60% de arcilla de baja plasticidad y un 40% de arena limosa, que el índice de plasticidad sea del 12%, el límite líquido un 32% y el plástico un 20% y en donde su peso volumétrico seco tenga un máximo de 1820kg/m³. Una vez establecidas sus características idóneas se le incorporará como primer estabilizante un 7% de

hidróxido de calcio en polvo y por ultimo un 8% de cemento CPO-20. Posterior a la elaboración y al curado de los ladrillos, seguido a esto, 20 bloques se sometieron a ensayos, siendo 10 para ensayo de resistencia a la compresión y otros 10 para el ensayo de resistencia a la absorción. Una vez ensayados, los bloques que contenían cal hidratada arrojaron una resistencia de 86.73Kgf/cm y los que contenían cemento arrojaron como resultado a la compresión 86.73Kgf/cm. Esto quiere decir que ambas muestras con los 2 tipos de agregados cumplen con la normativa mexicana la cual fue empleada. También se pudo observar que los bloques que contenían cal hidratada presentaron una absorción mínima de 5.60% y que los que contenían cemento presentaron una de 9.68% y la máxima para la cal hidratada fue de un 16% y la de cemento fue de 15.06%, lo que arroja un promedio para los BTC que contenían cal de 8.28% y para los que contenían cemento 11.73%, por lo que se puede decir que los bloques que contenían cemento CPO-20 tuvieron mejor absorción que los contenían el otro tipo de material, pero cabe mencionar que los bloques con los 2 tipos de agregado cumplen con la normativa NMX - C - 441 - ONNCCE – 2005. [12]

“Mejoramiento de propiedades mecánicas de bloques de tierra comprimida (BTC) reforzado con fibra natural y cemento”. Con el propósito de buscar dosificaciones para el proyecto, se realizó esta investigación de este documento, en el cual, reiterativamente se realizan bloques de tierra comprimida reforzado con fibras naturales, esta vez usando la caña de azúcar como principal material, y se busca obtener un % para agregar a la tierra, por ello dentro de este encontramos que, en su momento, se usaron fibras de origen vegetal (*hibiscus cannabinus*) en diferentes proporciones (0,0.2,0.4 y 0.8%). Una vez culminados los ensayos, estos arrojaron unos resultados los cuales indicaron que el BTC que contenía 0.4% de fibra alcanzó una resistencia a la compresión de 2.85 Mpa y resistencia a la flexión de 0.98Mpa, siendo superiores a los bloques que no estaban reforzados y a los bloques que contenían 0.2% y 0.8% de fibra. Una vez realizados los ensayos de compresión y flexión, se realizaron los ensayos de erosión y abrasión, los cuales demostraron que los bloques que contenían 0.4% de fibra presentaron la menor erosión la cual es de un 4.3% y la mínima abrasión que fue de 0.01g(m²). Por lo cual se puede decir que las fibras entre un 0.4 y un 0.6% ayudan a los bloques a mejorar sus propiedades mecánicas y físicas. [13]

6 Marco teórico

6.1 Bloque de tierra comprimido

El BTC es un bloque de tierra compacta, que se fabrica con una mezcla de tierra y un material estabilizante para mejorar sus propiedades de resistencia, siendo así un material apto para construir de manera sostenible. Este bloque se realiza utilizando una prensa mecánica. A su vez podemos definir el BTC como un material térmico, ya que la tierra es un regulador natural de la temperatura, por lo tanto, la utilización de estos ayuda a regular de forma natural el ambiente del proyecto. Cabe resaltar que un muro construido con ladrillos de BTC absorbe la humedad cuando el clima es húmedo y la libera cuando el aire es seco, es un material termodinámico. Es un material muy bueno energéticamente, a lo largo de los años se ha demostrado que las construcciones de estos muros son capaces de almacenar gran energía solar. Cuando el ladrillo se recubre aumenta la eficiencia energética, ya que estará caliente en clima de invierno y fresco en verano.

Es muy importante resaltar que la elaboración de ladrillos de BTC son amigables con el medio ambiente, ya que se realizan por medio de una prensa mecánica, diferente al ladrillo convencional los cuales se cocinan en hornos, los cuales consumen combustibles fósiles y emiten grandes cantidades de CO₂. A medida que avanza la tecnología con el pasar del tiempo se implementan técnicas constructivas que beneficien el planeta; pues este, está siendo afectado por el calentamiento global y la producción de plástico, el causante del mayor contaminante del mundo ya que su tiempo de degradación es de cientos de años, es por eso que algunas compañías y algunas personas intentan revestir esta contaminación empleando los materiales contaminantes en procesos constructivos, como en el caso de los BTC, agregando residuos de plástico y sus derivados para mejorar su resistencia. [13]

6.2 Materiales

6.2.1 Arcilla de alta plasticidad

Para la correcta elaboración de los BTC se deben realizar con arcilla de alta plasticidad, la cual tiene como característica principal que es capaz de deformarse sin agrietarse, lo que ayuda a la correcta elaboración del bloque. Estas dependen en gran parte del contenido de agua ya que si esta seca no es plástica y no se pueden elaborar los bloques porque inmediatamente se agrietarían y deformarían. [14]

6.2.2 Polietileno de alta densidad

El polietileno de alta densidad es un polímero que proviene del petróleo, este polímero es uno de los que mayor uso tienen alrededor del mundo, ya que lo encontramos en todo tipo de envases de uso cotidiano.

El polietileno de alta densidad es un material fuerte y duro, lo que lo hace muy resistente, pero lo que lo hace mejor es su alta flexibilidad para la elaboración de juguetes, envases, botellas y etc. Es el tipo de material ideal que usan para fabricar envases de productos químicos, corrosivos, ácidos y pesticidas debido a su gran resistencia. Al ser un material que soporta extremas temperaturas, tanto bajas como altas, hace que su vida y descomposición sean muy largas, por lo tanto, representa una gran contaminación al planeta tierra.

Al no ser un material tóxico favorece a su reciclabilidad, ya que son 100% reciclable todo tipo de polietileno de alta densidad, por lo que grandes, medianas y pequeñas industrias proceden a reciclar dichos materiales para volver a usarlos, ya que diariamente se desechan gran cantidad de estos productos desde los hogares comunes. [15]

6.2.3 Polipropileno

Las tapas de plástico son usadas en todo tipo de envases, ya sea en gaseosas, productos de aseo, materiales de construcción y etc. En Colombia el 56 % del plástico contaminante corresponde al grupo de los pitillos, tapas de refresco o envases de jugo. Ese 56 % en Colombia no se compara con los países más contaminantes del mundo, que hace que el intento de reciclar y dejar a un lado el uso del plástico se vuelve cada mes más complicado.

Para producir las tapas de plástico se produce energía, sobre todo combustibles fósiles como el carbón, petróleo, etc. Como es bien sabido, este tipo de combustibles son energía no renovable altamente contaminante para nuestro planeta debido a la gran cantidad de Co2 que emiten en su proceso de extracción y su uso. [16]

Para conocer más sobre cuanta contaminación produce la elaboración del plástico de polipropileno se lleva a cabo a la siguiente relación. Por una tonelada de plástico se necesitan 2 de petróleo lo que equivale a 6 veces el consumo anual de una familia promedio de 4 integrantes cada una. Muchas personas en el mundo que no tienen conocimiento sobre el reciclaje deciden quemar el plástico, no sabiendo que el plástico es en sí petróleo puro y que al quemarlo causa gran contaminación. [17].

6.3 Caracterización del polietileno y polipropileno

Independientemente de para que sea empleado el polietileno de alta densidad siempre va a conservar sus mismas propiedades y al ser un material producido mundialmente y de un uso excesivo se pueden conocer sus propiedades físico mecánicas ya que las fábricas las proporcionan.

6.4 Ensayos de campo

6.4.1 Caracterización del suelo

Al ser los bloques de tierra comprimidos un método de construcción vernáculo, los cuales son propios de Colombia y su elaboración no resulta ser complicada al solo ser un proceso de compactación mediante una máquina, se puede caracterizar el suelo por medio de métodos vernáculos, ya que estos son métodos simples, económicos y altamente efectivos que nos permiten evaluar las propiedades del suelo y mediante por el cual se puede determinar si es apto para algún tipo de construcción, los métodos vernáculos nos permiten determinar las propiedades que los ensayos de laboratorio también nos da como : Color, Textura y estructura del suelo. [18]

Antes de comenzar a construir los BTC es importante saber las propiedades físico mecánicas del suelo, para así poder determinar si es óptimo o no para la construcción del bloque. Los

ensayos que se van a realizar están expuestos en la siguiente tabla y fueron tomados de la red iberoamericana de proterra para la selección de suelos y métodos de control en la construcción en tierra. [19] Para mejor analices de datos se proceden a llenar unas tablas propuestas por Técnica de construcción en tierra elaborado por ing Carlos rivera apartir del Manual de selección de suelos y métodos de control en la construcción en tierra de proterra. [20]

Tabla 6.3.1 Ensayos de caracterización del suelo

Número de ensayos de ensayos	Nombre de ensayo
1	Test del tamaño de las particulas
1	Test del color
1	Caracterización por brillo
1	Test de caída de bola
1	Test del vidrio
1	Test del cordon
1	Test de la cinta
1	Test de la exudación
1	Test de la resistencia seca
1	Test del rollo

Fuente: Autores

6.5 Ensayos de laboratorio

6.5.1 Ensayo de resistencia a la compresión

El ensayo de compresión es uno de los más importantes junto con el ensayo de tracción y flexión. El ensayo de compresión tiene como finalidad determinar el comportamiento de un material que está sometido a una carga aplastante, es importante realizar este ensayo ya que nos permite evaluar la integridad y seguridad del material. Para llevar a cabo este ensayo de una manera rápida y eficaz se debe seguir la norma NTC 3495, en la cual se puede encontrar todo el proceso a seguir, así como los datos que se deben tomar y los cálculos que se deben realizar. [21]

6.5.2 Ensayo de resistencia a la flexión

El ensayo de resistencia a la flexión permite determinar la capacidad que tiene un material para soportar cargas o fuerzas que son aplicadas perpendicularmente a su eje longitudinal, para una buena aplicación de este ensayo se debe seguir lo estipulado en la norma NTC 2017 [22] de adoquines de concreto para pavimentos, en la cual se encontrará el proceso a seguir, que datos tomar y que cálculos realizar. [23]

6.5.3 Ensayo de resistencia a la erosión

Este ensayo tiene como finalidad determinar la resistencia a la erosión que provoca las lluvias a los elementos elaborados a partir de la tierra, para así depende de su resultado determinar si es viable o no para el uso de muros de mampostería y si requieren o no un revestimiento. Para este trabajo se llevó a cabo el método de Geelong el cual es el más recomendado para los bloques que tienen algún aditivo en pequeña cantidad y nos podemos ayudar de la red argentina protierra del 2020 la cual se apoya en la norma UNE 41410 de España. [24]

6.5.4 Ensayo de resistencia a la abrasión

La resistencia a la abrasión nos permite conocer la capacidad que tiene la superficie de un material para resistir el desgaste causado por la fricción a la que puede ser sometido. Este ensayo igual que el de la erosión nos permite determinar si son viables o no para el uso de exteriores y dependiendo de sus resultados saber si se le debe o no realizar revestimiento. [24]. La red argentina de protierra que nos hace una guía de este ensayo tiene como referencia la norma colombiana NTC 5324. [25]

6.5.5 Ensayo de retracción

La retracción por secado es el cambio de volumen de un material de estado fresco a seco y cuya causa no está relacionada con cargas externas, pero que su interior está sometido a compresión debido a la evaporación progresiva del agua que está en los poros la mezcla, por lo tanto, en proceso de retracción es un ensayo que es totalmente natural. Para llevar a cabo este ensayo se tomó como referencia el manual de evaluación de daños y soluciones para construcciones en tierra cruda de Chile. [26]

7 Metodología

La metodología empleada para el siguiente trabajo de investigación consta de 4 fases.

7.1 Caracterización del material

El bloque de tierra comprimido al ser una técnica vernácula se puede caracterizar mediante ensayos de campo, los cuales permiten la identificación de las propiedades de la tierra. [19] Dicho lo anterior se procede a extraer una muestra del suelo, el cual está ubicado en una ladera de la universidad Pontificia Bolivariana y del cual ya se habían extraído muestras para la realización de distintos ensayos y proyectos. Una vez obtenidas muestras del suelo, se procede a realizar su caracterización en la cual se pueden evaluar sus propiedades físico-Mecánicas como: Textura, color, permeabilidad, porosidad, drenaje y consistencia. [27]

Los ensayos de caracterización que se van a emplear son los siguientes:

7.1.1 Test del tamaño de las partículas

Para realizar este ensayo se procede a separar con las manos las partículas de mayor tamaño de las que no lo tienen, las partículas más grandes son arenas y gravas y las otras son limos y arcillas, una vez separadas se puede observar cual tipo de tierra es mayor. Se consideran pequeñas las partículas que tienen 4mm de diámetro o menos y grandes las que tienen más de 4mm. Después de realizar el ensayo se procede a llenar el siguiente cuadro para proceder con la clasificación del suelo:

Tabla 7.1.1.1 Test del tamaño de las partículas

Test Táctil Visual	marque con una X	clasificación
Limos y arcillas > Arena y grava		Limosa o arcillosa
Limos y arcillas < Arena y grava		Arenosa

Fuente: Técnica de construcción en tierra elaborado por ing Carlos rivera a partir del Manual de selección de suelos y métodos de control en la construcción en tierra de proterra

7.1.2 Test del color

En el test del color se coloca la tierra a la luz para poder apreciar bien su color, si es color claro y brillante es suelo inorgánico y si es café oscuro, verde oliva o negro es suelo orgánico. Una vez observada la muestra se completa la siguiente tabla:

Tabla 7.1.2.1 Test del tamaño de las partículas

marque con X	color	característica
	claros y brillantes	suelo inorgánico
	café oscuro, verde oliva o negro	suelo orgánico

Fuente: Técnica de construcción en tierra elaborado por ing Carlos rivera a partir del Manual de selección de suelos y métodos de control en la construcción en tierra de proterra.

7.1.3 Caracterización por brillo

Al formar una bola del tamaño de la mano con material fino y agua, se procede a cortarla por la mitad para poder observar su superficie. Si la bola presenta un color brillante es arcillosa, poco brillo es limosa y opaca es arenosa. Al terminar el ensayo se completa la siguiente tabla:

Tabla 7.1.3.1 Test del tamaño de las partículas

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

Fuente: Técnica de construcción en tierra elaborado por ing Carlos rivera a partir del Manual de selección de suelos y métodos de control en la construcción en tierra de proterra.

7.1.4 Test de caída de bola

Se procede a elaborar una bola usando tierra seca y un poco de agua (lo menos posible) que tenga un diámetro entre 4 y 3 cm, seguido a esto se dejará caer desde 1m de altura y seguido a esto se procede a ver las fisuras causadas por la caída. Entre menos fisuras tengan significa que está compuesta en su mayoría por arcillas y entre más fisuras tengan es porque presentan mayor cantidad de arenas. Una vez terminado de completa la siguiente tabla:

Tabla 7.1.4.1 Test del tamaño de las partículas

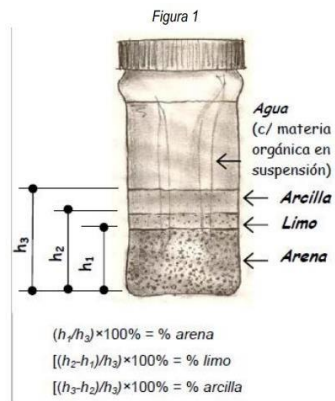
Fisuras después de la caída	Marque con una X
Ninguna	
Algunas	
muchas	
desintegración total	

Fuente: Técnica de construcción en tierra elaborado por ing Carlos rivera a partir del Manual de selección de suelos y métodos de control en la construcción en tierra de proterra.

7.1.5 Test del vidrio

En un recipiente cilíndrico, liso y transparente se agrega 1/3 de tierra seca, 2/3 de agua y se agita fuertemente la mezcla, se deja en reposo 1 hora, se vuelve a agitar y a dejar en reposo otra hora y seguido a esto se miden las alturas de las distintas capas que se formaron.

Grafica 7.1.5.1 test del vidrio



Fuente: red iberoamericana de proterra para la selección de suelos y métodos de control en la construcción en tierra

Una vez realizado el ensayo se completa la siguiente tabla:

Tabla 7.1.5.1 Test del tamaño de las partículas

altura [cm]	Porcentaje
h1	Arena
h2	Limo
h3	Arcilla

Fuente: Técnica de construcción en tierra elaborado por ing Carlos rivera a partir del Manual de selección de suelos y métodos de control en la construcción en tierra de proterra.

Una vez completada la tabla se procede a clasificar el sueño mediante la siguiente imagen:

Grafica 7.1.5.2 clasificación test del vidrio



Fuente: Red iberoamericana de proterra para la selección de suelos y métodos de control en la construcción en tierra

7.1.6 Test del cordón

Sobre una superficie lisa y plana se elabora un cordón de tierra seca y agua, el cual se rompió con 3 mm de diámetro y con ello se forma una bola la cual se aplasta con el pulgar, para así determinar si el tipo del cordón era duro, suave, frágil o suave. Una vez se realiza el ensayo de completa la siguiente tabla:

Tabla 7.1.6.1 Test del tamaño de las partículas

Marque con una X	Tipo del cordón	Ruptura de la bola	Clasificación y interpretación
	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 aptopara ningun tipo de construcción

Fuente: Técnica de construcción en tierra elaborado por ing Carlos rivera a partir del Manual de selección de suelos y métodos de control en la construcción en tierra de proterra.

7.1.7 Test de la cinta

Con tierra seca y pequeñas cantidades de agua se elabora un cordón del tamaño de un cigarrillo, con el cual se formó una cinta de 3 a 6mm de espesor con el máximo largo posible. Al finalizar se completa la siguiente tabla:

Tabla 7.1.7.1 Test del tamaño de las partículas

Marque con una 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
	Es posible formar una cinta de 5 a 10 cm con dificultad	Tierra arcillo-limosa, arenosa o areno-arcillosa; plasticidad mediana
	No se hace la cinta	Bastante limo o arena y poca arcilla; sin plasticidad

Fuente: Técnica de construcción en tierra elaborado por ing Carlos rivera a partir del Manual de selección de suelos y métodos de control en la construcción en tierra de proterra.

7.1.8 Test de la exudación

El test de la exudación consiste en tomar una porción de tierra bastante húmeda y golpearla pasando de una mano a otra, esto con el fin de que el agua salga a la superficie. Una vez realizado se completa la siguiente tabla:

Tabla 7.1.8.1 Test del tamaño de las partículas

MARQUE CON UNA X	TIPO DE REACCIÓN	número de golpes	Efecto en la muestra	Calsificación interpretada
	Rápida	5 a 10	El agua aflora a la superficie de la muestra; la presión de los dedos hace el agua desaparecer inmediatamente y una presión más fuerte aplasta la torta	poca plasticidad; arena fina inorgánica o limo grueso inorganico; tierra arenosa o limosa
	Lenta	20 a 30	El agua aparece y desaparece lentamente; la presión de los dedos hace con que la torta se deforme como una masa de caucho	limo ligeramente plástico o limo arcilloso
	Muy lenta	más de 30	no hay cambio notable	tierra de alta plasticidad, arcilla

Fuente: Técnica de construcción en tierra elaborado por ing Carlos rivera a partir del Manual de selección de suelos y métodos de control en la construcción en tierra de proterra.

7.1.9 Test del rollo

Con una porción de tierra húmeda se formó un cordón de 200mm de largo y 15mm de diámetro, el cual se fue exponiendo en el borde de la superficie hasta que se rompiera. Al terminar el ensayo se completa la siguiente tabla:

Tabla 7.1.9.1 Test del tamaño de las partículas

marque con X	ruptura del cordón	interpretación
	menos de 80 mm	no hay arcilla suficiente
	entre 80 y 120 mm	cantidad ideal de arcilla
	mayor a 120 mm	exceso de arcilla

Fuente: Técnica de construcción en tierra elaborado por ing Carlos rivera a partir del Manual de selección de suelos y métodos de control en la construcción en tierra de proterra.

Una vez terminados los ensayos de caracterización se procede a clasificar cada uno de los ensayos según las siguientes tablas, las cuales nos muestra que tipo de muestra es y si apta o no para la construcción de BTC.

Tabla 7.1.1 tipo de suelo y técnica constructiva indicada por test expeditos

Test del cordón	Test de la cinta	Test de exudación	Test de la resistencia seca	Tipo de tierra	Técnica constructiva
Cordón frágil o resistencia nula	Cinta corta o no se consigue hacer la cinta	Reacción rápida a lenta, pero jamás muy lenta	Poca a nula, generalmente nula	Arenosa; areno-limosa; areno-arcillosa; limo-arcillosa	ladrillos 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, mas posible con el uso de aglomerante
Cordón blando	Cinta corta a larga	Reacción muy lenta o sin reacción	Mediana a grande	Arcillosa con grava, arcillo-arenosa y arcillo-limosa	Posible usar para la tierra compactada o ladrillo prensado, con aglomerante
Cordón duro	Cinta larga	Sin reacción	Grande	Arcillosa	Posible usar para fabricación de adobe con adición de fibras y embarrado de técnicas mixtas

Fuente: Adaptación de CEPED, 1984

Tabla 7.1.2 Recomendaciones para selección de la técnica de construcción

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	

Fuente: CRAterre 1979

7.2 Elaboración de los BTC añadiendo aditivos de polietileno y polipropileno

Al realizar las investigaciones previas a empezar con la realización del trabajo, se encontraron los siguientes estudios: un estudio que tiene como nombre “Influencia de la adición de residuos plásticos en las propiedades de los bloques de tierra estabilizada comprimida” en el cual se añadieron al BTC 0.5%, 1%, 1.5% y 2% de plástico de manera triturada [4] y otro estudio en el cual se añadieron 2%, 4%, 6% y 8% de botellas pet al BTC [6]. Se tomó como referencia ambos estudios para este proyecto y por eso se decidió que se iban a añadir 0.5%, 1%, 1.5% y 2% de polietileno de alta densidad y 2%, 3%, 4% y 5% de polipropileno, estos últimos se asemejaron con respecto al 2do estudio ya que por motivos económicos era muy difícil obtener más cantidad de polipropileno y por eso se escogió un rango entre 2% y 5% que entre 2% y 8%.

Después de establecidos los porcentajes de aditivo que se van a añadir a los BTC, se realizó una investigación en la cual se quería saber cuál era la manera más óptima de añadir el aditivo, dichas investigaciones arrojaron que la mejor manera de añadirlo era de forma

triturada, ya que permite que se realice mejor la mezcla con la arcilla y así presentar mejor compactación, también al estar triturados y por ende más pequeños presenta una mejor adhesión lo que conlleva a una mejor cohesión entre los materiales lo que hace que los bloques sean más sólidos y resistentes, así como hace que el BTC presente mayor estabilidad y mejor aislamiento térmico. [28]

Se realizó una investigación previa en la cual se pudo conocer que la densidad de las arcillas varía entre 1.0 a 1.3 g/cm³ [29] y al realizar la investigación de las propiedades de los plásticos se pudo conocer que la densidad del polietileno es de 0.96g/cm³ y la del polipropileno es de 0.901g/cm³ [30], por lo que al compararlas se puede apreciar que están en un rango similar.

Una vez establecidos los porcentajes que se van a emplear y decidido que la mejor manera de incluirlos al bloque de tierra comprimido es de manera triturada, se procede a la elaboración del bloque, la forma de incluir el aditivo en el bloque de tierra comprimido se hará sacando el porcentaje de cada peso del bloque, por ejemplo: Para armar un bloque se requerirán 9 kg de arcilla, suponiendo que se le va a agregar 0.5% de polietileno al bloque, se saca el 0.5% de 9kg que es la cantidad de arcilla que se necesita para elaborarlos, entonces al sacar ese resultado, esa es la cantidad de polietileno triturado que se le echa a la mezcla la cual se va a emplear para la elaboración del BTC, así mismo, se estableció que la cantidad de agua necesaria para compactar los bloques es del 20% con respecto a la cantidad de arcilla que se requiere, es decir, la humedad óptima es del 20%

Se elaboraron un total de 108 bloques de tierra comprimida, 12 sin ningún tipo de agregado, es decir BTC convencional, 48 con agregado de polietileno y 48 con agregado de polipropileno, lo que quiere decir que para cada porcentaje individual se elaboraron 12. Esto se realizó con el fin de obtener un mejor resultado al momento de comparar los datos obtenidos, ya que para cada ensayo se disponen de 3 muestras.

Una vez elaborados los 108 BTC no se elaboraron más muestras ya que los 108 fueron la totalidad de los especímenes elaborados y que se dispusieron a ensayar.

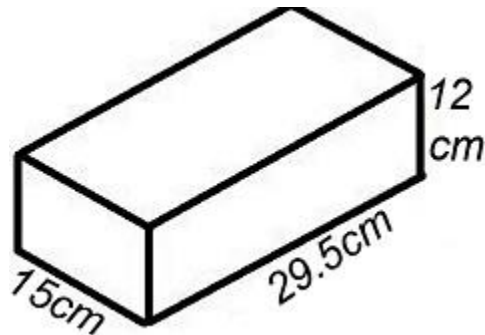
En la siguiente tabla se puede observar de una manera detallada la cantidad de bloques que van a ser construidos:

Tabla 7.2.1 Numero de BTC fabricados

Sin agregado	No. De bloques
0	12
% de agregado de polipropileno	No. De bloques
2	12
3	12
4	12
5	12
% de agregado de polietileno	No. De bloques
0,5	12
1	12
1,5	12
2	12
Total	108

Fuente: Autores

Figura 7.2.1 dimensiones de los BTC



Fuente: Autores

Una vez elaborados los bloques, con la mezcla sobrante de cada porcentaje, se aprovecha para realizar el ensayo a retracción los cuales quedan distribuidos de la siguiente manera:

Tabla 7.2.2 Numero de ensayos a retracción fabricados

Sin agregado	Cantidad en formaleta de retracción
0	5
% de agregado de polipropileno	No. De bloques
2	5
3	5
4	5
5	5
% de agregado de polietileno	No. De bloques
0,5	5
1	5
1,5	5
2	5
Total	45

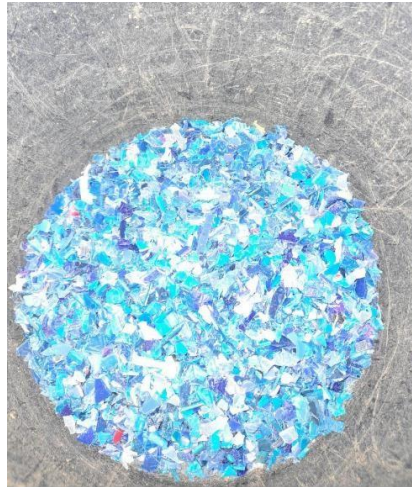
Fuente: Autores

Figura 7.2.2 Maquina empleada para elaborar los bloques de tierra comprimido



Fuente: Autores

Figura 7.2.3 Polietileno de alta densidad triturado



Fuente: Autores

Figura 7.2.4 polipropileno de alta densidad triturado



Fuente: Autores

7.3 Ensayos de resistencia a la compresión, flexión, erosión, abrasión y ensayo de retracción.

Para desarrollar este objetivo, los BTC se van a someter a diferentes ensayos, entre los cuales están: Resistencia a la compresión, flexión, erosión, abrasión y el ensayo de retracción.

Los ensayos mencionados anteriormente están enfocados al BTC más no al aditivo, ya que el enfoque del proyecto está en analizar el comportamiento de los bloques en los diferentes ensayos que se les a realizar y así poder determinar cuál es el bloque de tierra comprimido más óptimo para ser empleado en la construcción de viviendas de interés social.

Una vez elaborados los BTC, se dejaron 28 días protegidos de la lluvia y del sol, para que tuviera un secado totalmente natural y así poder ensayarlos de forma correcta.

Nota: Todos los BTC tienen las mismas dimensiones ya que todos fueron elaborados a partir de la misma máquina.

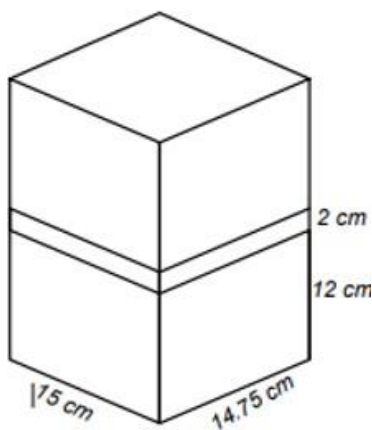
7.3.1 Ensayo de resistencia a la compresión

El proceso para llevar a cabo el ensayo de resistencia a la compresión se encuentra en las normas NTC 5324 [25] la cual define las características que deben cumplir los bloques que se elaboran con el fin de ser utilizados en muros y divisiones. Para el procedimiento que nos ayuda a determinar la resistencia a la compresión y la elaboración de muretes de mampostería se sigue lo que indica la norma NTC 3495. [31]

El objetivo de este ensayo es determinar la máxima resistencia a la compresión de 24 BTC, cada BTC se va a dividir para formar muretes lo cual estipula la norma NTC 3495. Los muretes serán sometidos a una carga axial la cual permitirá calcular la fuerza que puede soportar y seguido a esto calcular la resistencia o el esfuerzo.

Para la elaboración de muretes se debe fraccionar el bloque en partes iguales (lo más preciso que se pueda) y se elaboran con pega del mismo material del que fue construido el material, los muretes de unidades solidas se deben construir de la siguiente manera según lo indica la NTC 3495. [31]

Figura 6.3.1.1 Modelo de construcción de murete para ensayo de compresión



Fuente: Autores

En la anterior imagen se puede observar las dimensiones de los muretes que se van a realizar para el ensayo de compresión.

La cantidad de muretes ensayados se encuentran en la siguiente tabla, la cual también muestra el porcentaje de cada uno de los ensayos.

Tabla 7.3.1.1 Numero de muretes ensayados a compresión con su respectivo % de agregado

Ensayo de resistencia a la compresión	
Sin agregado	Cantidad de muretes
0%	3
% de polipropileno	Cantidad de muretes
2	3
3	3
4	3
5	3
% de polietileno	Cantidad de muretes
0,5	3
1	3
1,5	3
2	3
Total	27

Fuente: Autores

Cabe recordar que este ensayo indica la resistencia experimental, por lo que se debe calcular la resistencia a la compresión por medio de las ecuaciones que establece la norma, para ello se emplea la siguiente ecuación:

$$C = \frac{P}{A}$$

Donde:

- C = Esfuerzo por compresión (Mpa)
- P = Carga máxima aplicada (N)
- A = Área de la sección (mm²)

7.3.2 Ensayo de resistencia a la flexión

La resistencia a la flexión consiste en aplicar una carga en el tercio medio del bloque de manera perpendicular a su eje longitudinal, los bloques que fueron ensayados se encuentran de manera detallada en la siguiente tabla:

Tabla 7.3.2.1 Numero de BTC ensayados a flexión con su respectivo % de agregado

Ensayo de resistencia a la flexión	
Sin agregado	Cantidad de bloques ensayados
0	3
% de agregado de polipropileno	No. De bloques
2	3
3	3
4	3
5	3
% de agregado de polietileno	No. De bloques
0,5	3
1	3
1,5	3
2	3
Total	27

Fuente: Autor

En la siguiente imagen se puede observar el procedimiento de ensayo de resistencia a la flexión de los bloques correspondientes.

Figura 6.3.2.1 ensayo de resistencia a la flexión de ladrillo virgen



Fuente: Autores

En la anterior imagen se observa un BTC en posición para ser ensayado a la resistencia a la flexión, también se puede observar cómo debe ser ubicado y la grieta que se produce al fallar el bloque.

Este ensayo se lleva a cabo mediante lo estipulado en la norma NTC 2017 [22] de adoquines de concreto para pavimentos, al igual que el ensayo de resistencia a la compresión se debe realizar el cálculo para obtener el módulo de rotura y para ello se emplea la siguiente ecuación:

$$Mr = \frac{(3 C_{max} * (li - 20))}{((ar + ai)er^2)}$$

Donde:

Mr = Modulo de rotura en Mpa

Cmax = Carga máxima de rotura en N

li = Longitud del rectángulo inscrito en mm

ar = Ancho real del espécimen en mm

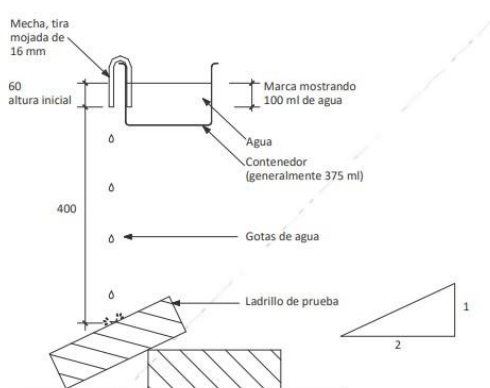
ai = Ancho del rectángulo inscrito en mm

er = Espesos real del espécimen en mm

7.3.3 Ensayo de resistencia a la erosión

El método que se empleó para llevar a cabo el ensayo de resistencia a la erosión fue el método de Geelong el cual para realizarlo de manera adecuada se tomó como referencia lo descrito en la red argentina protierra. [24] Este ensayo es muy importante, ya que permite conocer si se deben o no realizar revestimientos en los bloques que se destinaran a uso de muros exteriores. Para llevar a cabo este ensayo se requiere un recipiente de agua transparente para almacenar un aproximado de 400ml de agua y una salida de gotas de 16mm de diámetro, para entenderlo de mejor manera nos podemos guiar a través de la siguiente imagen:

Figura 7.3.3.1 modelo método Geelong para ensayo de resistencia a la erosión.



Fuente: Red argentina de protierra

Los bloques que se destinaron para este ensayo fueron distribuidos de la siguiente manera:

Tabla 7.3.3.1 Numero de bloques que se ensayaron a erosión con su respectivo % de agregado

Ensayo de resistencia a la erosión	
Sin agregado	Cantidad de bloques ensayados
0	3
% de agregado de polipropileno	No. De bloques
2	3
3	3
4	3
5	3
% de agregado de polietileno	No. De bloques
0,5	3
1	3
1,5	3
2	3
Total	27

Fuente: Autores

En la siguiente imagen se puede observar cómo se llevó a cabo el procedimiento para el ensayo de cada uno de los bloques con distinto agregado.

Figura 7.3.3.2 ensayo de resistencia a la erosión de bloques con agregado de polietileno



Fuente: Autores

En la imagen mostrada anteriormente se observan 3 BTC ubicados de tal manera que el BTC quede ligeramente inclinado para desarrollar el ensayo de una manera correcta, para modelar la caída de las gotas se utilizaron unas bolsas que son utilizadas como contenedores de

solución salina las cuales nos permiten graduar el número de gotas ya que para realizar el ensayo correctamente se debe erogar 100 ml de agua en un periodo de entre 20 y 60 minutos. [24]

Una vez finalizado el ensayo a los 27 ladrillos, se dispone a la toma de datos y a comprar con la siguiente tabla para contrastar los resultados con el nivel de resistencia y así determinar si necesita o no revestimiento.

Tabla 7.3.3.2 Nivel de resistencia a la erosión húmeda

Profundidad de erosión D (mm)	Nivel de resistencia a erosión húmeda	
Método Geelong		
-	1	Apto para uso en exteriores sin protección
D < 5	2	Apto para uso en exteriores
5 < D < 10	3	Se recomienda proteger de lluvias directas
10 < D < 15	4	Revestir o proteger de lluvias directas
D > 15	5	No apto

Fuente: Manual proterra BTC

7.3.4 Ensayo de resistencia a la abrasión

El ensayo de resistencia a la abrasión se realiza con el de determinar la resistencia que tiene la superficie del bloque al desgaste, en este ensayo se toma como referencia la red argentina de protierra [24] y la NTC 5324 colombiana. [25]

Los bloques que fueron usados para este ensayo están distribuidos de la siguiente manera:

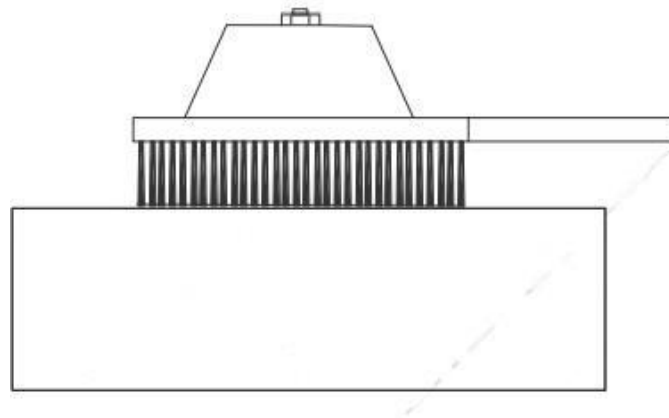
Tabla 7.3.4.1 Numero de bloques ensayados a resistencia de abrasión con su respectivo % de agregado.

Ensayo de resistencia a la abrasión	
Sin agregado	Cantidad de bloques ensayados
0	3
% de agregado de polipropileno	No. De bloques
2	3
3	3
4	3
5	3
% de agregado de polietileno	No. De bloques
0,5	3
1	3
1,5	3
2	3
Total	27

Fuente: Autores

Para realizar este ensayo necesita una balanza, un cepillo con cerdas de acero y sobrecarga de 3kg y una brocha para limpiar la superficie. Luego de tener todos los materiales necesarios para el ensayo se procede a pesar el bloque, se registra ese dato y se procede a realizar un cepillado de horizontal hacia lo largo del BTC 60 veces (ida y vuelta) y al finalizar se limpia la superficie, se registra el peso y se toma un promedio de la anchura la cual fue provocada por el desgaste del cepillo. Para entenderlo de mejor manera, se toma como referencia lo expuesto en la siguiente imagen.

Figura 6.3.4.1 Modelo ensayo de abrasión



Fuente: Red argentina de pro tierra

Una vez finalizado el ensayo y tomado los datos se calcula la superficie cepillada S mediante la siguiente formula:

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

Donde:

- S = Superficie cepillada en Cm^2
- L = Largo del bloque en mm
- l = Ancho de la cepillada en mm

Una vez calculado S se calcula el coeficiente de abrasión Ca mediante la siguiente formula:

$$Ca = \frac{S}{m. inicial - m. final}$$

Donde:

- Ca = Coeficiente de abrasión en cm^2/g
- S = Superficie cepillada en cm^2

- m.inicial = Peso inicial del bloque en g
- m.final = Peso final del bloque en g

Una vez obtenido el coeficiente de abrasión se contrasta con los datos de la siguiente tabla para así determinar su nivel de resistencia:

Tabla 7.3.4.2 Nivel de resistencia a la abrasión

Nivel de resistencia a la abrasión	1	2	3	4
Coefficiente de abrasión Ca (cm ² /g)	> 7	7 < Ca ≤ 5	5 < Ca ≤ 2	Ca ≤ 2

Fuente: Red argentina de protierra

Los bloques que se encuentren entre nivel 1 y 2 pueden ser usados para muros exteriores sin necesidad de aplicarles revestimiento y los que estén entre el nivel 3 y 4 deben ser revestidos para usar en muros exteriores. [24] [25]

7.3.5 Ensayo de retracción

El ensayo de retracción es un proceso en el cual se evalúa el cambio tridimensional de la mezcla empleada para la elaboración de bloques húmeda y luego endurecida, la mezcla en las formaletas se deja un aproximado de 15 días y se puede agilizar el proceso al meterlas a un horno. [32]

Para el ensayo se emplearon las siguientes formaletas:

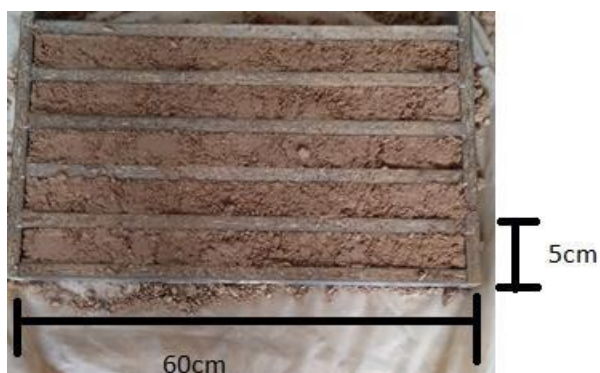
Tabla 7.3.5.1 Cantidad de ensayos de retracción

Sin agregado	Cantidad en formaleta de retracción
0	5
% de agregado de polipropileno	No. De bloques
2	5
3	5
4	5
5	5
% de agregado de polietileno	No. De bloques
0,5	5
1	5
1,5	5
2	5
Total	45

Fuente: Autores

Las siguientes imágenes muestran el proceso de todos los porcentajes de mezcla sometidos al ensayo de retracción.

Figura 7.3.5.1 ensayo de retracción de mezcla sin agregado



Fuente: Autores

En la anterior imagen se puede observar cómo fueron llenadas las formaletas de mezcla empleada para la elaboración de los BTC, para este ensayo se necesitaron formaletas de 60cm de largo x 5 cm de ancho.

7.4 Evaluar el impacto ambiental que se puede mitigar mediante la construcción de viviendas de interés social usando el BTC con mejores resultados

Para desarrollar el objetivo No.4, se planteará una construcción de viviendas VIS (Vivienda de interés social), estas viviendas serán construidas a partir del BTC con aditivo que obtuvo mejores resultados en los ensayos a los que fueron sometidos los bloques, la construcción de las viviendas de interés social permitirá evaluar la mitigación del material contaminante y cuanto plástico se puede reciclar al ser este destinado para la construcción de las mismas.

8 Resultados

8.1 Caracterización del polietileno y polipropileno

8.1.1 Polietileno de alta densidad

La principal característica del polietileno de alta densidad es su alta rigidez y resistencia, lo que lo hace un material resistente a los impactos, a la tracción y a las temperaturas ya sean altas o bajas, además de sus propiedades físicas también cuenta con la ventaja de que es un material que no es afectado por los disolventes y ácidos. Así mismo al ser un material no

polar es resistente a la humedad [33]. Las propiedades generales del polietileno de alta densidad son:

- Alta resistencia mecánica, rigidez y dureza
- No se rompe al doblarse

8.1.2 Polipropileno

El polipropileno es un material que presenta una gran elasticidad durante un determinado rango de flexión lo que lo hace un material con gran elasticidad y resistencia, así mismo, es un material altamente resistente a la fatiga ya que conserva su forma después de ser sometido a torsión o flexión, aparte de ser con bastante dureza, también es un material altamente resistente a la humedad ya que no absorbe esta [34]. Las principales características del polietileno son las siguientes:

- Resistente a temperaturas elevadas
- Alta flexibilidad y ligereza.

Tabla 6.3.1 propiedades del polietileno y polipropileno

Propiedad	Unidad	Polietileno	Polipropileno
Densidad	g/cm ³	0,96	0,901
Resistencia a la traccion	kg/cm ³	250	360
Elongacion	%	50-800	200-700
Modulo de elasticidad	kg.cm ²	0,0035 a 0,013	0,00013
Resistencia al impacto	ft.lb/in	0,5-20	0,5-20
Absorcion de humedad	%	0,2	0,02

Fuente: inoxidable.com/propiedades

En la anterior tabla podemos ver una comparación de propiedades de polietileno y del polipropileno, mirando los resultados se puede decir que el polietileno presenta mayor densidad, elongación, absorción de humedad y elasticidad que el polipropileno, por otra parte, el polipropileno presenta mayor resistencia a la tracción.

8.2 Caracterización del suelo

Una vez realizados los ensayos de caracterización del suelo, se procedió a completar la siguiente tabla, en la que se muestran los resultados de cada uno de los ensayos con su respectiva descripción.

Tabla 8.1.1 Resultados test de caracterización del suelo

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA ESCUELA DE INGENIERÍAS – FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Área Económico Administrativa y Construcciones ENSAYOS DE LABORATORIO TÉCNICA DE CONSTRUCCIÓN EN TIERRA		
PLANILLA DE REGISTRO Y EVALUACIÓN DE LOS TEST DE CARACTERIZACIÓN IDENTIFICACIÓN DE LA TIERRA - TEST DE CAMPO		
Nombre de la muestra	Muestra Proyecto BTC	
Localización	Universidad Pontificia Bolivariana	
Fecha de colecta de la muestra	27/05/2022	
Fecha de ejecución de ensayos	30/05/2022	
Observaciones		
TEST		
Táctil - Visual	Tamaño de partículas	La mayoría de partículas son pequeñas - Lamosa o arcillosa
	Color	Claro y brillante
	Brillo	Muy brillante - Arcillosa
	Tacto / Textura	Se puede sentir que es plástica y suave - Arcillosa
Identificación de la tierra por inspección táctil - visual	Una vez realizada el test táctil-visual, además decir que es una tierra arcillosa de alta plasticidad	
Caida de la bola	Al caer frías, lo que indica mayor cantidad de arcilla	
Vidrio: % de arena, limo y arcillas	45,70% arena, 13,45% limo y 70,85% arcilla	
Tipo de técnica constructiva a emplear:	APta Para BTC y Adhes	
Cordón	Al tomar la bola con el cordón, requirió bastante esfuerzo - Arcillosa	
Cinta	Se formó una cinta de 25cm, por lo que es Arcillosa de alta plasticidad	
Exudación		
Resistencia Seca	No se rompió, por lo que es suelo margánico de alta plasticidad	
Identificación de la tierra, Técnica constructiva a emplear según la Tabla 1	Según la tabla 1 se pueden emplear Para BTC	
Identificación de la tierra, Técnica constructiva a emplear según la Tabla 2	APta Para todo tipo de técnica, especial el BTC	
Conclusiones:		
Una vez terminada la caracterización, todas las pruebas apoyaron que la muestra contenía gran cantidad de arcilla por lo que es apta para la elaboración de BTC.		

Fuente: Autores

Una vez realizados los ensayos y completada la tabla, se pudo deducir que la muestra que se dispuso para realizar los diferentes ensayos estaba compuesta en su mayoría por arcilla de alta plasticidad, lo que según las tablas de clasificación es apta para todo tipo de técnica de construcción en tierra, especialmente para la elaboración de los BTC.

8.3 Ensayo de resistencia a la compresión

Una vez realizados los ensayos de resistencia a la compresión y obtenido los datos, se procedió a plasmarlos en las siguientes tablas, las cuales nos muestran el número de muestra, la carga que soporto, el área y su resistencia en (Mpa) con su respectiva desviación estándar.

Tabla 8.2.1 Datos resistencia a la compresión sin agregado

Sin agregado	Ensayo de resistencia a compresión				
	No. de muestra	Carga (N)	A(mm ²)	Resistencia (Mpa)	Desviación estandar
0,0	1	8312,50	21025	0,3953627	0,029
	2	8921,88	20590	0,4333113	
	3	8906,25	19738	0,4512235	
	Promedio			0,427	

Fuente: Autores

Tabla 8.2.2 datos de resistencia a la compresión con agregado de polietileno

% de Polietileno	Ensayo de resistencia a compresión				
	No. de muestra	Carga (N)	A(mm ²)	Resistencia (Mpa)	Desviación estandar
0,5	1	12730	18200	0,699	0,052
	2	12440	20010	0,622	
	3	11920	19865	0,600	
	Promedio			0,640	
1,0	1	10440	19865	0,526	0,048
	2	10250	21025	0,488	
	3	11410	19575	0,583	
	Promedio			0,532	
1,5	1	10430	21025	0,496	0,057
	2	11980	20445	0,586	
	3	11510	19170	0,600	
	Promedio			0,561	
2	1	11700	21025	0,556	0,020
	2	11850	20010	0,592	
	3	12400	21025	0,590	
	Promedio			0,579	

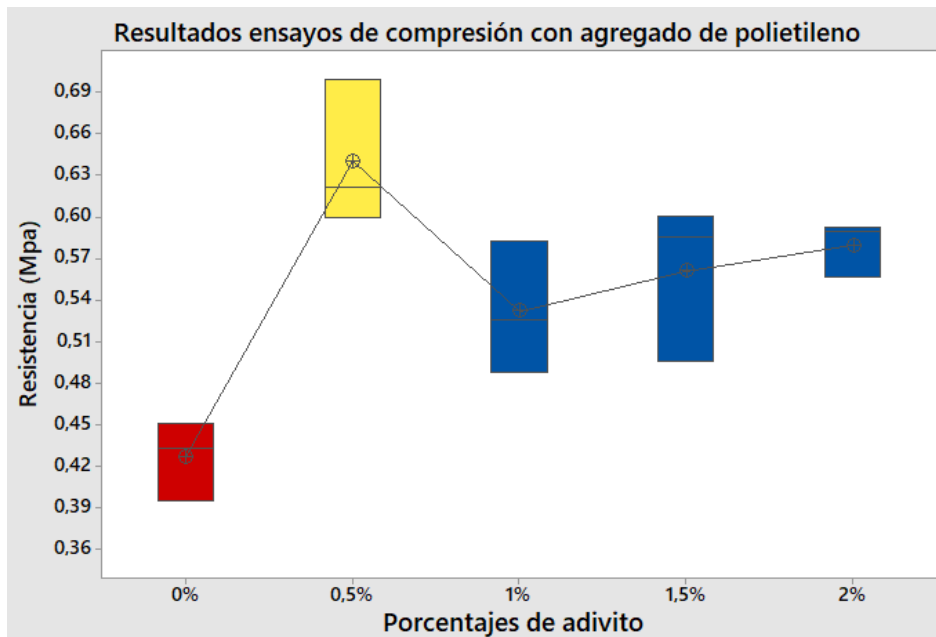
Fuente: Autores

Tabla 8.2.3 datos resistencia a la compresión con agregado de polipropileno

% de polipropileno	Ensayo de resistencia a compresión				
	No. de muestra	Carga (N)	A(mm2)	Resistencia (Mpa)	Desviación estandar
2,0	1	9219	19596	0,470	0,043
	2	10750	20448	0,526	
	3	8750	19877	0,440	
	Promedio				0,479
3,0	1	7563	20010	0,378	0,009
	2	7570	19170	0,395	
	3	8109	20735	0,391	
	Promedio				0,388
4,0	1	10750	19734	0,545	0,061
	2	8953	19877	0,450	
	3	8719	20306	0,429	
	Promedio				0,475
5,0	1	11875	20590	0,577	0,057
	2	9109	19599	0,465	
	3	10125	20163	0,502	
	Promedio				0,515

Fuente: Autores

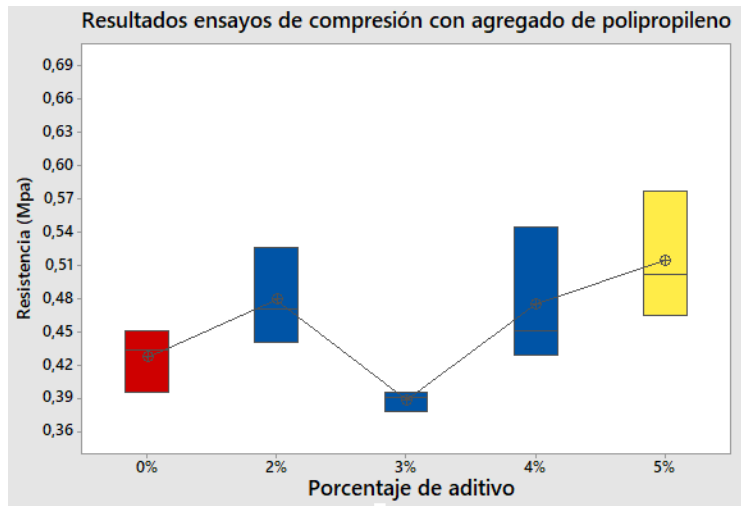
Figura 8.2.1 Ensayo a compresión con agregado de polietileno



Fuente: Autores

Después de analizar los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a compresión, se pudo observar que el bloque con 0.5% de polietileno presentó una mejoría del 49.97% con respecto al bloque sin agregado, siendo superior a las demás muestras que contenían más agregado.

Figura 8.2.2 Ensayo a compresión con agregado de polipropileno



Fuente: Autores

En el ensayo de resistencia a la compresión con agregado de polipropileno el que arrojó mejores resultados fue la muestra con agregado del 5%, ya que esta presentó una mejoría del 20.5%, esto sucede a que el polipropileno al ser un material más rígido que el polipropileno necesita de más cantidad para mejorar su resistencia. [35]

8.4 Ensayo de resistencia a la flexión

Después de realizar el ensayo de resistencia a la flexión y obtenido los datos, se adjuntaron los resultados en las siguientes tablas, en las cuales se pueden ver la carga que le fue aplicada a cada muestra, así como las dimensiones de los BTC que fueron destinados al ensayo, el módulo de rotura en Mpa, su desviación estándar y su coeficiente de variación.

Tabla 8.3.1 resultados ensayo de resistencia a la flexión con agregado de polietileno

% de polietileno	Numero de muestra	Carga (N)	Longitud del rectangulo inscrito (mm)	Ancho real (mm)	Anchod el rectangulo inscrito (mm)	Espesor real (mm)	Modulo de rotura (Mpa)	Desviacion estandar	Coefficiente de variacion
0,5	1	1159,38	295	150	150	120	0,221	0,007	0,033
	2	1165,63	295	150	150	120	0,223		
	3	1096,88	295	150	150	120	0,209		
Promedio							0,218		
1	1	1109,38	295	150	150	120	0,212	0,009	0,045
	2	1015,63	295	150	150	120	0,194		
	3	1080,72	295	150	150	120	0,206		
Promedio							0,204		
1,5	1	703,125	295	150	150	120	0,134	0,011	0,075
	2	796,875	295	150	150	120	0,152		
	3	809,38	295	150	150	120	0,155		
Promedio							0,147		
2	1	718,75	295	150	150	120	0,137	0,016	0,110
	2	875	295	150	150	120	0,167		
	3	737,5	295	150	150	120	0,141		
Promedio							0,148		

Fuente: Autores

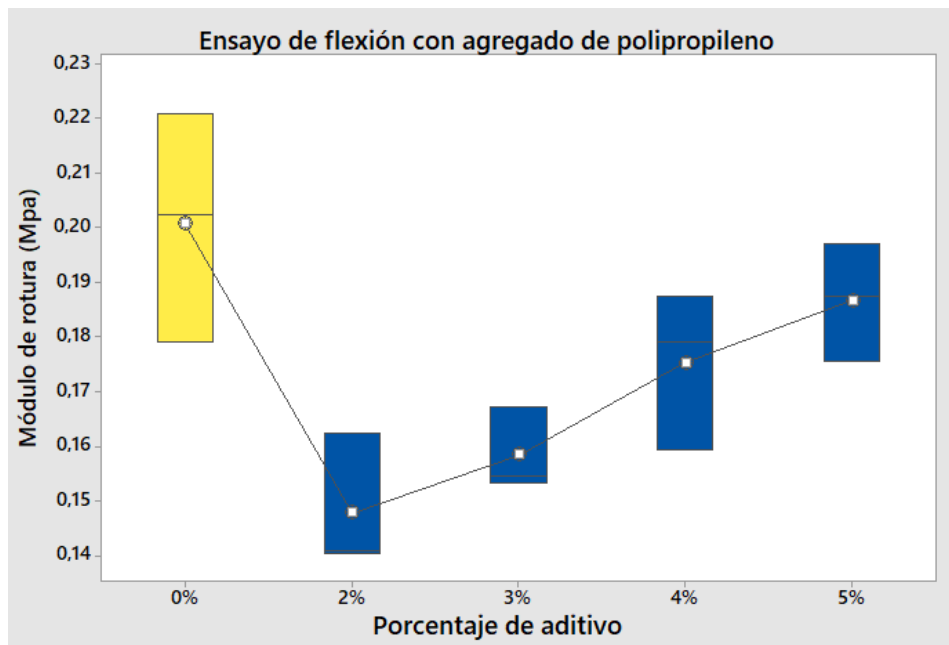
Tabla 8.3.2 resultados ensayo de resistencia a la flexión con agregado de polipropileno

ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXIÓN									
% de polipropileno	Numero de muestra	Carga (N)	Longitud del rectangulo inscrito (mm)	Ancho real (mm)	Anchod el rectangulo inscrito (mm)	Espesor real (mm)	Módulo de rotura (Mpa)	Desviacion estandar	Coficiente de variacion
0	1	1156,25	295	150	150	120	0,221	0,021	0,104
	2	1059,38	295	150	150	120	0,202		
	3	937,5	295	150	150	120	0,179		
Promedio							0,201		
2	1	737,5	295	150	150	120	0,141	0,013	0,085
	2	734,5	295	150	150	120	0,140		
	3	850	295	150	150	120	0,162		
Promedio							0,148		
3	1	875	295	150	150	120	0,167	0,008	0,048
	2	803,13	295	150	150	120	0,153		
	3	809,38	295	150	150	120	0,155		
Promedio							0,158		
4	1	937,5	295	150	150	120	0,179	0,014	0,082
	2	834,38	295	150	150	120	0,159		
	3	981,25	295	150	150	120	0,187		
Promedio							0,175		
5	1	918,75	295	150	150	120	0,175	0,011	0,058
	2	1031,25	295	150	150	120	0,197		
	3	981,25	295	150	150	120	0,187		
Promedio							0,187		

Fuente: Autores

Nota: La elaboración de los bloques fueron realizados de la misma manera por lo que las medidas reales son las mismas que las dimensiones de la máquina.

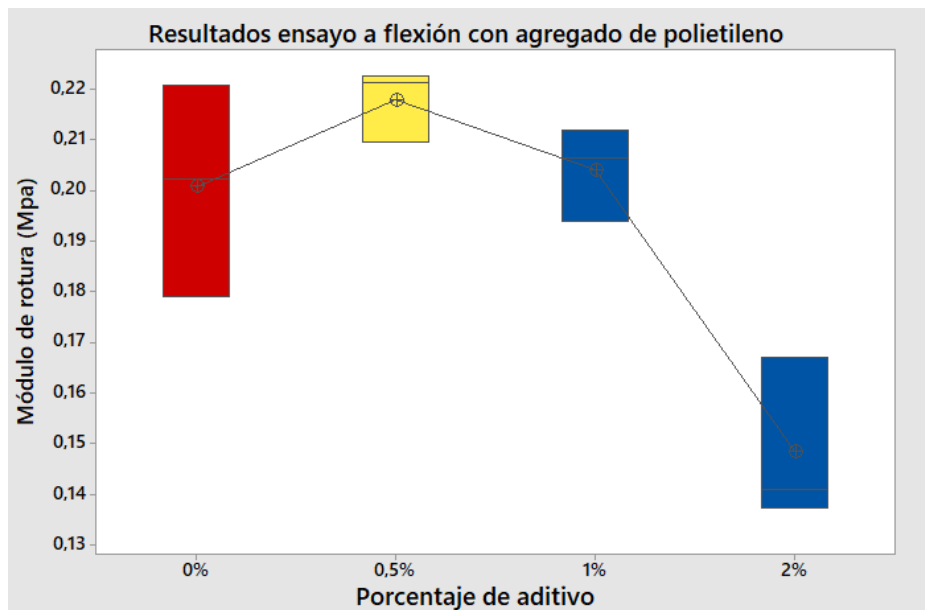
Figura 8.3.1 Resistencia a la flexión con agregado de polipropileno



Fuente: Autores

En el ensayo de resistencia a la flexión con agregado de polipropileno no hubo mejoría con respecto a los bloques sin agregado, como se puede ver, la resistencia disminuyó considerablemente.

Figura 8.3.2 Resistencia a la flexión con agregado de polietileno



Fuente: Autores

En el ensayo de resistencia a la flexión con agregado de polietileno hubo una mejoría en la muestra del 0.5%, esta mejoría fue el 8.5% con respecto a la muestra que no contenía ningún tipo de aditivo.

8.5 Ensayo de resistencia a la erosión

Una vez realizado el ensayo de resistencia a la erosión y obtenido los resultados, estos se adjuntaron en las siguientes tablas, las cuales nos muestran cada una de las muestras con su respectivo porcentaje de aditivo agregado, en las tablas se pueden observar la profundidad de erosión, el promedio de las muestras de cada porcentaje, el resultado del método Geelong y su nivel de clasificación.

Tabla 8.4.1 Resultados resistencia a la erosión sin agregado

Ensayo de resistencia a la erosión					
Sin agregado		Profundidad de erosión (D)	Promedio	Metodo Geelong	Nivel
0	Muestra 1	5,2	5,4	5 < 5,4 < 10	3
	Muestra 2	5,3			
	Muestra 3	5,7			

Fuente: Autore

Tabla 8.4.2 Resultados de resistencia a la erosión con agregado de polietileno

Ensayo de resistencia a la erosión					
% Agregado de polietileno		Profundidad de erosión (D)	Promedio	Metodo Geelong	Nivel
0,5	Muestra 1	6	6,1	5 < 6,1 < 10	3
	Muestra 2	6,3			
	Muestra 3	6,1			
1	Muestra 1	6,1	6,2	5 < 6,2 < 10	3
	Muestra 2	6,3			
	Muestra 3	6,1			
1,5	Muestra 1	6,1	6,2	5 < 6,2 < 10	3
	Muestra 2	6,2			
	Muestra 3	6,2			
2	Muestra 1	6,3	6,3	5 < 6,3 < 10	3
	Muestra 2	6,4			
	Muestra 3	6,1			

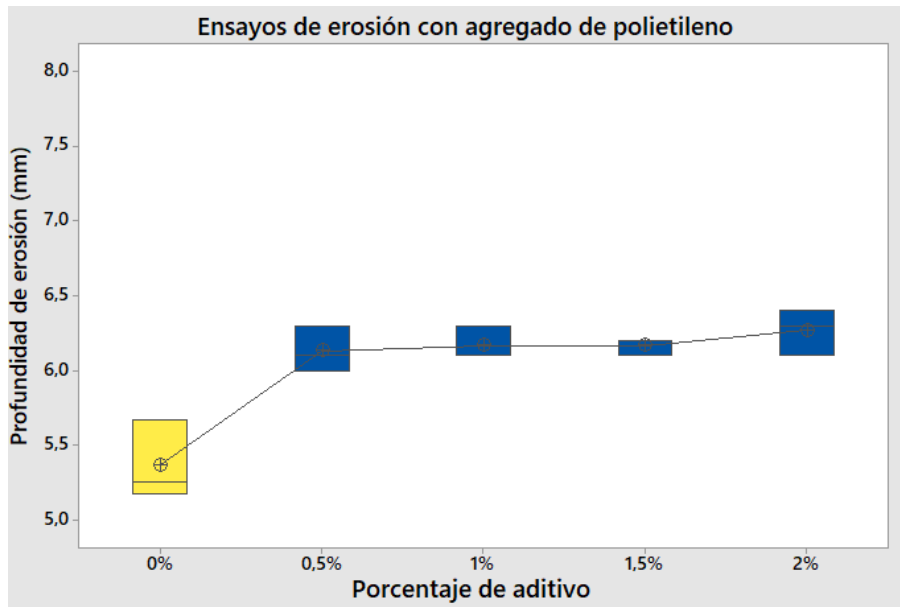
Fuente: Autores

Tabla 8.4.3 Resultados resistencia a la erosión con agregado de polipropileno

Ensayo de resistencia a la erosión					
% Agregado de polipropileno		Profundidad de erosión (D)	Promedio	Metodo Geelong	Nivel
2	Muestra 1	7,2	7,4	5 < 7,9 < 10	3
	Muestra 2	7,7			
	Muestra 3	7,2			
3	Muestra 1	7,4	6,9	5 < 6,9 < 10	3
	Muestra 2	6,3			
	Muestra 3	7,0			
4	Muestra 1	7,1	7,3	5 < 7,3 < 10	3
	Muestra 2	7,3			
	Muestra 3	7,4			
5	Muestra 1	7,0	7,1	5 < 7,1 < 10	3
	Muestra 2	7,3			
	Muestra 3	7,0			

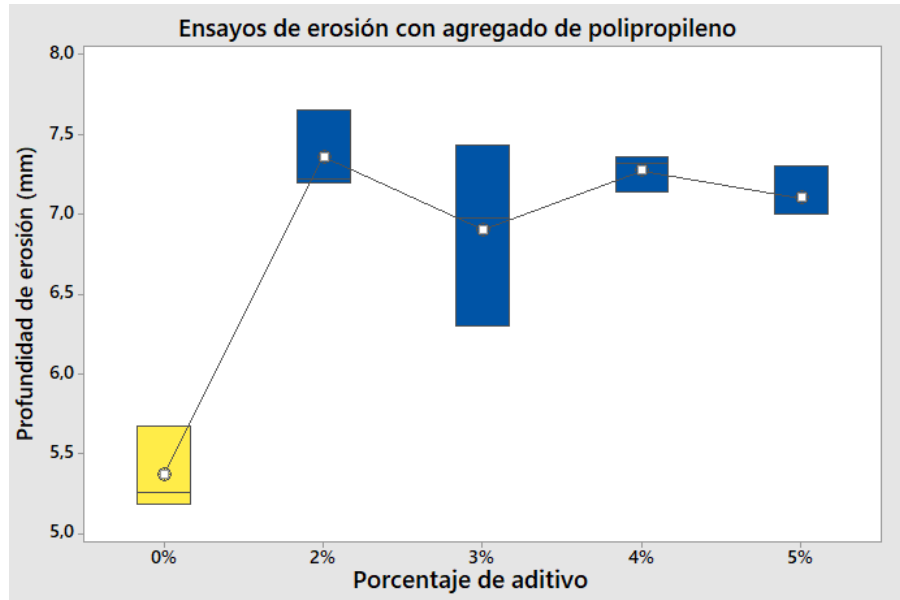
Fuente: Autores

Figura 8.4.1 Resistencia a la erosión con agregado de polietileno



Fuente: Autores

Figura 8.4.2 Resistencia a la erosión con agregado de polipropileno



Fuente: Autores

En el ensayo de resistencia a la erosión tanto de polipropileno como de polietileno no hubo mejoría con respecto a los bloques que no contenían agregado, por lo se puede deducir que

el bloque virgen (que no contiene agregado) presenta mejor resistencia que los que tenían diferentes porcentajes de agregado de polietileno y polipropileno.

8.6 Ensayo de resistencia a la abrasión

Después de finalizar con el ensayo de abrasión y obtenidos los datos, se adjuntaron en las siguientes tablas, donde se pueden ver el peso inicial y final de cada bloque (Muestra), la anchura promedio y la superficie cepillada. Con esos datos se calculó y se colocó en la tabla el coeficiente de abrasión de cada muestra con su respectivo nivel de resistencia.

Tabla 8.5.1 Resultados ensayo de resistencia a la abrasión con agregado de polietileno

		Ensayo resistencia a la abrasion					
		Peso inicial (g)	Peso final (g)	Promedio anchura cepillada (mm)	Superficie cepillada (cm2)	Coefficiente de abrasion (cm2/g)	Nivel de resistencia
0	Muestra 1	8100	8000	27	79,7	0,80	4
	Muestra 2	8500	8400	26	76,7	0,77	4
	Muestra 3	8250	8150	26	76,7	0,77	4
					Promedio	0,77683333	

Fuente: Autores

Tabla 8.5.2 Resultados ensayo de resistencia a la abrasión con agregado de polietileno

% de polietileno		Ensayo resistencia a la abrasion					
		Peso inicial (g)	Peso final (g)	Promedio anchura cepillada (mm)	Superficie cepillada (cm2)	Coefficiente de abrasion (cm2/g)	Nivel de resistencia
0,5	Muestra 1	8430	8170	26	76,7	0,30	4
	Muestra 2	8150	7950	26	76,7	0,38	4
	Muestra 3	8440	8310	27	79,7	0,61	4
					Promedio	0,43	
1	Muestra 1	8480	8100	26	76,7	0,20	4
	Muestra 2	8380	8040	26	76,7	0,23	4
	Muestra 3	8340	8010	26	76,7	0,23	4
					Promedio	0,22	
1,5	Muestra 1	8480	8350	27	79,7	0,61	4
	Muestra 2	8530	8420	27	79,7	0,72	4
	Muestra 3	8440	8280	25	73,8	0,46	4
					Promedio	0,60	
2	Muestra 1	8090	7910	25	73,8	0,41	4
	Muestra 2	8250	8000	27	79,7	0,32	4
	Muestra 3	8220	8060	26	76,7	0,48	4
					Promedio	0,40	

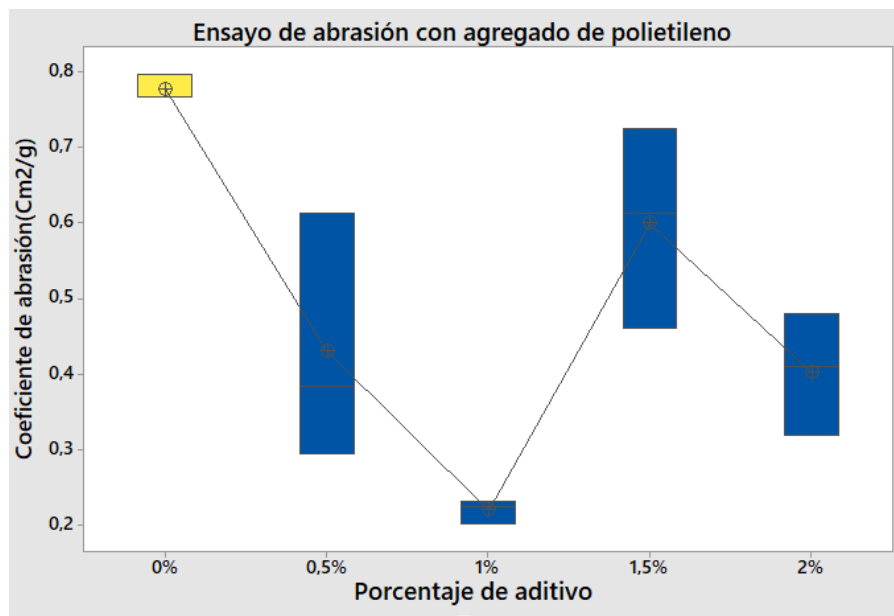
Fuente: Autores

Tabla 8.5.3 Resultados ensayo de resistencia a la abrasión con agregado de polipropileno

% de polipropileno		Ensayo resistencia a la abrasion					
		Peso inicial (g)	Peso final (g)	Promedio anchura cepillada (mm)	Superficie cepillada (cm2)	Coefficiente de abrasion (cm2/g)	Nivel de resistencia
2	Muestra 1	8230	8020	27	79,7	0,38	4
	Muestra 2	8390	8100	27	79,7	0,27	4
	Muestra 3	8220	8090	25	73,8	0,57	4
					Promedio	0,41	
3	Muestra 1	8100	7920	26	76,7	0,43	4
	Muestra 2	8010	7901	26	76,7	0,70	4
	Muestra 3	8000	7900	27	79,7	0,80	4
					Promedio	0,64	
4	Muestra 1	8240	8070	27	79,7	0,47	4
	Muestra 2	8160	7980	27	79,7	0,44	4
	Muestra 3	8290	8100	27	79,7	0,42	4
					Promedio	0,44	
5	Muestra 1	8250	8110	27	79,7	0,57	4
	Muestra 2	8370	8210	26	76,7	0,48	4
	Muestra 3	8210	8050	27	79,7	0,50	4
					Promedio	0,52	

Fuente: Autores

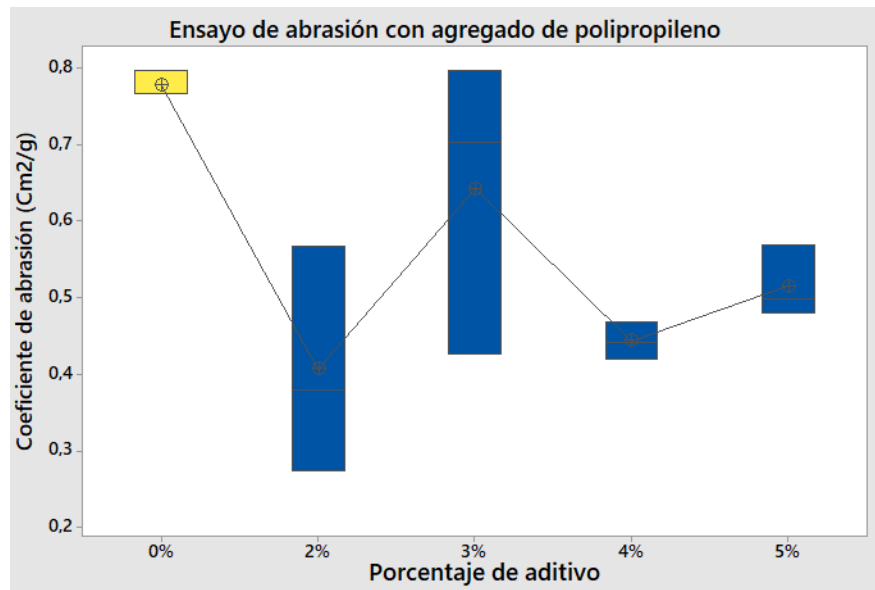
Figura 8.5.1 Resistencia a la abrasión con agregado de polietileno



Fuente: Autores

En el ensayo con agregado de polietileno, la muestra que arrojó mejores resultados fue la del 1.5%. Sin embargo, no supero los resultados del BTC que no contenía agregado, por lo tanto no hubo mejoría con los bloques que contenían agregado de polietileno.

Figura 8.5.2 Resistencia a la abrasión con agregado de polipropileno



Fuente: Autores

En el ensayo de abrasión con agregado de polipropileno, la muestra que mejor resultado mostró fue la que contenía 3% de polipropileno, sin embargo, sus resultados no fueron mejores con respecto a la muestra que no contenía aditivo.

8.7 Ensayo de retracción

Una vez pasaron los 15 días de secado en el ensayo de retracción, se midió la retracción de cada una de las muestras y al obtener los resultados se plasmaron en las siguientes tablas, las cuales nos muestran la retracción de cada una de las muestras.

Tabla 8.6.1 Resultados ensayo de retracción sin agregado

Ensayo de retracción sin agregado		
Porcentaje	No de muestra	Retracción (Cm)
0	1	59,1
	2	59,2
	3	59,2
	4	59,1
	5	59,1

Fuente: Autores

Tabla 8.6.2 Resultados ensayo de retracción con agregado de polietileno

Ensayo de retracción con agregado de polipropileno		
Porcentaje	No de muestra	Retracción (Cm)
0,5	1	59,4
	2	59,3
	3	59,4
	4	59,5
	5	59,3
1	1	59,3
	2	59,2
	3	59,3
	4	59,4
	5	59,3
1,5	1	59,5
	2	59,4
	3	59,5
	4	59,5
	5	59,5
2	1	59,1
	2	59,2
	3	59,2
	4	59,3
	5	59,2

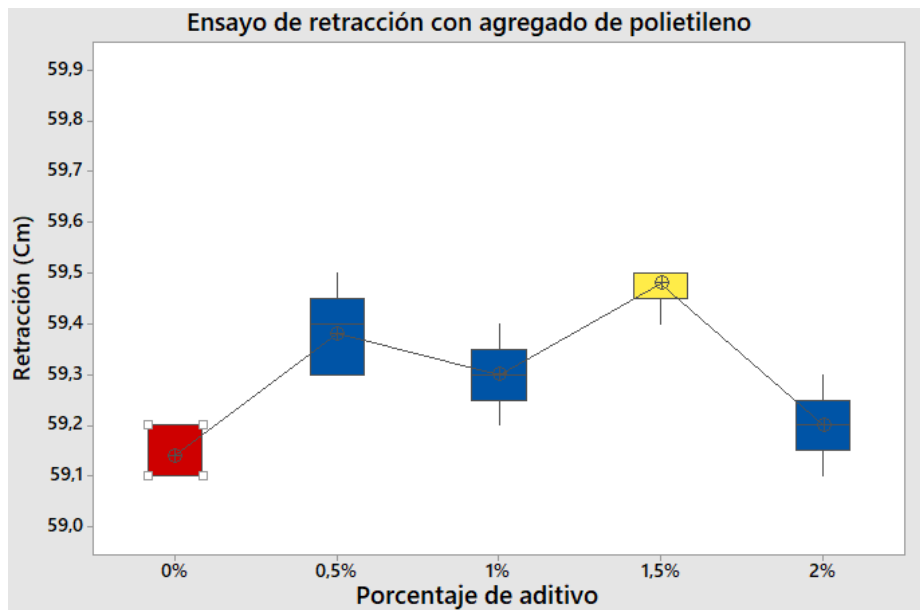
Fuente: Autores

Tabla 8.6.3 Resultados ensayo de retracción con agregado de polipropileno

Ensayo de retracción con agregado de polipropileno		
Porcentaje	No de muestra	Retracción (Cm)
2	1	59,8
	2	59,9
	3	59,8
	4	59,8
	5	59,8
3	1	59,7
	2	59,6
	3	59,6
	4	59,7
	5	59,7
4	1	59,4
	2	59,5
	3	59,3
	4	59,4
	5	59,3
5	1	59,7
	2	59,8
	3	59,9
	4	59,8
	5	59,8

Fuente: Autores

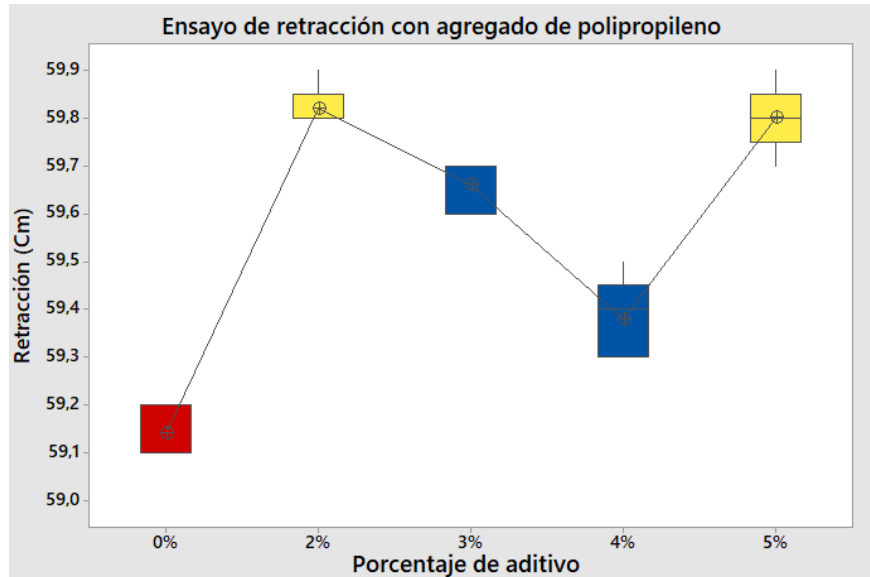
Figura 8.6.1 Retracción con agregado de polietileno



Fuente: Autores

En el ensayo de retracción con agregado de polietileno el BTC que menos se retrajo fue el que contenía 1.5% de agregado, presentando una mejoría de 0.6% con respecto a los bloques que no contenían ningún tipo de aditivo.

Figura 8.6.2 Retracción con agregado de polipropileno



Fuente: Autores

En el ensayo de retracción con agregado de polipropileno los BTC que menos se retrajo fueron los que contenían 2% y 5% de agregado, presentando una mejoría de un 1,1% con respecto a los bloques que no contenían ningún tipo de aditivo.

8.8 Análisis de resultados

El reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10) título D mampostería estructural, en el capítulo D.3.6.1 el cual tiene como nombre tipos de unidades de mampostería, indica que las unidades de mampostería que acepta la NSR-10 son bloques hechos de: Concreto, cerámica o arcilla cocida, sílico-calcáreas o de piedra, por lo que el bloque de tierra comprimido o mejor conocido como BTC no cuenta con la aprobación de la norma sismo resistente colombiana. [36]

El capítulo D.3.6.2.2 llamado normas de producción y calidad estipula que las unidades de arcilla que se van a utilizar para el diseño y construcción de estructuras de mampostería estructural y no estructural deben cumplir con la norma NTC 4205. [36]

El requisito que exige la norma NTC 4205 establece que todas las unidades destinadas a la elaboración y diseño de muros no estructurales deben cumplir con un mínimo de resistencia a la compresión, los cuales son los siguientes. [37]

Tabla 8.8.1 resistencia mínima a la compresión de las unidades de mampostería estructural y no estructural

Resistencia mínima a la compresión (Mpa)	
Mampostería estructural	Mampostería no estructural
1,471	0,98

Fuente: NTC 4205

Figura 8.8.1 ejemplo de ladrillo de arcilla cocida macizo



Fuente: NTC 4205

Ejemplo de bloque macizo según la NTC 4205 de características similares al BTC

Tabla 8.8.2 Comparación de resultados con la norma NTC 4205

Resistencia mínima a la compresión (Mpa)		
MUESTRA 0%	Mampostería estructural	Mampostería no estructural
0,395	1,471	0,98
0,433	1,471	0,98
0,451	1,471	0,98
MUESTRA POLIETILENO 0,5%		
0,70	1,471	0,98
0,62	1,471	0,98
0,60	1,471	0,98
MUESTRA POLIETILENO 1%		
0,53	1,471	0,98
0,49	1,471	0,98
0,58	1,471	0,98
MUESTRA POLIETILENO 1,5%		
0,50	1,471	0,98

0,59	1,471	0,98
0,60	1,471	0,98
MUESTRA POLIETILENO 2%		
0,56	1,471	0,98
0,59	1,471	0,98
0,59	1,471	0,98
MUESTRA POLIPROPILENO 2%		
0,47	1,471	0,98
0,52	1,471	0,98
0,44	1,471	0,98
MUESTRA POLIPROPILENO 3%		0,98
0,38	1,471	0,98
0,40	1,471	0,98
0,39	1,471	0,98
MUESTRA POLIPROPILENO 4%		
0,55	1,471	0,98
0,45	1,471	0,98
0,43	1,471	0,98
MUESTRA POLIPROPILENO 5%		
0,47	1,471	0,98
0,46	1,471	0,98
0,50	1,471	0,98

Fuente: Autores

En la anterior tabla se puede observar el resultado de cada uno de los ensayos de resistencia a la compresión de cada murete elaborado, se encuentra también la resistencia mínima que deben alcanzar las muestras para que sean aptas para su utilización en mampostería estructural y no estructural.

Como se puede observar, ninguna muestra se acerca a la mínima requerida por la NTC 4017, ninguna, tanto de polietileno como de polipropileno alcanza si quiera el 50% de lo estipulado en los ensayos de la norma para mampostería estructural, esto se puede deber a que los ensayos de la norma fueron realizados con ladrillos macizos de arcilla cocida, los cuales son aceptados por la NSR 10 y los que al ser cocidos aumentan su resistencia y mejora sus propiedades. Aun así, el que más se acercó a lo estipulado por la norma en la parte de

mampostería no estructural fue una muestra que contenía 0.5% de polietileno, esto debido a que el polietileno es un material más flexible y resistente que el polipropileno faltando un 28.67% para alcanzar el requisito mínimo de mampostería no estructural.

Tabla 8.8.3 Comparación de resultados de todos los ensayos

Aditivo	Ensayos				
	Compresión	Flexión	Erosión	Abrasión	Retracción
Polietileno	↑	↑	↓	↑	↓
	0,5%	0,5%	0,5%	1,5%	1,5%
	50,0%	8,5%	-13,0%	-22,0%	0,6%
Polipropileno	↑	↑	↓	↑	↓
	5%	5%	3%	3%	2% y 5%
	20,50%	-6,96%	-27,70%	-16,80%	1,10%

Fuente: Autores

Tabla 8.8.4 Comparación de los mejores resultados de todos los ensayos

Ensayos				
Compresión	Flexión	Erosión	Abrasión	Retracción
↑	↑	↓	↑	↓
0,5% de polietileno	0,5% de polietileno	0,5% de polietileno	3% de polipropileno	2% y 5% de polipropileno
50%	8,5%	-13%	-16,8%	1,10%

Fuente: Autores

En la tabla 8.8.3 se puede observar los resultados que sobresalieron en los respectivos ensayos realizados, en los bloques que contenían aditivo de polietileno triturado, el que mejor resultados obtuvo fue el que contenía 0.5% de material agregado, esto debido a que sobresalió en los ensayos de compresión, flexión y erosión. En el ensayo de resistencia a la compresión mostró una mejoría del 50% con respecto a los bloques que no contenían aditivo, en el ensayo de resistencia a la flexión tuvo una mejoría del 8.5% y en el ensayo de erosión fue el que

menos profundidad tuvo, perdiendo 13% con respecto a los bloques que no contenían agregado. Una vez analizado esto se puede deducir que entre los bloques que contenían aditivo de polietileno, el que más sobresalió y el que arrojó mejores resultados en los ensayos fueron los que contenían 0.5% de agregado de polietileno de alta densidad.

En el caso de los bloques que contenían aditivo de polipropileno, el porcentaje que sobresalió fue los que contenían 5% de agregado, arrojando mejores resultados en los ensayos de compresión, flexión y retracción. En el ensayo de resistencia a la compresión presentó una mejoría del 20.5%, en el ensayo de flexión tuvo un déficit del 6.96% y en el ensayo de retracción tuvo una mejoría del 1.10%, todo esto con respecto a los bloques que no contenían ningún tipo de agregado. Una vez dicho lo anterior, se puede deducir que los bloques con 5% de agregado de polipropileno fueron los que mejor resultados arrojaron, siendo superior a los otros porcentajes en los ensayos de resistencia a la compresión, flexión y en el ensayo de retracción.

La tabla 8.8.4 nos muestra los mejores resultados de cada ensayo teniendo en cuenta los bloques que contenían agregado de polietileno y los que contenían agregado de polipropileno. Como se puede observar, en los ensayos de compresión, flexión y erosión, el que mejor resultados arrojó fue el bloque que contenía 0.5% de polietileno, siendo sus resultados superiores a los otros bloques que contenían diferentes porcentajes de aditivo tanto de polietileno como de polipropileno.

Una vez dicho lo anterior, se puede establecer cuál es el diseño óptimo, ya que el diseño óptimo se refiere a la mezcla con la que se construyeron los bloques y los cuales después de ensayarlos arrojaron los mejores resultados, por ende, la mezcla que contenía 0.5% de polietileno es el diseño óptimo, ya que fue la que mejor resultados arrojó en 3 de las 5 pruebas realizadas a todos los BTC.

9 Mitigación al medio ambiente por medio de la construcción de viviendas de interés social

Hoy en día se puede apreciar cómo han aumentado las temperaturas, como se van derritiendo poco a poco los polos, como muchas ciudades del planeta tierra se han inundado con más frecuencia que años atrás y también la gran cantidad de incendios forestales que se producen por culpa del cambio climático en varios países como EE.UU, Chile, Colombia y ETC.

El polietileno es una de las principales causas de la contaminación ambiental que sucumben al planeta tierra, esto debido a que el polietileno de alta densidad es uno de los plásticos no renovables más usados en todo el mundo, el etileno se obtiene cuando el gas natural se somete en un reactor a una presión de entre 100-300 psi y después de estar en dicha presión el etileno se convierte en polipropileno que es uno de los materiales más usados a hoy en el planeta. [38]

Según estudios el plástico es un material que además de su lenta degradación es que su principal problema es que para fabricarlo se necesita el uso de energías no renovables como el gas y el petróleo, lo que según investigación arrojan como resultado que para fabricar un kilo de plástico se emiten 3.5kg de CO₂ a la atmosfera y que según el centro internacional de ley ambiental la producción de este plástico es la responsable del 3.8% de emisiones de carbono en el planeta, cifra que va aumentando considerablemente al pasar de los años y que se espera que al año 2050 sea del 13%.

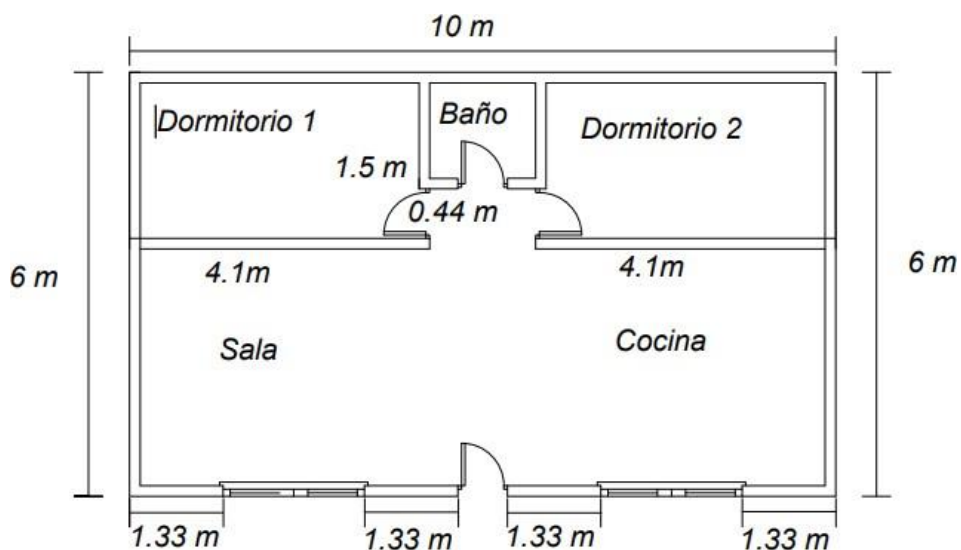
El plástico es uno de los materiales más usados a nivel mundial y su mayor problema es su lenta degradación, según estudios, se estima que los implementos que están elaborados a partir de polietileno de alta densidad tardan entre 100 y 1000 años en degradarse, con una media de 500 años. Su larga degradación y la no reciclabilidad de estos productos hacen que terminen en su mayoría en los océanos, afectando directamente al ecosistema que vive en ese lugar. [39]Uno de los problemas más graves aparte de la lenta degradación de los plásticos es su no reciclabilidad, ya que muchas personas desconocen el proceso y simplemente acaban desechándolos, por lo que terminan en vertederos, incinerados o arrojados en el medio ambiente. [40]

Para desarrollar el último objetivo, se planteó un proyecto de construcción de viviendas de interés social elaboradas a partir de BTC con agregado de 0.5% de polietileno que fueron las muestras que más sobresalieron en los ensayos realizados, al ser fabricadas con BTC que contienen aditivo de polietileno triturado se mitiga el daño ambiental que causan la no reciclabilidad de polietileno de alta densidad.

Se plantearon 10 viviendas de interés social de 10m de largo x 6m de ancho, es decir, de 60m², a continuación, un plano en el que se pueden apreciar las dimensiones de las viviendas.

Se realizó un plano de una vivienda de interés social la cual contiene 2 habitaciones, 1 baño, sala y cocina, el plano que verán a continuación fue elaborado por los autores, las dimensiones de la vivienda fueron propuestas por los autores del trabajo basándose en el espacio necesario para que una familia de 4 integrantes pueda vivir cómodamente.

Figura 9.1 Plano de vivienda de interés social



Fuente: Autores

Una vez analizado el plano, se puede calcular la cantidad de BTC y de polietileno que requiere cada vivienda, dichos datos se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 9.1 Área de muros por cada vivienda de interés social

Area muros de la casa			
	Largo (m)	Alto (m)	Area (m2)
Muros exteriores	32	2,4	76,8
Muros interiores	12,08	2,4	28,992
Ventanas	4	3,7	14,8
		Area total	90,992

Fuente: Autores

En la anterior tabla se puede observar la cantidad de muros que requiere cada vivienda con su respectivo ancho y largo, por lo cual con ese dato se puede calcular el área de cada muro y después sumándolos obtenemos el área total de los muros, dato necesario para que se pueda calcular la cantidad de ladrillos que requiere cada vivienda.

Tabla 9.2 cantidad de BTC y de polietileno que requiere cada vivienda de interés social

Calculo cantidad de BTC y polietileno por cada vivienda		
No de ladrillos	Peso ladrillos (Kg)	Peso polietileno(kg)
1	9	0,045
2260	20566	102,83

Fuente: Autores

En la anterior tabla se puede observar que cada BTC pesa 9 Kg, por lo que con ese dato se puede obtener cuanto porcentaje requiere cada bloque, cabe recordar que a cada bloque se le agregará 0.5% de polietileno de alta densidad de manera triturada, lo que quiere decir que para cada bloque corresponde 0.045kg de polietileno. Una vez se obtiene el dato que requiere cada ladrillo se puede calcular la cantidad de polietileno que requiere la construcción de la vivienda, lo cual se calcula con la cantidad de ladrillos totales que requiere la casa que en este caso son 2260 y el peso de todos los bloques necesarios es de 20566 kg, una vez obtenido el peso total de los bloques necesarios se le saca el 0.5% que es la cantidad de polietileno de alta densidad triturado que se le va a agregar, lo que arroja un resultado de 102.83kg de

polietileno que sería lo que se necesita para cada vivienda de interés social con un área de 60m².

La construcción de estas 10 viviendas ayudará a la reciclabilidad de 1028.3 Kg de polietileno de alta densidad, disminuyendo la cantidad de este tipo de plástico que se encuentra en nuestro ecosistema, afectando de manera directa a los animales que se encuentran en las zonas boscosas así como los se encuentras en los ríos y mares, también ayudará a generar conciencia sobre la reciclabilidad de los productos derivados del petróleo ya que pueden ser destinados a proyectos como el descrito anteriormente.

10 Conclusiones

- La mejor manera de adicionar el polietileno y el polipropileno es de manera triturada, ya que al quedar en muchas partes pequeñas hace que su adición y respectiva mezcla con la arcilla sea mucho más fácil y óptima, así mismo, no afecta las dimensiones del bloque al momento de ser prensado en la máquina, por lo que no quedan sobresaliente el aditivo en las caras del bloque.
- Al ladrillo de arcilla cocida se elabora mediante un proceso de cocción de entre 90 y 100 grados centígrados y al terminar el proceso se convierten un material semejante al cristal, por lo que adquiere propiedades más resistentes [41]. El BTC es elaborado a partir de un proceso totalmente natural, sin cocción ni procesos químicos que ayuden a mejorar su resistencia, es por eso que no se acerca a la resistencia mínima a la compresión que exige la norma para que puedan ser empleados para el diseño y construcción de muros no estructurales.
- Una vez realizados los ensayos y comparando resultados, se pudo concluir que en 3 de los 5 ensayos realizados a los BTC los que tuvieron mejor comportamiento fueron los que contenían 0.5% de polietileno de alta densidad, en los ensayos que sobresalieron con respecto a los demás fue en los ensayos de resistencia a la compresión, flexión y erosión, esto con respecto a los bloques de tierra comprimido que tenían aditivo, por lo que el diseño óptimo es el que contiene 0.5% de polietileno triturado, ya que muestra mejores resultados en comparación con los otros porcentajes y aditivos.
- Como las muestras que contenían 0.5% de polietileno fueron las que arrojaron mejores resultados, se proyectó la construcción de 10 viviendas de interés social, las cuales permiten reciclar 1028.3kg de polietileno, por lo cual se estarían extrayendo 1028.3kg de polietileno que contaminan nuestro planeta, ayudando así la flora y fauna que se ve afectada por la no reciclabilidad de este material derivado del petróleo, que según sus estudios tarda de 100 a 1000 años en degradarse.
- En todos los ensayos de erosión los resultados arrojaron que se encontraban en el nivel 3 de resistencia a la erosión húmedas por lo que si los bloques son destinados a la construcción de muros exteriores no estructurales se recomienda protegerlos de lluvias directas sin necesidad de usar revestimiento. [24]

11 Bibliografía

- [1] A. y. empresa, «Arquitectura y empresa,» [En línea]. Available: <https://arquitecturayempresa.es/noticia/construccion-sostenible-bloques-de-tierra-comprimida-btc>.
- [2] A. S. Gutierrez, «MAPFRE,» 14 Mayo 2020. [En línea]. Available: <https://www.mapfre.com/actualidad/medioambiente/covid-19-impacto-medioambiente/>.
- [3] T. n. conservancy, 19 Julio 2021. [En línea]. Available: <https://www.nature.org/es-us/que-hacemos/nuestras-prioridades/ciudades-saludables/detener-residuos-plasticos/#:~:text=La%20producci%C3%B3n%20e%20incineraci%C3%B3n%20de,infiltran%20en%20nuestra%20cadena%20alimentaria..>
- [4] S. S. M. & S. P. Jain, 2021. [En línea].
- [5] O. M. O. G. Karen Medina, «Redalyc,» 6 11 2011. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/4139/413940770005.pdf>.
- [6] J. E. O. O. A. & O. K. O. Oti, «Journal Of cleaner production,» 2020. [En línea].
- [7] F. B. Lizeth Barrera. [En línea]. Available: https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5182/Tesis_%20finalTaller%2010%20_1%20de%20junio.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- [8] C. J. Jhon Echeverry, Elaboración de BTC con suelos, Pereira, Colombia, 2017.
- [9] A. G. R. R. Santiago Cabrera, Bloques de tierra comprimida estabilizados, Paraná, Argentina, 2019.
- [10] J. A. E. Ruben Salvador Roux, «Riuat,» 25 10 2012. [En línea]. Available: <https://riuat.uat.edu.mx/bitstream/123456789/1500/1/1500.pdf>.
- [11] «Alejandro Vasquez, Luis Botero, David Carvajal,» 12 04 2014. [En línea]. Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-91652015000100011.
- [12] V. G. J. E. Ruben Salvador, «Scielo,» 01 11 2013. [En línea]. Available: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s2007-07052015000100014.
- [13] J. D. T. Marlo Manuel Cabrera, «Repositorio academico,» 11 01 2021. [En línea]. Available: https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/654614/CabreraV_M.pdf?sequence=3&isAllowed=y.
- [14] V. Silvia, «Propiedades de la arcilla,» 2015. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/vanessasilva1391/practica6propiedades-arcillasplasticidad>.
- [15] Maxiper, «Maxipet,» [En línea]. Available: <https://maxipet.net/blog/caracteristicas-del-poli-etileno-de-alta-densidad>.
- [16] «Reutilizar energia,» 21 9 2011. [En línea]. Available: <http://www.comunidadism.es/wp-content/uploads/downloads/2013/09/La-energia-de-los-residuos-fenercom-2012.pdf>.

- [17] M. e. Energia y minas, 23 09 2015. [En línea]. Available: <http://www.comunidadism.es/wp-content/uploads/downloads/2013/09/La-energia-de-los-residuos-fenercom-2012.pdf>.
- [18] L. & D. A. Diop, «Journal of Soil Science and Environmental Management,» 2017. [En línea].
- [19] O. B. R. R. P. C. S. M. H. Celia Martins Neves, «Studocu,» Octubre 2009. [En línea]. Available: <https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-juarez-del-estado-de-durango/geologia/seleccion-de-suelos-y-metodos-de-control-cccccccccc/23318209>.
- [20] C. F. Rivera. [En línea]. Available: Ensayos de laboratorio, tecnica de construccion en tierra.
- [21] Instron, «Instron,» [En línea]. Available: <https://www.instron.com/es-ar/resources/test-types/compression-test>.
- [22] N. t. c. N. 2. p. adoquines, 05 2018. [En línea].
- [23] Aimplas, «Aimplas,» [En línea]. Available: <https://www.aimplas.es/tipos-ensayos/propiedades-mecanicas-de-los-materiales-plasticos/ensayo-de-flexion/#:~:text=La%20resistencia%20a%20flexi%C3%B3n%20es,perpendicularmente%20a%20su%20eje%20longitudinal..>
- [24] R. A. proterra, «Red proterra Argentina,» 2020. [En línea]. Available: <http://redprotierra.com.ar/wp-content/uploads/2020/11/Protocolo-de-ensayos-sobre-elementos-constructivos-para-la-construcci%C3%B3n-con-tierra.pdf>.
- [25] I. c. d. n. t. y. certificacion, «Instituto colombiano de normas tecnicas y certificacion,» 1 12 2004. [En línea]. Available: <https://docplayer.es/74770267-Norma-tecnica-colombiana-5324.html>.
- [26] C. d. d. tecnológico, «Red proterra,» Mayo 2012. [En línea]. Available: <https://redproterra.org/wp-content/uploads/2020/05/6-Manual-do-terreno-Chile-2012.pdf>.
- [27] O. B. R. R. P. C. M. H. Celia Martins, «Red iberoamericana proterra,» 10 2009. [En línea]. Available: https://www.academia.edu/35702152/Selecci%C3%B3n_de_suelos_y_m%C3%A9todos_de_control_en_la_construcci%C3%B3n_con_tierra_Pr%C3%A1cticas_de_campo.
- [28] M. A. S. R. K. & B. Khan, « Journal of Building Engineering,» 2020. [En línea].
- [29] U. d. cartagena, «Universidad de cartagena,» [En línea]. Available: <https://www.udc.es/dep/dtcon/estructuras/ETSAC/Publicaciones/pub-val/Suelos/suelos.pdf>.
- [30] Inoxidable, «Inoxidable,» [En línea]. Available: Inoxidable.com/propiedades.
- [31] I. c. d. n. t. y. certificacion, «Instituto colombiano de normas tecnicas y certificacion,» 28 05 2003. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/136554752/NTC-3495>.
- [32] J. g. A. R. German Hemerida, «AGRIETO LUEGO EXISTO, LA RETRACCION DEL CONCRETO,» [En línea]. Available: <https://col.sika.com/content/dam/dms/co01/9/Agrieto%20III.pdf>.

- [33] J. d. Cusa, «Cusa, J. (1979), Aplicaciones Del Plástico En La Construcción, Ediciones CEAC.,» [En línea]. Available: Cusa, J. (1979), Aplicaciones Del Plástico En La Construcción, Ediciones CEAC, .
- [34] Iberoplast, «iberotplas,» [En línea]. Available: <https://www.iberoplast.pe/blog/conoce-caracteristicas-polipropileno/>.
- [35] R. blog, «Raja blog,» [En línea]. Available: <https://www.rajapack.es/blog-es/diferencias-entre-polipropileno-poli-etileno#:~:text=%E2%80%93El%20polietileno%20resiste%20mejor%20las%20al%20impacto%20y%20al%20desgaste..>
- [36] C. a. p. p. e. r. d. c. s. resistentes, «Ildr,» 19 03 2010. [En línea]. Available: <https://www.idrd.gov.co/sites/default/files/documentos/Construcciones/4titulo-d-nsr-100.pdf>.
- [37] N. 4205-2. [En línea]. Available: <http://www.cytarcillasyprefabricados.com/wp-content/uploads/2017/02/NTC-4205-Unidades-de-mamposteria-de-arcilla-ladrillos-y-bloques-ceramicos.pdf>.
- [38] M. ecologicos. [En línea]. Available: <https://materialesecologicos.es/que-es-el-poli-etileno/#:~:text=El%20polietileno%20se%20fabrica%20combinando,%C3%A9tileno%20que%20forman%20largas%20cadenas..>
- [39] A. Tellez, «Ecología verde, la complejidad de la problemática ambiental de los residuos plásticos,» 2012. [En línea]. Available: <https://www.ecologiaverde.com/cuanto-tarda-en-degradarse-el-plastico-2693.html>.
- [40] P. Zeo. [En línea]. Available: <https://plataformazeo.com/es/cuanto-co2-emite-el-plastico/>.
- [41] Ladrillos.es. [En línea]. Available: <https://ladrillos.es/como-se-fabrican-los-ladrillos/>.
- [42] N. t. c. N. 2017, 23 05 2018. [En línea]. Available: <https://metroblock.com.co/norma-tecnica-colombiana-ntc-2017/>.
1. N. 4017, 30 11 2005. [En línea]. Available: <https://www.studocu.com/co/document/universidad-de-los-andes-colombia/ingenieria-de-materiales/mamposteria-ntc-4017-mamposteria-en-arcilla-macizos-y-con-perforaciones/23339189>.

