

**ELABORACIÓN DE BLOQUES EN TIERRA COMPRIMIDOS (BTC) CON LA  
ADICION DE POLIETILENO DE TEREFTALATO (PET) Y FIBRAS TEXTILES  
OBTENIDAS DE MATERIALES RECICLABLES COMO ALTERNATIVA PARA  
REDUCIR LOS ASPECTOS AMBIENTALES**

**Trabajo de grado para obtención del título de Ingeniería Civil**

**JENNY KATHERINE CARVAJAL SERRANO      000203461**

**OSCAR JULIAN CASTELLANOS ALVARADO      000320210**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**

**SECCIONAL BUCARAMANGA**

**FLORIDABLANCA**

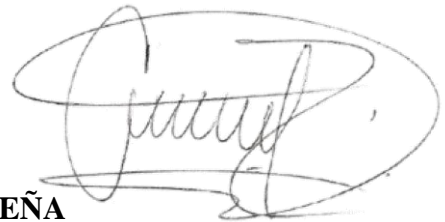
**2022**

**ELABORACIÓN DE BLOQUES EN TIERRA COMPRIMIDOS (BTC) CON LA  
ADICION DE POLIETILENO DE TEREFALATO (PET) Y FIBRAS TEXTILES  
OBTENIDAS DE MATERIALES RECICLABLES COMO ALTERNATIVA PARA  
REDUCIR LOS ASPECTOS AMBIENTALES**

**JENNY KATHERINE CARVAJAL SERRANO      000203461**

**OSCAR JULIAN CASTELLANOS ALVARADO      000320210**

**DIRECTOR:**



**CARLOS FERNANDO RIVERA PEÑA**

**INGENIERO CIVIL**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**

**SECCIONAL BUCARAMANGA**

**FLORIDABLANCA**

**2022**

## TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	12
1.1.	DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	13
1.2.	JUSTIFICACIÓN	14
2.	ANTECEDENTES	15
3.	OBJETIVOS	23
3.1.	OBJETIVO GENERAL	23
3.2.	OBJETIVOS ESPECIFICOS	23
4.	MARCO TEORICO	24
4.1.	NORMA TECNICA COLOMBIANA ICONTEC NTC 532	24
4.2.	NORMA TECNICA COLOMBIANA ICONTEC 4017	24
4.3.	BTC DE TIERRA	25
4.4.	HISTORIA DEL PLÁSTICO	25
4.5.	CLASIFICACION DEL PLÁSTICO, PROPIEDADES Y VENTAJAS	26
4.6.	PLASTICO PET	26
4.7.	ELABORACION DE ECOLADRILLOS	26
4.8.	BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDOS BTC	27
4.9.	EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL	28
5.	METODOLOGIA	30
5.1.	FASE 1: CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL	31
5.2.	FASE 2: FABRICACIÓN	31
5.3.	FASE 3: ENSAYOS	33
5.4.	FASE 4: ANÁLISIS Y RESULTADOS	33
5.5.	FASE 5: CONCLUSIONES	33
6.	RESULTADOS	34
6.1.	CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL	34
6.1.1.	TAMAÑO DE PARTÍCULAS	34
6.1.2.	COLOR	35
6.1.3.	CAÍDA DE BOLA	36
6.1.4.	TEST DE VIDRIO	37
6.1.5.	TEST DE CORDÓN	38

6.1.6. TEST DE CINTA	39
6.1.7. TEST DE EXUDACIÓN	41
6.1.8. TEST DE LA RESISTENCIA SECA	42
6.1.9. TEST DEL ROLLO	43
6.2. DENSIDADES DE LOS BTC	45
6.2.1. DENSIDADES DE LOS BTC + PET	45
6.2.2. DENSIDADES DE LOS BTC + HILO	47
6.3. ENSAYO DE COMPRESIÓN BTC	48
6.4. ENSAYO DE FLEXIÓN BTC	52
6.5. ENSAYO DE ABRASIÓN	56
6.6. ENSAYO DE CONTRACCION LINEAL	59
6.7. ENSAYO DE EROSIÓN	62
6.8. EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL	66
6.9. EFECTOS SINERGICOS	67
7. DISCUSIÓN	68
8. CONCLUSIONES	70
9. REFERENCIA	73

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Diagrama de flujo para elaboración de ladrillos

31

## LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Parámetros EPM	29
Imagen 2. Calificación Ambiental	30
Imagen 3. Test de vidrio	37
Imagen 4. Test de cordón	39
Imagen 5. Test de cinta	39
Imagen 6. Test de exudación	41
Imagen 7. Test de la resistencia seca	42
Imagen 8. Test del rollo	44

## LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. DENSIDADES BTC + PET	46
Gráfica 2. DENSIDADES BTC + HILO	46
Gráfica 3. Ensayo de Compresión BTC + PET	49
Gráfica 4. Ensayo de Compresión BTC + HILO	50
Gráfica 5. Ensayo de Compresión PET VS HLO- PATRON	51
Gráfica 6. Ensayo de flexión BTC + PET	53
Gráfica 7. Ensayo de flexión BTC + HILO.	54
Gráfica 8. Ensayo de Flexión PET VS HILO- PATRON.	55
Gráfica 9. Ensayo Abrasión BTC + PET.	57
Gráfica 10. Ensayo Abrasión BTC + HILO.	58
Gráfica 11. Retracción Natural BTC + PET.	60
Gráfica 12. Retracción Natural BTC + HILO.	61
Gráfica 13. Ensayo de Erosión BTC + PET.	63
Gráfica 14. Ensayo de Erosión BTC + HILO.	64

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Estadística Densidad BTC + PET	46
Tabla 2. Estadística Densidad BTC + HILO	48
Tabla 3. Estadística ensayo de compresión BTC + PET	49
Tabla 4. Estadística ensayo de compresión BTC + HILO	51
Tabla 5. Estadística ensayo de compresión PET VS HILO- PATRON	52
Tabla 6. Estadística ensayo de flexión BTC + PET	53
Tabla 7. Estadística ensayo de flexión BTC + HILO.	55
Tabla 8. Estadística ensayo de Flexión PET VS HILO- PATRON.	56
Tabla 9. Estadística Ensayo Abrasión BTC + PET.	57
Tabla 10. Estadística Ensayo Abrasión BTC + HILO	59
Tabla 11. Estadística Retracción Natural BTC + PET.	60
Tabla 12. Retracción Natural BTC + HILO.	62
Tabla 13. Ensayo de Erosión BTC + PET.	63
Tabla 14. Ensayo de Erosión BTC + HILO.	64
Tabla 15. Evaluación del impacto ambiental	66
Tabla 16. Matriz de evaluación del impacto ambiental según metodología EPM	67

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Tamaño de Partículas	34
Ilustración 2. Material Tamizado	35
Ilustración 3. Test de exudación	35
Ilustración 4. Prueba de caída	36
Ilustración 5. Resultados Test de Vidrio	37
Ilustración 6. Prueba de vidrio	37
Ilustración 7. Test de cinta	40
Ilustración 8. Test de exudación	42
Ilustración 9. Test de la resistencia seca	43
Ilustración 10. Test del rollo	44

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** ELABORACIÓN DE BLOQUES EN TIERRA COMPRIMIDOS (BTC) CON LA ADICION DE POLIETILENO DE TEREFTALATO (PET) Y FIBRAS TEXTILES OBTENIDAS DE MATERIALES RECICLABLES COMO ALTERNATIVA PARA REDUCIR LOS ASPECTOS AMBIENTALES

**AUTOR(ES):** JENNY KATHERINE CARVAJAL SERRANO  
OSCAR JULIAN CASTELLANOS ALVARADO

**PROGRAMA:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR(A):** CARLOS FERNANDO RIVERA PEÑA

### RESUMEN

Este trabajo de grado presenta la elaboración de bloques en tierra comprimidos (BTC) con la adición de polietileno de tereftalato (PET) y fibras textiles obtenidas de materiales reciclables como alternativa para reducir los aspectos ambientales mediante la caracterización del material seleccionado, la fabricación de los bloques, la realización de ensayo de flexión, carga axial, abrasión, contracción lineal, erosión y su respectivo análisis de resultados de donde se concluye que la mezcla BTC+PET no supera al bloque patrón en el ensayo de carga axial, la mezcla BTC+Hilo por otro lado supera al patrón en al menos 8% en todas sus combinaciones presentadas para el ensayo de carga axial. En los demás ensayos todas las mezclas de BTC+Hilo y BTC+PET superan en todos sus aspectos al patrón, razón por la cual cada una de las mezclas y combinaciones aquí ensayadas tienen un uso específico.

### PALABRAS CLAVE:

Bloques en tierra comprimidos, Polietileno de tereftalato, fibras textiles.

Vº Bº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

## GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

**TITLE:** ELABORATION OF COMPRESSED EARTH BLOCKS (BTC) WITH THE ADDITION OF POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET) AND TEXTILE FIBERS OBTAINED FROM RECYCLABLE MATERIALS AS AN ALTERNATIVE TO REDUCE ENVIRONMENTAL ASPECTS

**AUTHOR(S):** JENNY KATHERINE CARVAJAL SERRANO  
OSCAR JULIAN CASTELLANOS ALVARADO

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR:** CARLOS FERNANDO RIVERA PEÑA

### ABSTRACT

This degree work presents the elaboration of compressed earth blocks (CTB) with the addition of polyethylene terephthalate (PET) and textile fibers obtained from recyclable materials as an alternative to reduce environmental aspects through the characterization of the selected material, the manufacture of the blocks, the performance of bending test, axial load, abrasion, linear contraction, erosion and their respective analysis of results from which it is concluded that the BTC+PET mixture does not exceed the pattern block in the axial load test, the BTC+ mixture Yarn on the other hand outperforms the pattern by at least 8% in all its combinations presented for the axial load test. In the other tests, all the mixtures of BTC+Yarn and BTC+PET outperform the standard in all its aspects, which is why each of the mixtures and combinations tested here have a specific use.

### KEYWORDS:

Compressed ground blocks, Polyethylene terephthalate, textile fibers.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

## 1. INTRODUCCIÓN

A través del tiempo, el sector de la construcción en Colombia se ha convertido en uno de los pilares fundamentales de la economía y el avance del país, mejorando a su vez la infraestructura, comercio y comunicación a lo largo del territorio nacional. El presente trabajo de grado busca dar una alternativa ecológica al ladrillo convencional de arcilla cocida el cual consta de un proceso de fabricación que consiste en cocción de la arcilla en hornos industriales o artesanales que emiten dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), este es un gas que aumenta la concentración de los gases de efecto invernadero (GEI), contribuyendo a la crisis climática que atraviesa el planeta. El objetivo principal de este proyecto fue crear un diseño óptimo de bloque de tierra comprimida (BTC) con adición de tereftalato de polietileno (PET) y fibras textiles, utilizando diversos ensayos mecánicos de construcción en tierras para lograr la resistencia necesaria según la normativa colombiana e identificar el impacto ambiental generado por esta alternativa de bloque constructivo.

## **1.1. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA**

La innovación con materiales de construcción con uso de elementos alternativos en Colombia es una tendencia en crecimiento, los muros en tapia (tierra), es una tradición del siglo XIX y la evolución de la técnica, permitirá obtener grandes aspectos positivos para la población de escasos recursos. Por eso este proyecto tiene como finalidad observar los diferentes beneficios en el aprovechamiento de materiales plásticos reciclables en la construcción de muros en tierra, se espera que con esta investigación se pueda beneficiar el medio ambiente, aumentar este tipo de construcciones y analizar todas sus características intrínsecas para el cumplimiento de las normativas nacionales de construcción del país. Se considera que gracias a los diferentes laboratorios y herramientas de la Universidad Pontificia Bolivariana se podrá realizar el proyecto en el tiempo estimado por el reglamento interno de la facultad.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

Actualmente el sector de la construcción a nivel mundial es un fuerte emisor de huella de carbono. Se considera un 38% (Potes & Meza Estrada, 2018) de las emisiones globales del efecto invernadero lo cual es preocupante, no solo a nivel nacional sino a nivel mundial; por ello, en este trabajo de grado se propone una alternativa técnica y óptima de un diseño de bloque de tierra comprimida (BTC) con adición de tereftalato de polietileno (PET) y fibras textiles, para mitigar este gran consumo energético de la creación de ladrillos convencionales y su emisión de CO<sub>2</sub>. Esta alternativa no solo cumplirá los estándares básicos para BTC, sino que tendrá un valor social, económico y ambiental dando un nuevo uso a los residuos plásticos y disminuyendo el impacto ambiental de la producción de bloques en arcilla basándose en la teoría científica recolectada a lo largo de este trabajo y teniendo como conclusión un BTC admisible para construcción mediante un proceso menos nocivo y amigable con el medio ambiente, reduciendo la alta carga energética de los procesos convencionales y, por lo tanto, disminuyendo la huella de carbono generada.

## 2. ANTECEDENTES

### ANTECEDENTES DE ELABORACIÓN DE LADRILLOS CON MÉTODOS NO CONVENCIONALES

En el estudio propuesto por Julcamoro Cruz (Perú) en el 2018 realizaron un prototipo de un eco ladrillo para construir viviendas ecológicas en territorios de bajos recursos. Para esto tomaron los asentamientos humanos más vulnerables y determinaron por medio de encuestas los sitios donde debían elaborar dichas construcciones. Para la elaboración de estos eco ladrillos tuvieron en cuenta un método de construcción en seco que no requería mano de obra y basándose en las dimensiones del mercado actual y con un diseño similar a los ladrillos convencionales (largo 25 cm – ancho 12.5 cm – alto 7 cm – juntas horizontales 0.5 cm de espesor). De este trabajo se logró concluir que las ventajas obtenidas demuestran unas características ya aspectos favorables para la construcción como: reducción del tiempo de construcción, facilidad de compactación, aislamiento térmico y acústico, son favorables para el medio ambiente y de bajo costo (Mori et al., 2018).

En el año 2017, E. R. Echeverria Garro (Perú), realizaron otro trabajo elaborado por Evelyn Rosario en el año 2017 en Cajamarca Perú, que determinó las Propiedades fisicoquímicas de algunos ladrillos fabricados con PET (plástico reciclado), tomó la decisión de incluirlo por su resistencia, desgaste, rigidez y dureza para las exigencias técnicas de su país. Para esto realizo una mezcla de concreto vibrado con hojuelas de plástico con los siguientes porcentajes: 0%, 3%, 6% y 9%, de los cuales obtuvo 4 tipos de ladrillos. Transcurridos 28 días desde la fabricación, realizo pruebas y diferentes ensayos, pudo concluir que no hubo ninguna variación en cuanto a al

tamaño, humedad, vacíos y alabeos con el ladrillo convencional, al agregar las partículas de plástico, tienden a presentar poros por la forma de las hojuelas del plástico y no permiten la distribución completa del concreto, el peso de los eco-ladrillos es menor en un 14% (Evelyn r Echeverría G, 2017).

Otro estudio realizado por José Luis Maure (Panamá), realizaron ladrillos a base de polímeros PET y virutas metálicas, la elección de este material se basó en su capacidad para ser moldeables y también su gran oferta en el mercado, ya que luego no se puede volver a usar en botellas por higiene y seguridad del consumidor, por esta razón se convierte en un practica amigable para el medio ambiente. Para la elaboración establecieron una metodología de ocho pasos: selección de materia prima, limpieza de la materia prima, fundición de materiales, mezcla y moldeado del material compuesto, transformación de la pieza, prueba de compresión, pruebas de inducción eléctrica y restricciones y limitaciones La elaboración del primer ladrillo no tuvo en cuenta las cantidades utilizadas de plástico y viruta de metal, la prueba de enfriamiento arrojó un tiempo estimado de 45 minutos, para la elaboración del segundo ladrillo se tuvieron en cuenta las cantidades de los materiales y se calentó el molde para ocasionar una reducción del tiempo de cristalización, enfriamiento y forma, se realizaron análisis para mejorar esta fabricación como fue incluir el enfriamiento con agua, el control de la temperatura de fundición para no quemar el plástico y pisón para reducir el aire en los espacios. Concluyó que presentan un buen comportamiento a las pruebas de compresión, la necesidad de realizar más estudios para reemplazar los materiales tradicionales (Maure et al., 2018).

En este proyecto los ingenieros Ernesto Piñeros y Rafael Davis Herrera, en su trabajo de grado

en el año 2018, elaboraron ladrillos con agregados de PET para lograr una reducción de dinero al momento de la construcción, se logró analizar que realizando los ladrillos con el agregado de PET se logra una textura lisa de los ladrillos lo cual ayuda a reducir costos ya que se evita el revoque o pañete, también se evidencia la reducción del peso de los ladrillos, mientras que un ladrillo tradicional tiene 1.075 gr en promedio, un ladrillo con PET tiene un peso promedio de 0.784 gr. Los ladrillos con una adición de PET con un porcentaje al 10%, 20% y 25% cumplen con la resistencia específica requerida, y los ladrillos con porcentajes por encima del 30% no cumplen con la resistencia, lo cual hace que no sea posible la utilización de estos (Piñeros-Moreno & Herrera-Muriel, 2018).

En el año 2014, en el trabajo de grado realizado por Víctor Flores y compañeros, mostraron la reducción de costos en la construcción de viviendas y hacer que estas sean más ecológicas, se compararon precios de la teja y el ladrillo convencional y el ecológico y se notó la variación de precios, también el tratamiento del PET, no tiene mayor complicación ya que no se necesita que esté limpio ya que no afecta sus propiedades (Flores et al., 2014).

En el año 2007, Jairo Alexander Osorio prepararon un material compuesto de fibra de bagazo de caña y concreto, el cual se basó en adicionar distintas longitudes y espesores de fibras a la mezcla para mirar si dicha composición ayudaba a mejorar las propiedades físicas y mecánicas del material compuesto en estudio. Los autores evidenciaron una mejoría en las propiedades mecánicas de las probetas ensayadas con adición de fibra entre 15 y 25mm las cuales fueron retenidas en el tamiz #6 que al alcanzar un tiempo de fraguado de 14 días lograron alcanzar una resistencia entre 8,6 y

16,88 MPa superando notablemente la resistencia al mismo tiempo de fraguado y disminución del peso del agregado grueso en las probetas sin dicho aditivo (Espinoza Carvajal, 2015).

En el estudio realizado por autor Raúl Ricardo Berlingieri en el año 2017, se determinó un bloque sustentable conformado por mezclas de suelo pulverizado, agua y cemento el cual tenía la función de cumplir las normativas vigentes para bloques no portantes y adicionalmente ayudar en la disminución de procesos industriales a gran escala que contribuyen a la crisis energética de dicho país. Ricardo en su proyecto evidencia la creación de un nuevo mortero el cual cumple los requisitos de comprensión para bloques no portantes, mampostería sismorresistente tipo 3 y recomienda la implementación de este nuevo modelo de mortero a escala industrial con opción de adicionar cenizas volantes para obtener aun mejores resistencias a los esfuerzos que será sometido este nuevo bloque de mortero (Raúl & Berlingieri, 2017).

Otros autores, Juan José Clariá y Paula Vettorelo investigaron la caracterización del resultado de la adición de fibras sintéticas en mezclas de concreto que aumentan la resistencia a la corte axial final del suelo mejorado, como en los módulos de deformación correspondientes a niveles pequeños, medios y elevados de deformación. Se revisó la influencia del patrón de fibras (sueltas o combinadas), el tamaño y cantidad de las mismas mediante la elaboración de ensayos triaxiales de corte directo y la estimación velocidad de propagación de ondas de corte en un edómetro modificado. Se utilizaron fibras de longitudes que alternaron entre 5 y 20 mm y en porcentajes en peso de entre 0 y 4 %. Dicho estudio arrojó resultados favorables los cuales se evidenciaron en el aumento de la resistencia al corte en grandes deformaciones y ductilidades de la arena. Finalmente se puede concluir que la longitud de la fibra afecta significativamente su comportamiento tenso

deformación del suelo y que el incremento del contenido de las fibras hace que la superficie (arena) aumente su resistencia al corte, pero a costa de una mayor deformabilidad y ductilidad por lo que se deberá tener en cuenta los aspectos de resistencia y deformidad del sustrato en forma conjunta a la hora de implementar fibras sintéticas en sustratos arenosos (Juan José Claria & Paula Vetorelo, 2010).

En el artículo de revista del año 2017, escrito por el autor Raúl Omar Dimarco y compañero, pretendieron plantear y realizar bloques de ladrillo con adición de PET, empleando materiales reciclados procedentes de los residuos sólidos producidos en los mismos núcleos rurales en porcentajes de 20% y 40% comparados con una muestra patrón de 0% de aditivos PET, se utilizaron residuos sólidos generados en los núcleos rurales estudiados como botellas y demás residuos plásticos, materiales requeridos como insumo para la fabricación de ladrillos; Esto con el fin de hacer posible la implementación de un producto nuevo resistente con material reciclado, haciendo menos invasivas y más ecológicas las construcciones en un entorno rural donde pueda haber esa armonía entre hombre y naturaleza (Omar & León, 2017).

Cristian Fernando Quintero y Jeisson David Mahecha Rico, en el año 2016 tuvo como la utilización de pet reciclado y concreto, para la elaboración de un material compuesto de elementos reciclados (PET) que brinde una nueva alternativa y sea viable respecto al concreto normal. Finalmente los autores concluyen que se debe inferir más en las proporciones de agregado PET con el fin de aumentar las propiedades mecánicas; sin embargo se logró observar un crecimiento de la resistencia a flexión a medida que se aumenta el porcentaje de fibra PET en la mezcla (1,5% en adición de 30% PET) y la resistencia a la compresión decrece en un porcentaje muy bajo en un

rango de (-6,9% en adición de 30% PET) por lo cual no es conveniente trabajar en dicho rango de agregados dentro de la mezcla (Cristian et al., 2016).

La investigación de tesis realizada en la Universidad Nacional de Huancavelica en el año 2018 ejecutada por parte de los estudiantes Paytan Dueñas, Nilton; Pérez Salazar, Zócrates Maximiliano que se tituló “Uso de la lana de ovino en ladrillos de tierra estabilizadas, para muros de albañilería en el distrito-provincia de huancavelica-2018” enfocados en describir el aporte de la lana del ovino en los ladrillos de tierras estabilizadas, añadiendo cal hidráulico en diferentes porcentajes donde se evaluaron las propiedades físicas y mecánicas obtenidas mediante ensayos de laboratorios de suelo como lo son la resistencia a la compresión, absorción, densidad, resistencias a la flexión y la resistencia a la erosión. Finalmente lograron obtener desempeños notorios como un aumento a la resistencia a tracción de un 11.3286kg/cm con 1% de aditivo de lana de ovino comparado con un 4.86kg/cm<sup>2</sup> con 0% de aditivo de lana de ovino y también se descubrió que la lana de ovino impide la figuración en el secado y reparte las tensiones debido a la retracción de arcilla en su masa que aligera el material y disminuye su volumen mejorando sus propiedades aislantes y aumentando su resistencia a tracción (Paytan Dueñas & Pérez Salazar, 2018).

En el trabajo de grado de Esidon Andrés Paguay Córdova presenta una investigación con el fin de conocer la influencia de los bloques alivianados de hormigón con aditivo de plástico PET en la variación de la temperatura con respecto a bloques de hormigón convencionales por medio de una cámara hermética. Los resultados obtenidos de dicha investigación fueron que la variación de la temperatura entre los ambientes de bloques convencionales y los bloques hechos con 50% de PET son mayores aislantes con 33,56°C y un coeficiente de 0,524 W/m\*°K, con relación a una pared tradicional con 25,16 °C y un coeficiente de 0,541 W/m\*°K (Paguay Córdova, 2019).

En la tesis de grado denominada “Evaluación del esfuerzo admisible del adobe estabilizado con fibras de PET triturado en la zona de Mollepata provincia de Huamanga departamento de Ayacucho” El autor Nerio Quispe Crises plantea una alternativa a la problemática de la zona que son las construcciones en adobe el cual es muy poco resistente e inestable y cuya solución fue presentar unos bloques de tierra de adobe con cinco niveles de aditivo PET distribuidos en porcentajes de 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0% y 2.5% que lograron resistencias correspondientes a 12.06 kg/cm<sup>2</sup>, 12.27 kg/cm<sup>2</sup>, 12.54 kg/cm<sup>2</sup>, 13.28 kg/cm<sup>2</sup> y 14.24 kg/cm<sup>2</sup>, superando los esfuerzos admisibles de los bloques diseñados con solo adobe (De et al., 2017).

En el trabajo propuesto por Sandoval Saucedo, Jorge Luis y Guzmán Hasegawa, Renzo Hiroshi, se desarrolló una teoría sustentada en tesis anteriores, normas técnicas y diversas normativas que ayuda a lograr mejores resultados en la descripción y experimentación, muestreando ladrillos simples de hormigón y muestras de ladrillos PET teniendo como instrumentos tablas de ensayos y laboratorios en los cuales lograron diferir que las propiedades físicas del ladrillo de concreto y ladrillos PET no difieren en gran medida y adicional a ello se logra una resistencia a la compresión mayor que un bloque de concreto convencional aumentando un 3kg/cm<sup>3</sup> con respecto a la normativa de su país (Sandoval Saucedo & Guzmán Hasegawa, 2019).

En la tesis de maestría del autor Cesar Alberto Reyna Pari pudo determinar el resultado de la implementación de residuos plásticos, papel y caña de azúcar como materia prima en un concreto ecológico para la construcción de viviendas de bajo costo como la mejor opción tanto económicamente como constructivamente ya que las probetas probadas con adición de residuos PET, papel, caña de azúcar sustituyeron la arena lo cual condujo a una reducción del peso de 5%, 10% y 20% con respecto a probetas de concreto simple. Las probetas con adición de PET, papel,

caña de azúcar fueron sometidas a ensayos de compresión según norma ASTM C39 con la cual se concluyó que estos aditivos mejoran la resistencia a la compresión y se concluyó que el valor y la producción del concreto simple es mucho más costoso que el concreto adicionado con PET, papel, caña de azúcar obteniendo mejores resultados tanto mecánicos como económicos (Reutilización De Plástico & De, 2016).

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1.OBJETIVO GENERAL**

Establecer el diseño de mezcla óptimo para un bloque de tierra comprimido (BTC) con la adición de tereftalato de polietileno (PET) y fibras textiles para lograr la resistencia necesaria según la normativa del país e identificar el impacto de mitigación ambiental generado.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Determinar los diseños de mezcla óptimos de elaboración de bloque de tierra comprimido (BTC) agregándole tereftalato de polietileno (PET) y fibras textiles como aditivos reciclados según el análisis de sus propiedades físico-mecánicas.
- Analizar según las características físico-mecánicas mediante ensayos de compresión, el contenido de humedad y densidad en seco y carga de rotura para la evaluación de la aceptabilidad de los bloques de tierra comprimidos (BTC) como material apto para la construcción de vivienda según la NORMA TECNICA COLOMBIANA ICONTEC 5324.
- Evaluar el impacto ambiental y de mitigación que se genera con la fabricación de los bloques de tierra comprimidos (BTC) empleando los materiales tereftalato de polietileno (PET) y fibras textiles.

## **4. MARCO TEORICO**

### **4.1. NORMA TECNICA COLOMBIANA ICONTEC NTC 532**

- **OBJETO**

Esta norma define las características generales que deben cumplir los bloques macizos de suelo cemento para muros y divisiones. Describe los ensayos propios para determinar dichas características

- **CAMPO DE APLICACIÓN**

La presente norma se aplica a los bloques de suelo cemento destinados a la construcción de muros y divisiones en edificaciones.

Esta norma se aplica únicamente a los bloques destinados a ser utilizados en edificaciones u obras que no estén sometidas a las condiciones de hielo y deshielo.

No se aplica a los bloques obtenidos por extrusión (NTC 5324,2004).

### **4.2. NORMA TECNICA COLOMBIANA INCONTEC 4017**

- **OBJETO**

Esta norma define las características generales que deben cumplir los bloques macizos de suelo cemento para muros y divisiones. Describe los ensayos propios para determinar dichas características

- **CAMPO DE APLICACIÓN**

La presente norma se aplica a bloques de suelo cemento destinados a la construcción de muros y divisiones en edificaciones.

Esta norma se aplica únicamente a los bloques destinados a ser utilizados en edificaciones u obras que no estén sometidas a las condiciones de hielo y deshielo

No se aplica a los bloques obtenidos por extrusión (NTC 4017,2005).

### **4.3. BTC DE TIERRA**

Los BTC, se obtienen mediante la combinación de tierra, arena y cemento, para posteriormente ser compactada. El resultado de esta compactación entre materiales debe ser tamizado previamente antes de ser mezclado y consolidado. Para agregar un aditivo que es aquello que se tiene o que se puede agregar o incorporar a otra cosa en búsqueda de una mejoría, la herramienta utilizada para la compactación es más conocida como prensa o bloquear. Dicha herramienta está compuesta por una palanca, la cual es maniobrada por un operador certificado en dicho proceso.

### **4.4. HISTORIA DEL PLÁSTICO**

El plástico se origina en el año 1860 como resultado de nuevas alternativas para realizar la sustitución del marfil para la fabricación de las bolas de billar, con un material que fue denominado celuloide, a partir de allí, se inicia un recorrido de investigaciones. En 1909 se descubrió el material denominado alquitrán y de este surgió la baquelita, material que resultó ser muy útil por su capacidad para ser aislante eléctrico, resistente al calor, agua y ácidos.

Los químicos a principios del siglo XX, iniciaron con los conocimientos de las reacciones químicas, esto produjo que rápidamente se buscaran nuevos materiales, en 1930 se inició con la elaboración de plásticos a partir de derivados del petróleo, como el nylon y el PVC en los años 30 y el poliuretano en los años 40 (José & Arteaga, 2015).

#### **4.5. CLASIFICACION DEL PLÁSTICO, PROPIEDADES Y VENTAJAS**

Los plásticos se catalogan de acuerdo con su conducta a la temperatura y disolvente, siendo clasificados de dos maneras: termoestables o termoplásticos; los termoestables son aquellos que experimentan modificaciones definitivas por el calor y no pueden fundirse de nuevo y los termoplásticos, que son aquellos que son moldeables por el calor y no sufren una alteración química irreversible, siendo estos últimos los más fáciles de reciclar.

Sus propiedades se caracterizan para uso en materiales textiles y envases, entre otras se destacan la cristalinidad, transparencia, resistente a esfuerzos constantes, resistencia química, resistencia al desgaste, reciclable.

#### **4.6. PLASTICO PET**

El PET, es un polímero termoplástico generado por la polimerización de etilenglicol con ácido teraftalico, este se recicla mecánicamente, descubierto en 1941 por John Rex y James Tennant (Beltran Maribel & Antonio Marcilla, 2012).

#### **4.7. ELABORACION DE ECOLADRILLOS**

Los ladrillos fabricados bajo los parámetros de eco ladrillos se basan en el uso de cualquier material que sea reciclado para este fin, pueden ser de arcilla, triturados de construcciones, residuos de tala o madera. Estos pueden ser utilizados para exteriores e interiores de las edificaciones y se adaptan al uso de acabados convencionales.

La idea del surgimiento de estas técnicas, se basan en la capacidad que tienen de generar la

reutilización de materiales de deshechos que se generan en otros campos de la construcción, para el caso de México, se estima que se ha contribuido en una reutilización aproximada de 7000 toneladas por día de residuos de construcción y se establece como un aporte al cumplimiento de las especificaciones ambientales (María N Rojas V & Esperanza A Bolaños, 2015).

#### **4.8. BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDOS BTC**

Los BTC son una composición homogénea de suelo con un porcentaje de agua y cemento, en un delimitado grado de compactación.

Los (BTC) actualmente son analizados en la mayor parte del mundo con diferentes materiales estabilizantes para la mejora de sus propiedades. Este escenario se ha presentado por la importancia que la tierra tiene en el planeta como uno de los principales materiales en la construcción. Gracias a su fácil acceso y bajo costo la tierra es un elemento esencial para la urbanización ciertas poblaciones en el mundo (Carcedo Fernández, 2012).

Los bloques de tierra comprimido, se adquieren a partir de la mezcla de tierra, arena y cemento, para luego ser estabilizada. El material debe ser cernido por medio de tamices y posteriormente mezclado y compactado. La máquina empleada para la compactación es denominada como prensa o bloquera. Y está conformada de una barra metálica o palanca, la cual es manipulada por un operador humano (Karen T Arteaga M et al., 2011).

Los bloques de tierra comprimidos, son una alternativa constructiva para ser empleados cumpliendo los requerimientos mecánicos establecidos normativamente por cada país y para tener funcionalidades arquitectónicas y estructurales de acuerdo a su dosificación.

El uso de materiales de construcción convencionales como el cemento y mampostería, exige grandes cantidades de consumo en combustibles fósiles para su producción. Mediante la

implementación de estos BTC se disminuye la utilización de estos combustibles fósiles y se puede obtener un material de optimas características mecánicas, bajo costo y con diversidad arquitectónica y estructural. Con ese uso de fibras de plástico PET se busca como objetivo tener otro medio de reciclaje y reutilización que disminuya la contaminación y huella de carbono producida por dicho material, al ser adicionado como material constructivo (Pacheco et al., 2020).

#### **4.9. EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL**

La evaluación del impacto ambiental en un factor importantes por la tendencia mundial de cuidar el planeta y los recursos naturales.

##### **4.9.1. MÉTODO EPM**

El método EPM evalúa el impacto ambiental mediante los siguientes criterios:

Clase (C): Se refiere al sentido del cambio ambiental generado por una acción y puede ser: Positivo (+, P) cuando mejora la condición ambiental analizada o Negativo (-, N) si la desmejora.

Presencia (P): Este parámetro evalúa la posibilidad de la afectación que pueda generarse, por lo cual se expresa como un porcentaje de la probabilidad de ocurrencia.

Duración (D): En este criterio se analiza el período de existencia activa del impacto considerado. Se expresa en función del tiempo de permanencia del impacto.

Evolución (E): Se determina en términos del tiempo transcurrido entre el inicio de las repercusiones hasta cuando se presenta el máximo cambio sobre el factor considerado.

Magnitud (M): Evalúa la dimensión del cambio sufrido en el factor ambiental analizándolo mediante causa de una acción del proyecto. Se expresa en términos del porcentaje de afectación o de modificación del factor. Todos los parámetros son medidos de la siguiente manera (Ver Tabla 1):

**Imagen 1. Parámetros EPM**

CRITERIO	RANGO	VALOR
CLASE	Positivo (+)	1
	Negativo (-)	-1
PRESENCIA	Cierta	1.0
	Muy probable	0.7
	Probable	0.3
	Poco probable	0.1
	No Probable	0.0
DURACIÓN	Muy larga o permanente (D>10 años)	1.0
	Larga (7<D<10 años)	(0.7-1.0)
	Media (4<D<7 años)	(0.4-0.7)
	Corta (1<D<4 años)	(0.1-0.4)
	Muy corta (D<1 año)	(0.0-0.1)
EVOLUCIÓN	Muy rápida (E<1 mes)	(0.8-1.0)
	Rápida (1<E<12 meses)	(0.6-0.8)
	Media (12<E<18 meses)	(0.4-0.6)
	Lenta (18<E<24 años)	(0.2-0.4)
	Muy lenta (E>24 meses año)	(0.0-0.2)
MAGNITUD	Muy alta (Mr>80%)	(0.8-1.0)
	Alta (60%<Mr<80%)	(0.6-0.8)
	Media (40%<Mr<60%)	(0.4-0.6)
	Baja (20%<Mr<40%)	(0.2-0.4)
	Muy baja (Mr<20%)	(0.0-0.2)

Fuente: (Metodologías para la identificación y evaluación de impactos ambientales, 2013)

La calificación ambiental (Ca) es la expresión de la acción conjugada de los criterios con los cuales se calificó el impacto ambiental y representa la gravedad o importancia de la afectación que este está causando (Ver imagen 2).

$$Ca = C (P[7.0x E M + 3.0xD])$$

Donde:

Ca= Calificación ambiental, C= Clase, P= Presencia, E= Evolución M= Magnitud

D= Duración 7,0 y 3,0 son constantes que permiten equilibrar la ecuación (Metodologías para la identificación y evaluación de impactos ambientales, 2013).

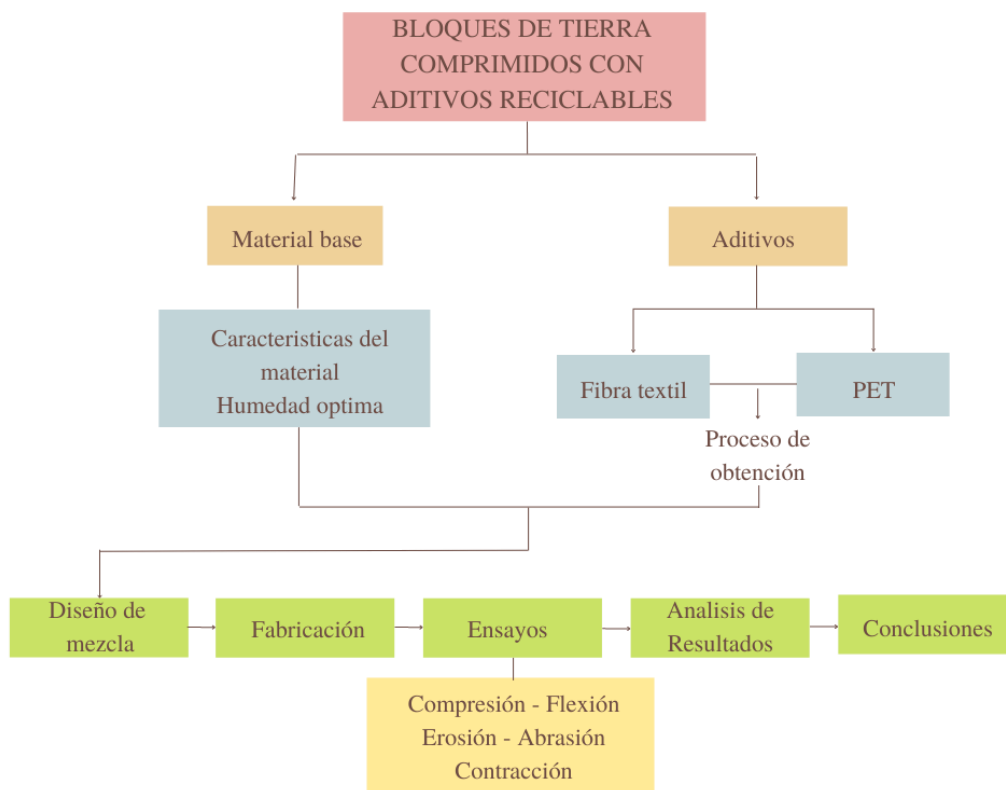
**Imagen 2. Calificación Ambiental**

CALIFICACIÓN AMBIENTAL (puntos)	IMPORTANCIA DEL IMPACTO AMBIENTAL
$\leq 2.5$	Poco significativo o irrelevante
$>2.5$ y $\leq 5.0$	Moderadamente significativo o moderado
$> 5.0$ y $\leq 7.5$	Significativo o relevante
$> 7.5$	Muy significativo o grave

**Fuente:** Metodologías para la identificación y evaluación de impactos ambientales. (s.f). Corantioquia

Para la elaboración de los ladrillos se realizó un proceso que inicio con la selección del material base y los aditivos que se incorporaron a la mezcla (PET y fibra textil), después se realizó la fabricación del ladrillo y a estos se les estableció las respectivas caracterizaciones del material contenido, recopilando esta información de su característica físico mecánica en cada espécimen para comprobar posibles alternativas y determinar posiblemente que se puede llegar a reducir referente ante aspectos ambientales que se puedan obtener con su implementación y cuidado del mismo para uso de materiales reciclables (Ver Figura 1):

**Figura 1. Diagrama de flujo para elaboración de ladrillos**



**Fuente:** Autores, 2021

### **5.1. FASE 1: CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL**

En esta fase se realizó la descripción del material como el tipo de suelo, sus propiedades físicas (tamaño de las partículas de la muestra), el color, el brillo, entre otras.

### **5.2. FASE 2: FABRICACIÓN**

En esta fase se realizaron ladrillos macizos con unas dimensiones constituidas de 10 cm x 33

cm x 20 cm, en los cuales se incluyeron diferentes cantidades debidamente analizadas de plástico y fibra textil, para esto se construyeron cuatro tipos diferentes, descritos a continuación:

- **Ladrillo tipo 1 (muestra patrón):** este fue elaborado de forma tradicional y materiales convencionales de tierra.
- **Ladrillo tipo 2, 3 y 4:** estos fueron elaborados por tierra adicionando un porcentaje de 1,5%, 3% 4,5% y 6% en el caso del polietileno de tereftalato (PET) los cuales fueron definidos según antecedentes y ensayos de laboratorio los cuales se evidenció que al aumentar la cantidad de aditivo PET los bloques de tierra se comportan de una manera inestable y por esa razón se implementó el uso de porcentajes mínimos en la composición de las muestras de BTC más aditivo PET. Para el caso de fibra textil (Hilo) se usaron porcentajes 0.1%,0.2%,0.3% y 0.4% con un tamaño de 3cm de largo. Estos porcentajes y tamaños se determinaron con base en la literatura investigada y pruebas piloto en laboratorio cuando se implementaron distintos porcentajes y tamaños de fibras que arrojaron como resultado aglomeramientos en un solo sector de la muestra y una disminución en la distribución del espacio debido al volumen que estas ocupaban aun haciendo la debida distribución del aditivo en el área del bloque.

La cantidad de ladrillos elaborados fue de 108, de los cuales se realizaron 12 x 4 ensayos de cada aditivo y 12 de bloques naturales para un total de 108 muestras elaboradas. Y de estos, todos fueron secados de forma tradicional (ambiente). El plástico fue triturado con una partícula promedio de 3 mm de material completamente reciclado, para garantizar este tamaño de partícula, el material fue tamizado y filtrado por el tamiz 19 mm (3/4”).

### **5.3. FASE 3: ENSAYOS**

En esta fase se ejecutan ensayos de compresión, flexión, erosión, abrasión y contracción según norma y ensayos técnicos locales.

### **5.4. FASE 4: ANÁLISIS Y RESULTADOS**

En esta fase se compara la literatura investigada con los resultados obtenidos de los ensayos aplicados a la muestra de bloque de tierra comprimida (BTC) elegida y ensayada.

### **5.5. FASE 5: CONCLUSIONES**

En esta fase se concretan las conclusiones finales del proyecto de grado sintetizando todos los cálculos, ensayos e investigaciones para dar una solución al objetivo general y los objetivos específicos de dicho proyecto.

## **6. RESULTADOS**

### **6.1. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL**

En esta fase se realizó la descripción del material como el tipo de suelo, sus propiedades físicas como el tamaño de las partículas de la muestra, el color, el brillo, entre otras (Bertrand Pahaut et al., 2020).

#### **6.1.1. TAMAÑO DE PARTÍCULAS**

El test de tamaño de partículas por medio visual arroja una clasificación de suelo limoso y arcilloso de la cual por la muestra de suelo recolectada también se tomó un puñado de muestra y se formó una bola que posteriormente se dejó secar al sol que se desintegro por ende podemos deducir que la muestra de suelo limoso y arcilloso no es recomendable para construir (Bertrand Pahaut et al., 2020). (Ver Ilustración 1-2).

**Ilustración 1. Tamaño de Partículas**



**Fuente:** Autores, 2022

## **Ilustración 2. Material Tamizado**



**Fuente:** Autores, 2022

### **6.1.2. COLOR**

La muestra ensayada arrojó un color claro brillante según el procedimiento de caracterización (Bertrand Pahaut et al., 2020). (Ver Ilustración 3).

## **Ilustración 3. Test de exudación**



**Fuente:** Autores, 2022

### 6.1.3. CAÍDA DE BOLA

La muestra ensayo de dimensión de 4cm de diámetro no presentó ninguna fisura después de ser cometida en caída libre a una altura de 1m de alto por lo tanto se puede deducir que la muestra tiene un alto contenido de arcilla (Bertrand Pahaut et al., 2020). (Ver Ilustración 4).

**Ilustración 4. Prueba de caída**



**Fuente:** Autores, 2022





Fuente: (Bertrand Pahaut et al., 2020)

**Resultado obtenido:** Según el triángulo de texturas y por resultado el estudio arrojó un 6%, pero por estudios en campo se trabaja una humedad del 10%.

#### 6.1.5. TEST DE CORDÓN

Este test mide la capacidad de la tierra para resistir y clasificar el tipo de tierra utilizada en el ensayo de investigación.

La muestra evaluada se presenta en un tipo de cordón “Suave” la cual se caracteriza por tener una característica de ruptura de la bola poco resistente, se fisura y desmorona fácilmente lo cual nos clasifica el material, como un material arcillo-limoso o areno-arcillosa presentando una plasticidad media lo cual indica que el material tiene un contenido de humedad medio el cual va a mantener el estado plástico un tiempo prudente, para el uso y manipulación sin afectación (Bertrand Pahaut et al., 2020). (Ver imagen 4):

**Imagen 4. Test de cordón**

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

Fuente: Autores, 2022

#### 6.1.6. TEST DE CINTA

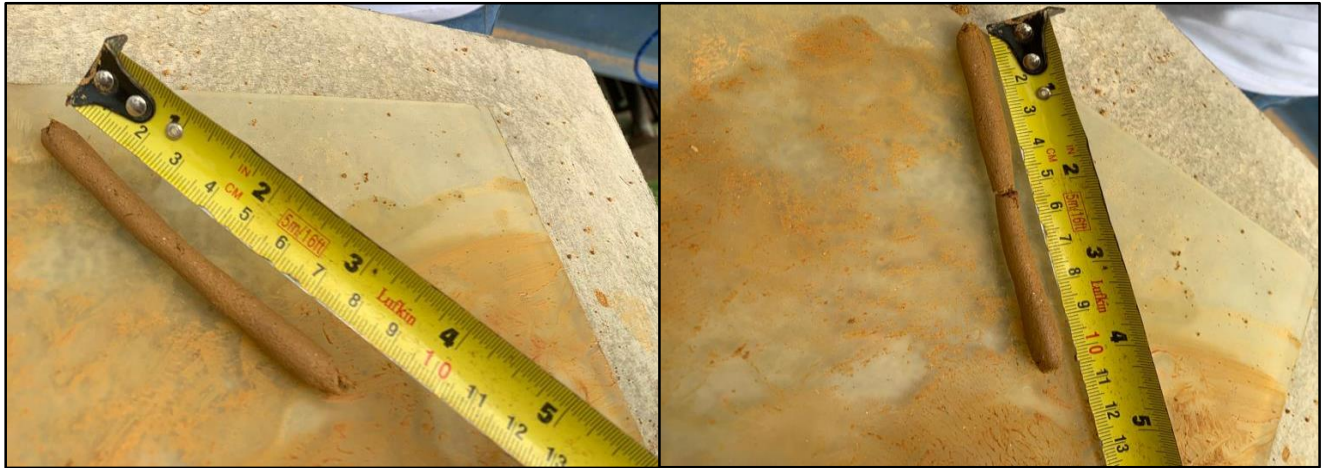
Este test mide la capacidad de la tierra para resistir y clasificar el tipo de tierra utilizada en el ensayo de investigación (Bertrand Pahaut et al., 2020). (Ver Imagen 5; Ilustración 7)

**Imagen 5. Test de cinta**

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

Fuente: Autores, 2022

### Ilustración 7. Test de cinta



**Fuente:** Autores, 2022

Como se aprecia en las imágenes de evidencia (Ver Ilustración 7) que se quiebra el material al formar la cinta y la caracterización nos dio como resultado un material Arcillo-limoso o areno-arcillosa y de plasticidad media, lo cual sigue con la misma característica que el test de cordón, según la norma e-80 de Perú diseño y construcción con tierra reforzada, es necesario tener un equilibrio y optimización con el fin de control, evitar las fisuras de secado y esto con el fin de mejorar la resistencia seca. Su resistencia debe cumplir lo indicado (Bertrand Pahaut et al., 2020).

- Los ensayos de laboratorio de esfuerzos de rotura mínimos para medir Resistencia de Material a la compresión: se calcula con la expresión siguiente  $F_0 = 1.0 \text{ Mpa} = 10.2 \text{ kgf/cm}^2$
- Los ensayos de laboratorio de esfuerzos de rotura mínimos para medir Resistencia de Material a la tracción: la resistencia ultima es de  $0.08 \text{ Mpa} = 0.81 \text{ kgf/cm}^2$
- Los ensayos de laboratorio de esfuerzos de rotura mínimos para medir la Resistencia del

mortero a la tracción, se realiza conforme al procedimiento siguiente: la resistencia ultima es de 0.0.12 Mpa = 0.12 kgf/cm<sup>2</sup> (Bertrand Pahaut et al., 2020).

### 6.1.7. TEST DE EXUDACIÓN

Con este test podemos evaluar que la exudación es lenta la cual indica que es un material apto para BTC y tapia, pero tiene la necesidad de un aglomerante; para su estabilización buscamos la más apropiada será la corrección de granulometría y el uso de impermeabilizante (Bertrand Pahaut et al., 2020). (Ver Imagen 6; Ilustración 8)

**Imagen 6. Test de exudación**

Marque con una X	Tipo de Reacción	Numero de golpes	Efecto en la muestra	Clasificación Interpretada
	<b>Rápida</b>	5 - 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 inorgánico; tierra arenosa o limosa
<b>X</b>	<b>Lenta</b>	20 - 30 (22 Golpes)	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
	<b>Muy Lenta</b>	más de 30	No hay cambio notable	Tierra de alta plasticidad, arcilla

Fuente: Autores, 2022

### Ilustración 8. Test de exudación



Fuente: Autores, 2022

#### 6.1.8. TEST DE LA RESISTENCIA SECA

Las muestras vistas son poco resistentes las cuales no son posibles de romper una de estas pastillas de tierra arcillosa de la manera recomendada, ella solo se rompe por flexión y con el uso de las dos manos. (Bertrand Pahaut et al., 2020). (Ver Imagen 7; Ilustración 9):

Imagen 7. Test de la resistencia seca

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

Fuente: Autores, 2022

### Ilustración 9. Test de la resistencia seca



Fuente: Autores, 2022

#### 6.1.9. TEST DEL ROLLO

La muestra presentada en las imágenes tiene a la inicial de la prueba una longitud de 20 cm un diámetro de 2,5 cm aproximadamente, el rollo se deslizó suavemente hasta el punto de quedar como un cilindro. Se realizó la prueba y se llevó a la ruptura, el segmento que quedo sobre la mesa (como se evidencia en la última imagen) tiene un largo de 10 cm y respecto a la teoría de Manual de construção.com solo-cimento. 3 ed.atual. São Paulo, la ruptura se encuentra en el rango de 80mm y 120mm nos indica que tiene la cantidad ideal de arcilla (Bertrand Pahaut et al., 2020). (Ver imagen 8; Ilustración 10).

**Imagen 8. Test del rollo**

Marque con una X	Ruptura del cordón	Clasificación e Interpretación
	Menos de 80 mm	No hay arcilla suficiente
<b>X</b>	Entre 80 y 120mm	Cantidad ideal de arcilla
	Mayor a 120mm	Exceso de arcilla

Fuente: Autores, 2022

**Ilustración 10. Test del rollo**



Fuente: Autores, 2022

## 6.2. DENSIDADES DE LOS BTC

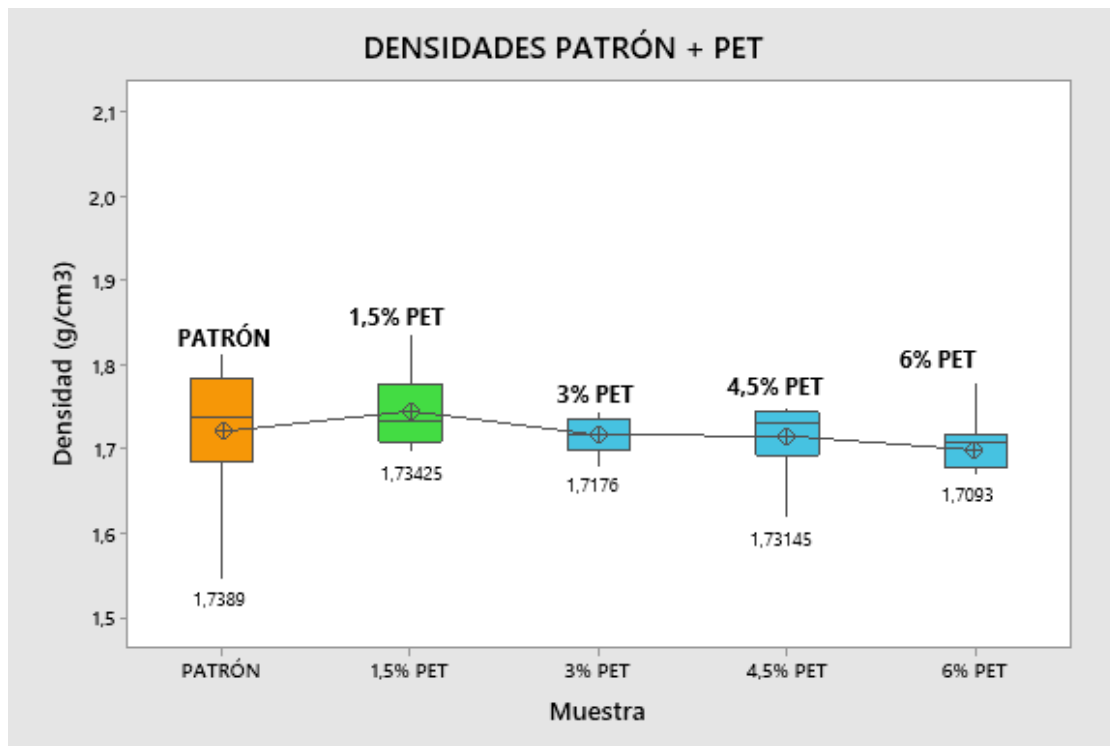
En relación de la masa y el volumen podemos evidenciar notorios resultados comparando el promedio de la densidad del patrón y la densidad de los diferentes porcentajes del material PET (polietileno de tereftalato) y adicionando un error de medición de  $\pm 0.0002$  a la densidad. Se observó que, a mayor porcentaje del material de estudio, menor densidad promedio en los BTC.

### 6.2.1. DENSIDADES DE LOS BTC + PET

No.	PATRON		1,5% PET		3% PET		4,5% PET		6% PET	
	P. INICIAL [g]	DENSIDAD [g/cm <sup>3</sup> ]	P. INICIAL [g]	DENSIDAD [g/cm <sup>3</sup> ]	P. INICIAL [g]	DENSIDAD [g/cm <sup>3</sup> ]	P. INICIAL [g]	DENSIDAD [g/cm <sup>3</sup> ]	P. INICIAL [g]	DENSIDAD [g/cm <sup>3</sup> ]
1	9490	1,7574	9210	1,7056	9400	1,7407	9420	1,7444	9100	1,6852
2	9450	1,7500	9910	1,8352	9320	1,7259	9420	1,7444	9070	1,6796
3	9570	1,7722	9320	1,7259	9410	1,7426	9180	1,7000	9210	1,7056
4	9730	1,8019	9410	1,7426	9270	1,7167	8750	1,6204	9600	1,7778
5	9080	1,6815	9290	1,7204	9280	1,7185	9380	1,7370	9250	1,7130
6	9330	1,7278	9630	1,7833	9270	1,7167	9320	1,7259	9030	1,6722
7	9170	1,6981	9320	1,7259	9080	1,6815	9390	1,7389	9060	1,6778
8	9210	1,7056	9720	1,8000	9380	1,7370	9420	1,7444	9280	1,7185
9	8690	1,6093	9510	1,7611	9360	1,7333	9440	1,7481	9250	1,7130
10	8360	1,5481	9420	1,7444	9170	1,6981	9020	1,6704	8680	1,6074
11	9660	1,7889	9170	1,6981	9210	1,7056	9130	1,6907	9280	1,7185
12	9780	1,8111	9190	1,7019	9100	1,6852	9320	1,7259	9290	1,7204
Promedio	9293	1,7210	9425	1,7454	9271	1,7168	9266	1,7159	9175	1,6991

Fuente: Autores, 2022

**Gráfica 1. DENSIDADES BTC + PET**



Fuente: Autores, 2022

**Tabla 1. Estadística Densidad BTC + PET**

TIPO	BTC (PATRON)	1,5% PET	3% PET	4,5% PET	6% PET
Q1	0,0016	0,0017	0,0017	0,0016	0,0016
Mediana	0,0017	0,001713	0,0017	0,00173	0,0017
Q3	0,0017	0,0017	0,0017	0,0017	0,0017
Rango Intercuartil	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Bigotes	0,001; 0,001	0,001; 0,002	0,001; 0,001	0,001; 0,002	0,001; 0,003
N	12	12	12	12	12

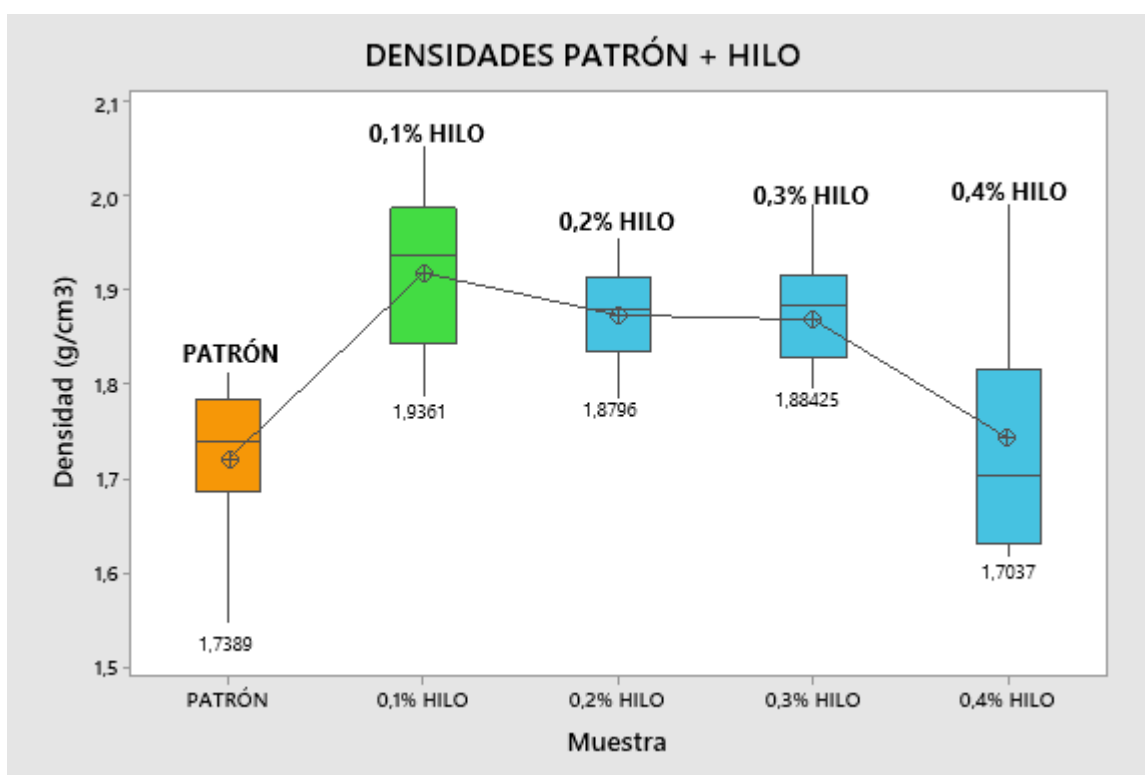
Fuente: Autores, 2022

## 6.2.2. DENSIDADES DE LOS BTC + HILO

No.	PATRON		0,1% HILO		0,2% HILO		0,3% HILO		0,4% HILO	
	P. INICIAL [g]	DENSIDAD [g/cm <sup>3</sup> ]	P. INICIAL [g]	DENSIDAD [g/cm <sup>3</sup> ]	P. INICIAL [g]	DENSIDAD [g/cm <sup>3</sup> ]	P. INICIAL [g]	DENSIDAD [g/cm <sup>3</sup> ]	P. INICIAL [g]	DENSIDAD [g/cm <sup>3</sup> ]
1	9490	1,7574	10550	1,9537	10400	1,9259	10750	1,9907	10580	1,9593
2	9450	1,7500	11080	2,0519	10150	1,8796	10350	1,9167	9850	1,8241
3	9570	1,7722	9660	1,7889	10350	1,9167	10350	1,9167	8840	1,6370
4	9730	1,8019	10810	2,0019	9900	1,8333	10100	1,8704	9200	1,7037
5	9080	1,6815	10550	1,9537	9650	1,7870	9850	1,8241	8740	1,6185
6	9330	1,7278	10360	1,9185	9750	1,8056	9950	1,8426	9690	1,7944
7	9170	1,6981	10170	1,8833	10050	1,8611	9950	1,8426	8780	1,6259
8	9210	1,7056	10610	1,9648	10300	1,9074	10500	1,9444	8900	1,6481
9	8690	1,6093	9780	1,8111	10550	1,9537	9000	1,6667	10750	1,9907
10	8360	1,5481	10770	1,9944	10150	1,8796	10350	1,9167	9200	1,7037
11	9660	1,7889	9920	1,8370	9950	1,8426	10250	1,8981	8800	1,6296
12	9780	1,8111	10050	1,8611	10200	1,8889	9700	1,7963	9600	1,7778
Promedio	9293	1,7210	10359	1,9184	10117	1,8735	10092	1,8688	9411	1,7427

Fuente: Autores, 2022

Gráfica 2. DENSIDADES BTC + HILO



Fuente: Autores, 2022

**Tabla 2. Estadística Densidad BTC + HILO**

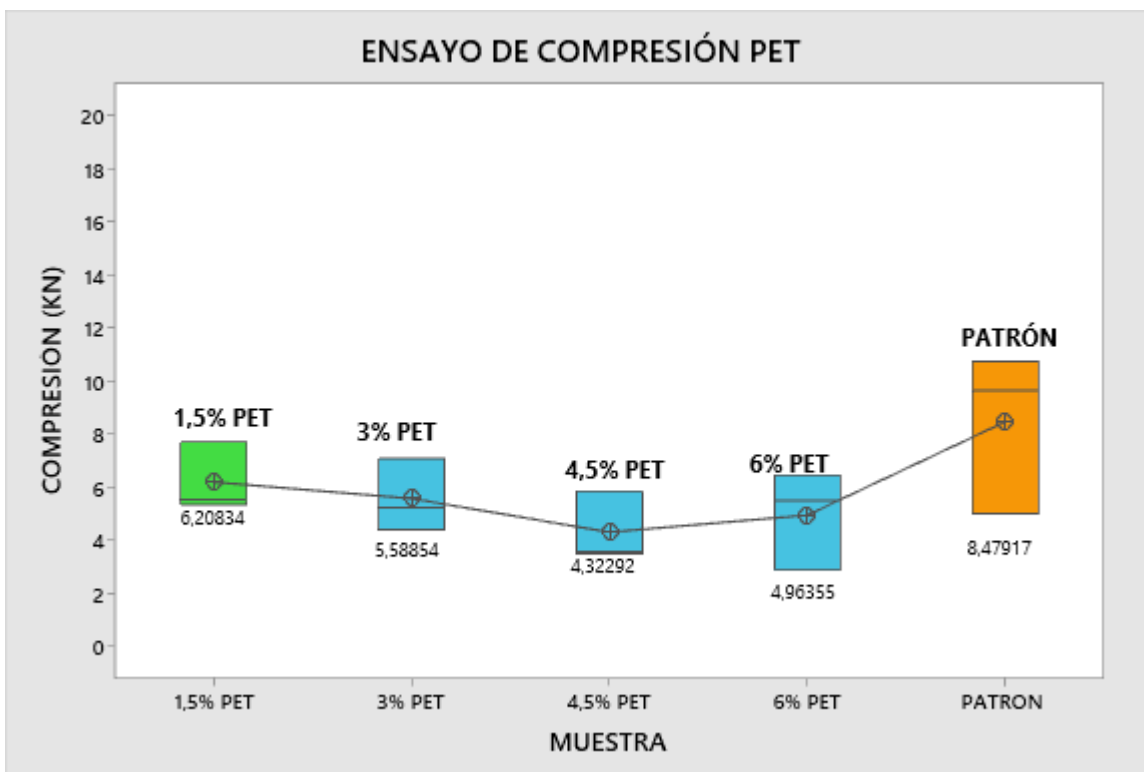
<b>TIPO</b>	<b>BTC (PATRON)</b>	<b>0,1% HILO</b>	<b>0,2% HILO</b>	<b>0,3% HILO</b>	<b>0,4% HILO</b>
Q1	0,0016	0,0018	0,0018	0,0018	0,0016
Mediana	0,0017	0,00193	0,00187	0,00188	0,0017
Q3	0,0017	0,00198	0,00191	0,00191	0,0017
Rango Intercualtil	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Bigotes	0,001; 0,001	0,001; 0,002	0,001; 0,001	0,001; 0,002	0,001; 0,003
<b>N</b>	12	12	12	12	12

**Fuente:** Autores, 2022

### **6.3. ENSAYO DE COMPRESIÓN BTC**

El ensayo de compresión empleado a los BTC con adición de PET se aplicó bajo la normativa “Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla resistencia a la compresión NTC 4017”. La cual permite conocer que la adición PET (polietilentereftalato) no superó el promedio de capacidad a esfuerzos de compresión de la muestra patrón, sin embargo, la combinación de 1,5% de PET + BTC alcanzo una resistencia promedio de 6,208Kn lo que representa el 73,28% de la resistencia promedio del BTC patrón. (ver grafica 3; tabla 3)

**Gráfica 3. Ensayo de Compresión BTC + PET**



Fuente: Autores, 2022

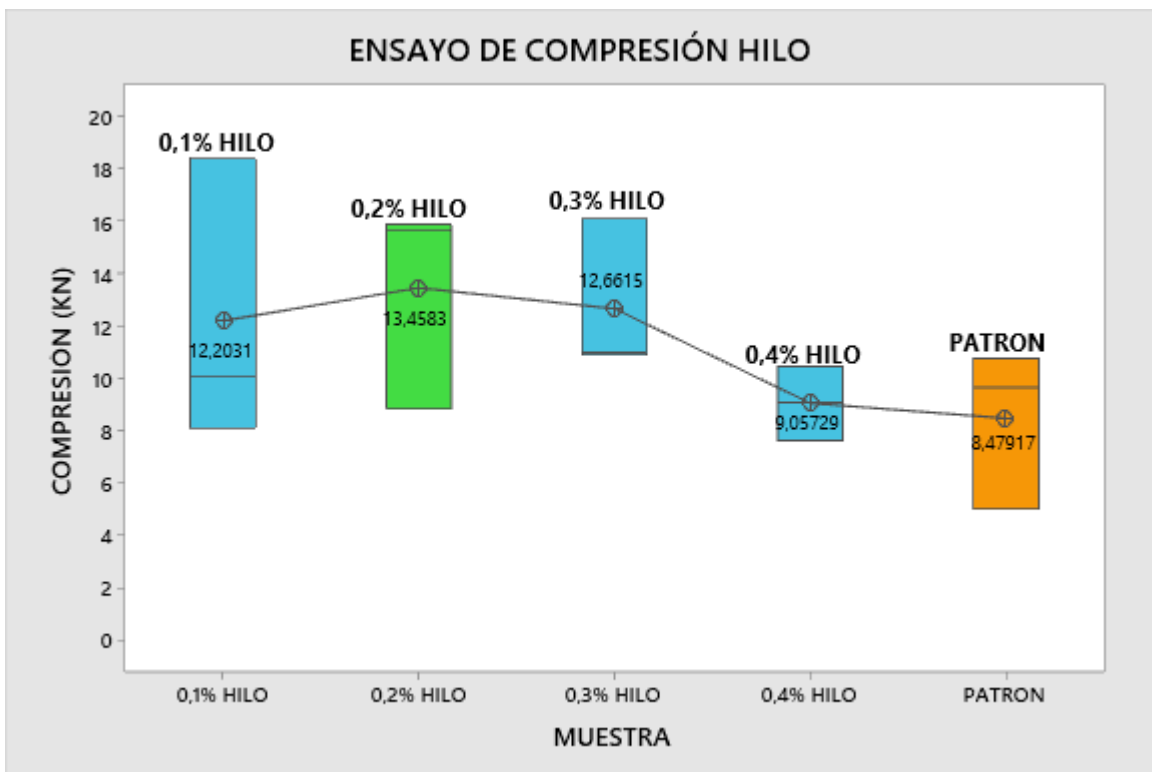
**Tabla 3. Estadística ensayo de compresión BTC + PET**

TIPO	BTC (PATRON)	1,5% PET	3% PET	4,5% PET	6% PET
Q1	5,01	5,35	4,42	3,54	2,89
Mediana	9,65	5,54	5,25	3,59	5,51
Q3	10,76	7,71	7,09	5,87	6,48
Rango Intercuartil	5,75	2,35	2,67	2,37	3,59
Bigotes	5,01; 10,76	5,35; 7,71	4,41; 7,09	3,53; 5,87	2,89; 6,48
N	3	3	3	3	3

Fuente: Autores, 2022

El ensayo de compresión empleado a los BTC con adición de HILO se aplicó bajo la normativa “Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla resistencia a la compresión NTC 4017” mediante la cual se puede acceder y evidenciar algún cambio en la muestra. En este ensayo de hilo (polietileno y fibras textiles) permite conocer que la adición de HILO + BTC superó el promedio de capacidad a esfuerzos de compresión de la muestra patrón, evidenciando una superación de todos los especímenes, la combinación de 0,2% de HILO + BTC alcanzo una resistencia promedio de 13.458Kn lo que representa el 158.72% de la resistencia promedio del BTC patrón. (ver grafica 4; tabla 4)

**Gráfica 4. Ensayo de Compresión BTC + HILO**



**Fuente:** Autores, 2022

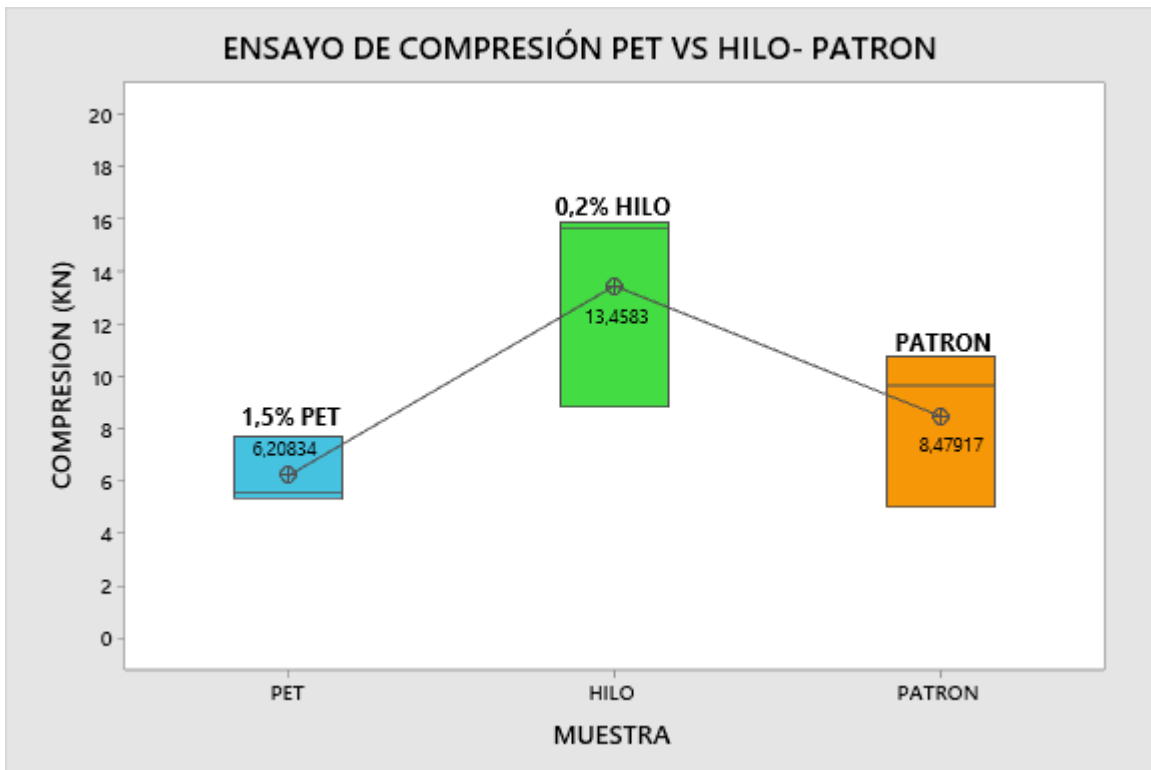
**Tabla 4. Estadística ensayo de compresión BTC + HILO**

TIPO	BTC (PATRON)	0,1% HILO	0,2% HILO	0,3% HILO	0,4% HILO
Q1	5,01	8,10	8,82	10,89	7,62
Mediana	9,65	10,10	15,67	11	9,07
Q3	10,76	18,39	15,87	16,09	10,46
Rango Intercuartil	5,75	10,28	7,04	5,20	2,84
Bigotes	5,01; 10,76	8,10; 18,39	8,82; 15,87	10,89; 16,09	7,62; 10,46
N	3	3	3	3	3

Fuente: Autores, 2022

El comparativo de las muestras PET VS HILO – PATRON nos da un mayor entendimiento del rendimiento con el cual puede afectar un aditivo en un espécimen. (ver grafica 5; tabla 5)

**Gráfica 5. Ensayo de Compresión PET VS HLO- PATRON**



Fuente: Autores, 2022

**Tabla 5. Estadística ensayo de compresión PET VS HILO- PATRON**

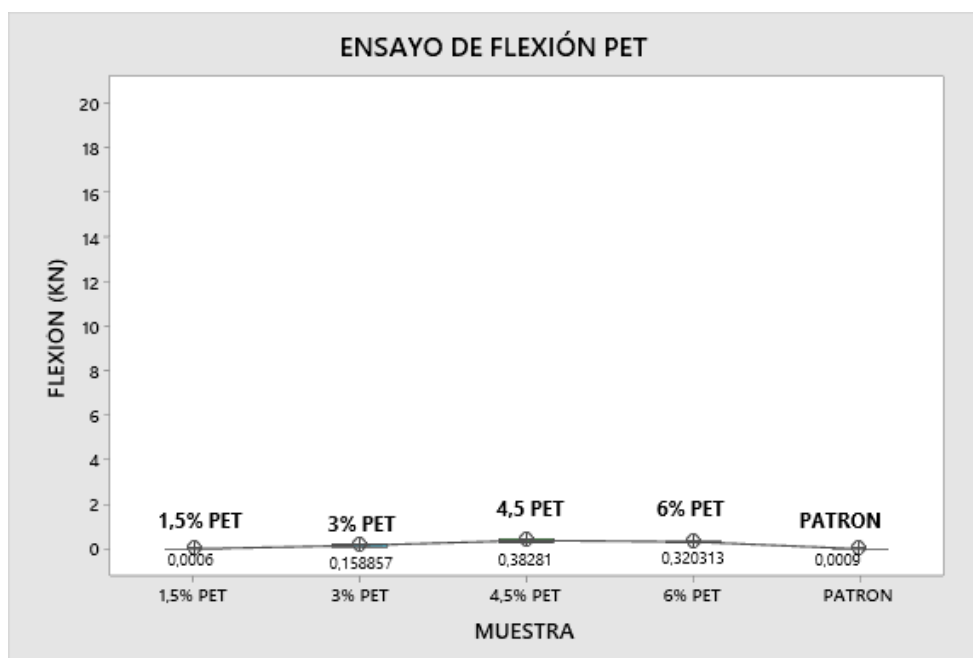
<b>TIPO</b>	<b>BTC (PATRON)</b>	<b>PET</b>	<b>HILO</b>
Q1	5,01	4,42	8,82
Mediana	9,65	5,51	10,46
Q3	10,76	7,09	15,67
Rango Intercuartil	5,75	2,67	6,84
Bigotes	5,01; 10,76	2,89; 10,76	5,01; 18,39
<b>N</b>	3	15	15

**Fuente:** Autores, 2022

#### **6.4. ENSAYO DE FLEXIÓN BTC**

El ensayo de flexión empleado a los BTC con adición de PET se aplicó bajo la normativa “Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla resistencia a la compresión NTC 4017”. La cual permite conocer que la adición PET (polietileno de tereftalato) superó el promedio de capacidad al módulo de rotura de la muestra patrón, donde la combinación de 4,5% de PET + BTC alcanzo una resistencia promedio de 0.382Kn lo que representa un 42444% superior al módulo de rotura promedio del BTC patrón. (ver grafica 6; tabla 6)

**Gráfica 6. Ensayo de flexión BTC + PET**



Fuente: Autores, 2022

**Tabla 6. Estadística ensayo de flexión BTC + PET**

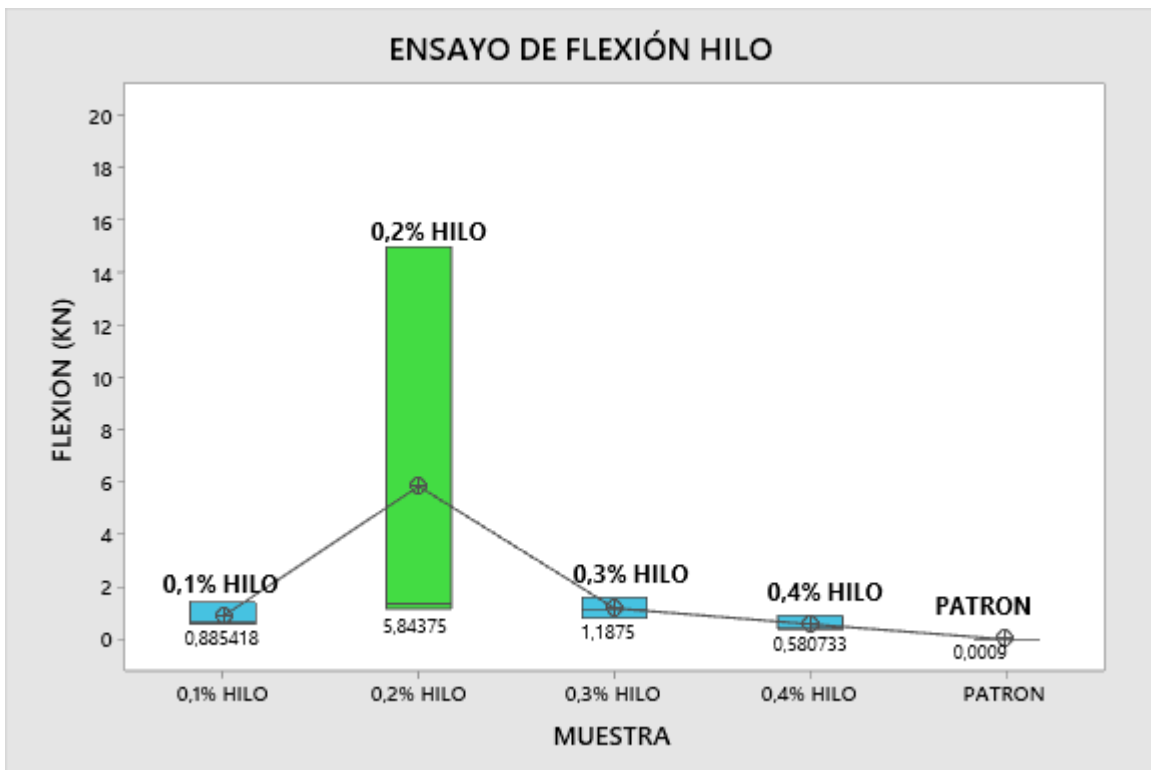
TIPO	BTC (PATRON)	1,5% PET	3% PET	4,5% PET	6% PET
Q1	0	0,001	0,08	0,2890	0,3046
Mediana	0,001	0,001	0,18	0,3828	0,3125
Q3	0,001	0,001	0,20	0,4765	0,3437
Rango Intercualtil	0,001	0,0004	0,1171	0,1875	0,0390
Bigotes	0; 0,001	0,004; 0,001	0,08; 0,20	0,28; 0,47	0,30; 0,3437
N	3	3	3	3	3

Fuente: Autores, 2022

El ensayo de flexión empleado a los BTC con adición de HILO se aplicó bajo la normativa “Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla resistencia a la compresión

NTC 4017". La cual permite conocer que la adición HILO (polietileno y fibras textiles) superó el promedio de capacidad al módulo de rotura de la muestra patrón, donde la combinación de 0,2% de HILO + BTC alcanzo una resistencia promedio de 5.843Kn lo que representa un 649222% superior al módulo de rotura promedio del BTC patrón. (ver grafica 7; tabla 7)

**Gráfica 7. Ensayo de flexión BTC + HILO.**



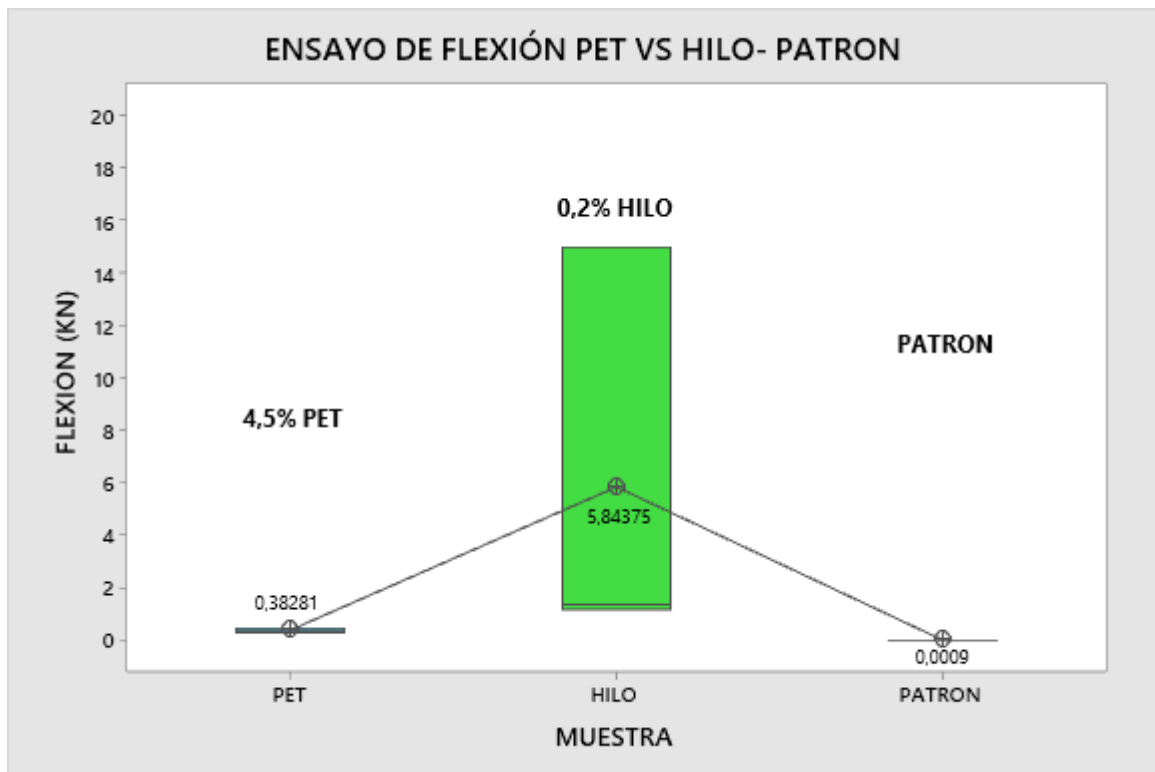
Fuente: Autores, 2022

**Tabla 7. Estadística ensayo de flexión BTC + HILO.**

TIPO	BTC (PATRON)	0,1% HILO	0,2% HILO	0,3% HILO	0,4% HILO
Q1	0	0,59	1,17	0,7968	0,3984
Mediana	0,001	0,64	1,35	1,1562	0,4218
Q3	0,001	1,42	15	1,6093	0,3984
Rango Intercualtil	0,001	0,82	13,8281	0,8125	0,5234
Bigotes	0; 0,001	0,59; 1,42	1,17; 15	0,79; 1,60	0,39; 0,39
N	3	3	3	3	3

Fuente: Autores, 2022

**Gráfica 8. Ensayo de Flexión PET VS HILO- PATRON.**



Fuente: Autores, 2022

**Tabla 8. Estadística ensayo de Flexión PET VS HILO- PATRON.**

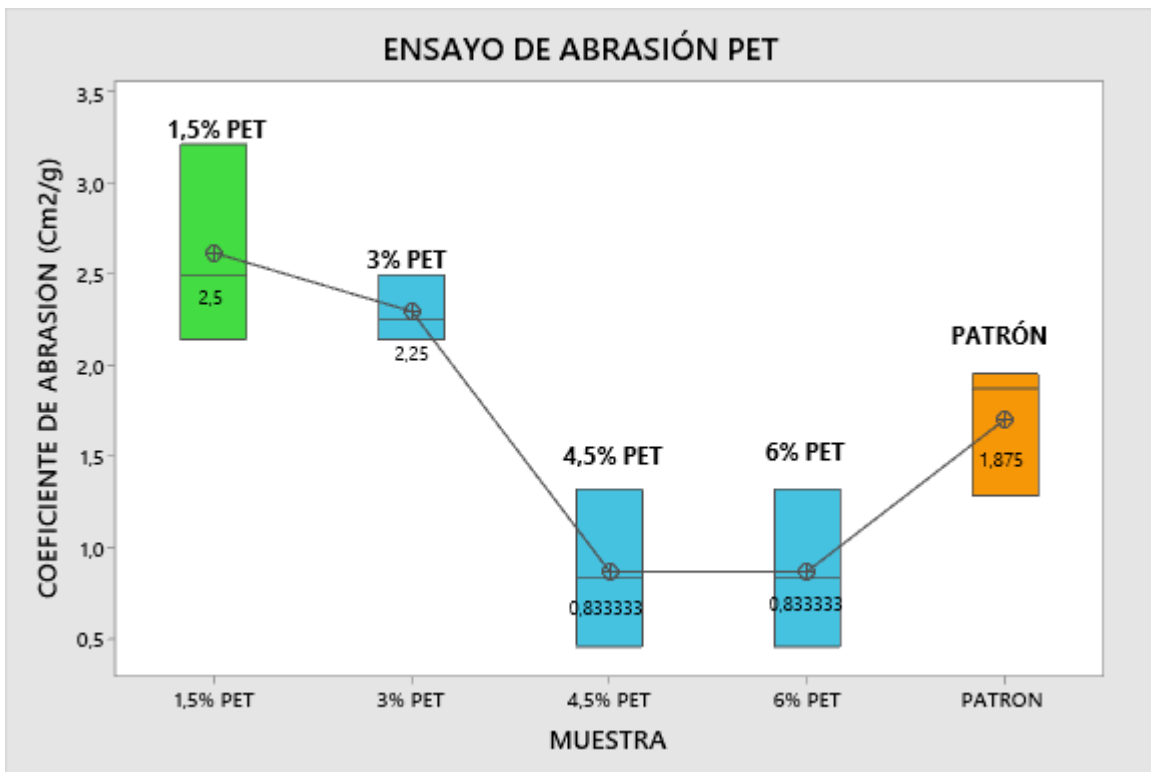
<b>TIPO</b>	<b>BTC (PATRON)</b>	<b>4,5 PET</b>	<b>0,2 HILO</b>
Q1	0	0,28	1,17
Mediana	0,001	0,38	1,35
Q3	0,001	0,47	15
Rango Intercuartil	0,001	0,18	13,82
Bigotes	0; 0,001	0,28; 0,47	1,17; 15
N	3	3	3

**Fuente:** Autores, 2022

### **6.5. ENSAYO DE ABRASIÓN**

El ensayo de abrasión ejecutado a los BTC se aplicó bajo el reglamento técnico de la “NTC 5324: Bloques de suelo cemento para muros y divisiones. Definiciones. Especificaciones. Métodos de Ensayo. Condiciones de Entrega (2004), Colombia.” Las muestras evidencian un coeficiente de abrasión (Ca) poco ajustable para la resistencia en exteriores según la NTC, pero con una mejoría respecto al PATRON (Ca 1.875) en la muestra 1.5% PET (Ca = 2.5) evidenciando un 133.33% de mejor rendimiento comparativo al patrón, pero con las mismas restricciones de que los elementos deberán ser revestidos. (ver grafica 9; tabla 9)

**Gráfica 9. Ensayo Abrasión BTC + PET.**



Fuente: Autores, 2022

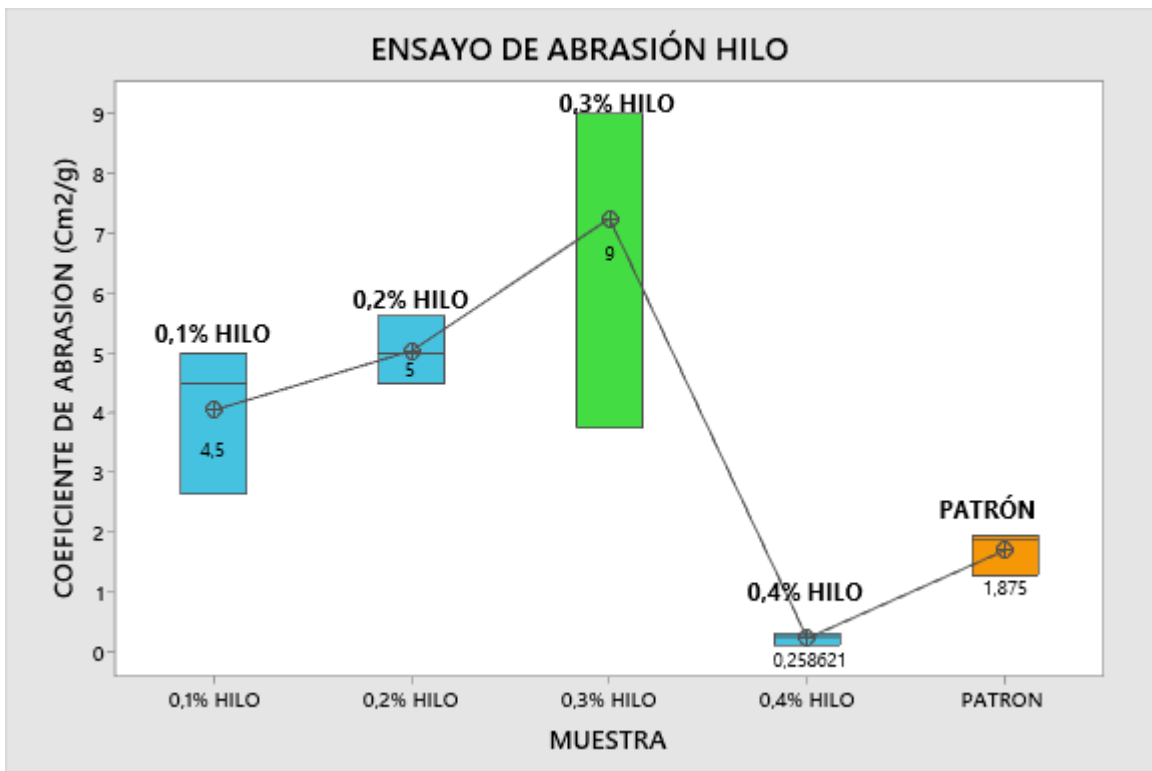
**Tabla 9. Estadística Ensayo Abrasión BTC + PET.**

TIPO	BTC (PATRON)	1,5% PET	3% PET	4,5% PET	6% PET
Q1	1,28	2,14	2,14	0,45	0,45
Mediana	1,87	2,5	2,25	0,83	0,83
Q3	1,95	3,21	2,5	1,32	0,32
Rango Intercualtil	0,67	1,07	0,35	0,86	0,86
Bigotes	01,28; 1,95	2,14; 3,21	2,14; 2,5	0,45; 1,32	0,45; 0,32
N	3	3	3	3	3

Fuente: Autores, 2022

La muestra 0,3 HILO evidencian un coeficiente de abrasión ( $Ca = 9$ ) bastante ajustable para la resistencia en exteriores según la NTC, mejorando respecto al PATRÓN ( $Ca 1.875$ ) evidenciando un 480% de mejor rendimiento comparativo al patrón, con la ventaja de poder ser empleados en muros exteriores vistos. (ver grafica 10; tabla 10)

**Gráfica 10. Ensayo Abrasión BTC + HILO.**



Fuente: Autores, 2022

**Tabla 10. Estadística Ensayo Abrasión BTC + HILO**

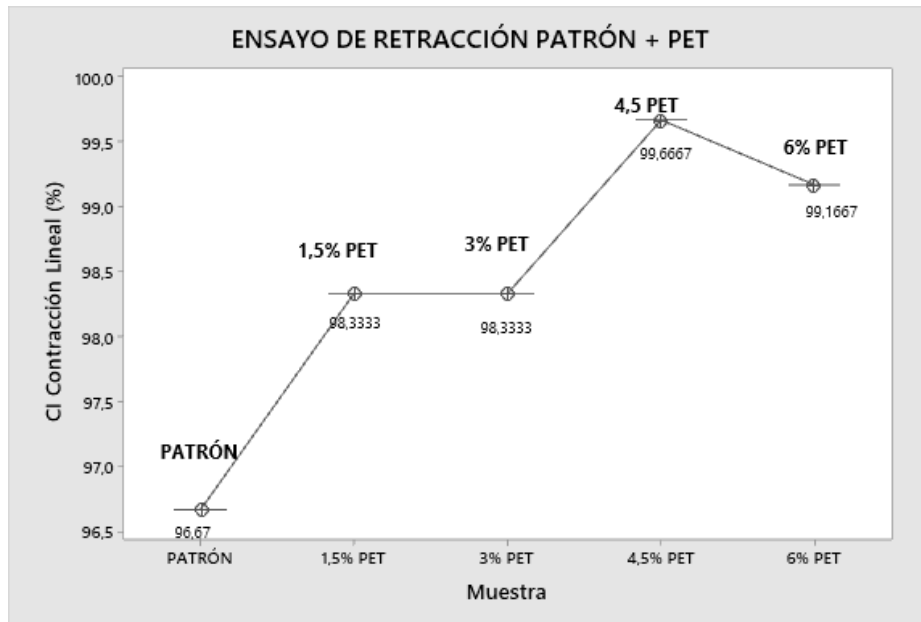
<b>TIPO</b>	<b>BTC (PATRON)</b>	<b>0,1% HILO</b>	<b>0,2% HILO</b>	<b>0,3% HILO</b>	<b>0,4% HILO</b>
Q1	1,28	2,64	4,5	3,75	0,12
Mediana	1,87	4,5	5	9	0,25
Q3	1,95	5	5,62	9	0,32
Rango Intercuartil	0,67	2,35	1,12	5,25	0,20
Bigotes	01,28; 1,95	2,64; 5	4,5; 5,62	4,75; 9	0,12; 0,32
N	3	3	3	3	3

**Fuente:** Autores, 2022

## **6.6. ENSAYO DE CONTRACCION LINEAL**

En este ensayo de retracción se emplea la norma técnica NZS 4298: Materiales y mano de obra para de tierra (1998), nueva zelada) la cual permite evaluar la retracción por secado de los especímenes generando datos para el análisis de la mejoría en cuanto a las propiedades físicas, mecánicas y su eficacia para la fabricación de BTC. El ensayo evidencia que la muestra PATRÓN en su promedio obtuvo una contracción lineal de 96.67% la cual es superada en todos los especímenes de BTC + PET en especial el de 4.5% PET con un 103% de mejor rendimiento. (ver grafica 11; tabla 11)

**Gráfica 11. Contracción Natural BTC + PET.**



Fuente: Autores, 2022

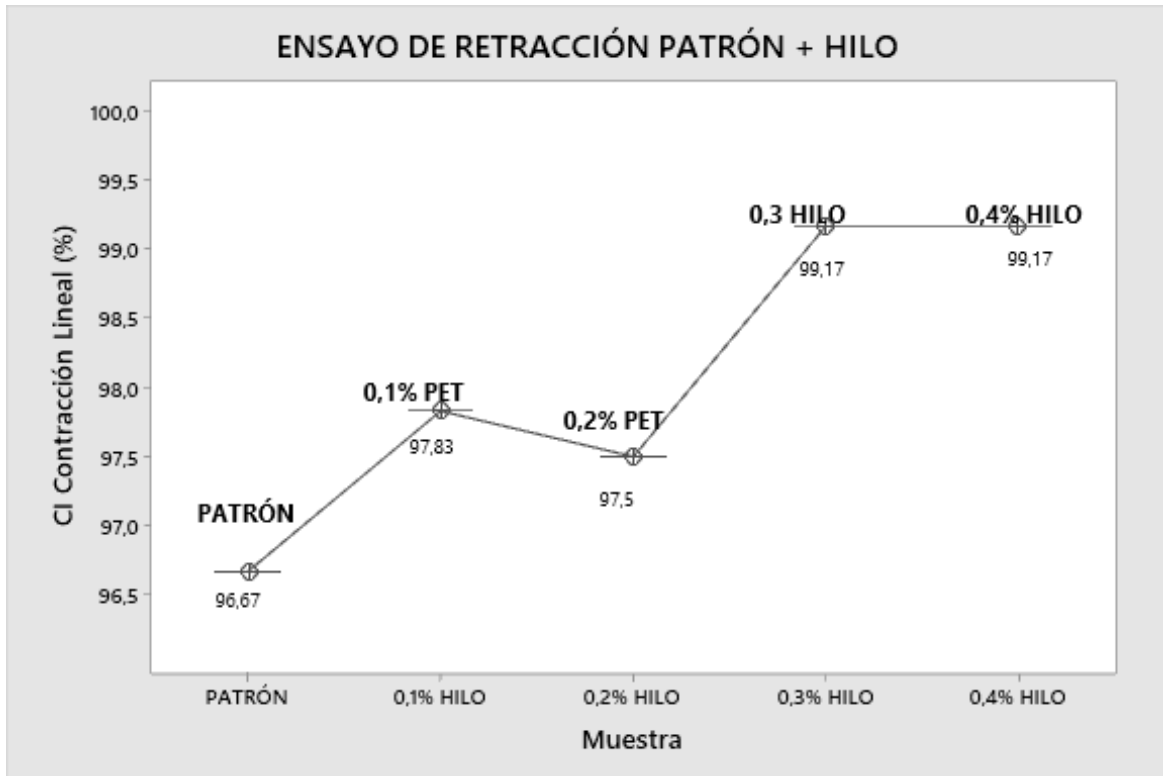
**Tabla 11. Estadística Contracción Natural BTC + PET.**

RETRACCIÓN NATURAL BTC PET	
MUESTRA	Ci (Contracción lineal en %)
PATRON (Natural)	96,67
PET 1.5%	98,33
PET 3 %	98,33
PET 4.5%	99,67
PET 6%	99,17

Fuente: Autores, 2022

En cuanto a la retracción de BTC + HILO evidencia una mejoría general en la contracción lineal respecto al PATRÓN la cual es de 96.67% siendo superada por la muestra del 0.4% HILO con un valor de 99.17%. (ver grafica 12; tabla 12).

**Gráfica 12. Contracción Natural BTC + HILO.**



Fuente: Autores, 2022

**Tabla 12. Contracción Natural BTC + HILO.**

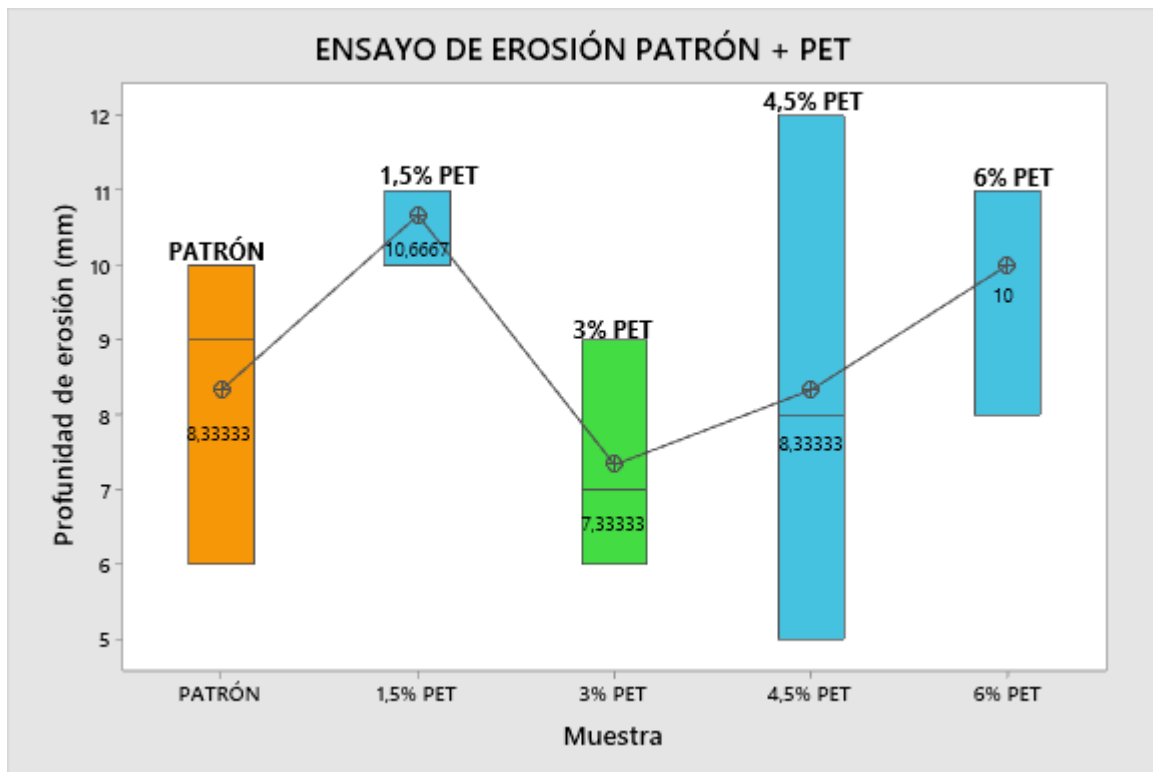
<b>RETRACCIÓN NATURAL BTC HILO</b>	
<b>MUESTRA</b>	<b>Ci (Contracción lineal en %)</b>
PATRON (Natural)	96,67
HILO 0,1%	97,83
HILO 0,2%	97,50
HILO 0,3%	99,17
HILO 0,4%	99,17

**Fuente:** Autores, 2022

### **6.7. ENSAYO DE EROSIÓN**

Empleando como referencia para el ensayo la norma técnica UNE 41410: Bloques de Tierra Comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo (2008), España. Demostrando la capacidad de resistencia a la erosión provocada por aguas lluvias o temporales con vientos al ser sometidos a estas condiciones. Se obtuvieron pocas mejoras en cuanto al agregar el aditivo PET (polietileno de tereftalato) ya que todas las muestras se encuentran en el mismo nivel de resistencia a erosión húmeda (nivel 3, se recomienda proteger de lluvias directas), también se evidencia un cambio crítico en el BTC + 1.5% PET, ya que llega a un nivel de resistencia a erosión húmeda (nivel 4, revestir o proteger de lluvias directas), el porcentaje de mejor rendimiento es de 3% PET con una profundidad de 7.33mm con una representación del 112% mejorando al BTC patrón de referencia. (ver grafica 13, tabla 13)

**Gráfica 13. Ensayo de Erosión BTC + PET.**



Fuente: Autores, 2022

**Tabla 13. Ensayo de Erosión BTC + PET.**

Nivel de resistencia a erosión según el método Geelong			
MUESTRA	Profundidad de erosión D (mm)	Nivel de Resistencia a erosión humedad	Observación
PROM PATRÓN	8,33	3	Se recomienda proteger de lluvias directas
PROM 1,5% PET	10,67	4	Revestir o proteger de lluvias directas
PROM 3% PET	7,33	3	Se recomienda proteger de lluvias directas
PROM 4,5% PET	8,33	3	Se recomienda proteger de lluvias directas
PROM 6% PET	10,00	3	Se recomienda proteger de lluvias directas

Fuente: Autores, 2022

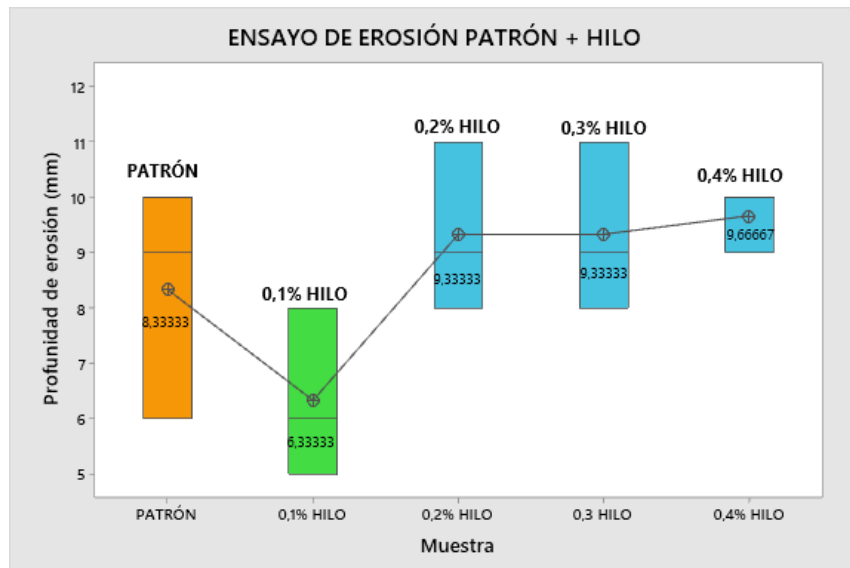
El metodo de evaluacion basado en la profundidad obtenido de cada ensayo que se empleo es metodo de geelong dando un nivel de resistencia a erosion humeda (tabla 14)

**Tabla 14 Test de evaluacion de erosion húmeda**

Profundidad de erosión D (mm)			Nivel de resistencia a erosión húmeda	
Método Geelong	Método Swimborn	Pulverizado de agua a presión		
-	-	0 < D < 20	1	Apto para uso en exteriores sin protección
D < 5	D < 10	20 < D < 50	2	Apto para uso en exteriores
5 < D < 10	10 < D < 20	50 < D < 90	3	Se recomienda proteger de lluvias directas
10 < D < 15	20 < D < 30	90 < D < 120	4	Revestir o proteger de lluvias directas
D > 15	D > 30	D > 120	5	No apto

Se identificó un mejor desempeño en el ensayo de erosión en los BTC+ 0.1 % HILO (6.33 mm) con una representación del 124% respecto al BTC, pero su nivel de resistencia a erosión húmeda fue nivel 3, se recomienda proteger de lluvias directas. (ver grafica 14; tabla 15)

**Gráfica 14. Ensayo de Erosión BTC + HILO.**



Fuente: Autores, 2022

**Tabla 15. Ensayo de Erosión BTC + HILO.**

<b>Nivel de resistencia a erosión según el método Geelong</b>			
<b>MUESTRA</b>	<b>Profundidad de erosión D (mm)</b>	<b>Nivel de Resistencia a erosión humedad</b>	<b>Observación</b>
PROM PATRÓN	8,33	3	Se recomienda proteger de lluvias directas
PROM 0,1% HILO	6,33	3	Se recomienda proteger de lluvias directas
PROM 0,2% HILO	9,33	3	Se recomienda proteger de lluvias directas
PROM 0,3% HILO	9,33	3	Se recomienda proteger de lluvias directas
PROM 0,4% HILO	9,67	3	Se recomienda proteger de lluvias directas

**Fuente:** Autores, 2022

## 6.8. EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

Se identificó una importancia del impacto ambiental moderado según la evaluación de las actividades empleadas para la elaboración de los bloques de tierra comprimidos según el método de evaluación ambiental EPM.

**Tabla 14. Evaluación del impacto ambiental**

ASPI	Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental	Importancia del impacto ambiental
Máquina de prensado para BTC + PET, HILO	Producción de ruido	Contaminación Atmosférica	Negativo (Moderado)
Bloque de BTC + PET, HILO	Generación de material particulado.	Contaminación Atmosférica	Negativo (Moderado)
Uso de hornos y ventiladores para el secado de los BTC + PET, HILO	Gasto energético y consumos de combustibles fósiles.	Agotamiento recursos naturales	Negativo
Mezcla de recurso hídrico para mezcla en BTC + PET, HILO	Consumo de agua	Agotamiento recurso hídrico	Irrelevante (Negativo)
Residuos generados por la producción de BTC + PET, HILO	Generación de residuos sólidos. Uso del suelo	Cambio en las propiedades fisicoquímicas del suelo	Negativo (Moderado)

**Fuente:** Autores, 2022

**Tabla 15. Matriz de evaluación del impacto ambiental según metodología EPM**











IMPACTO AMBIENTAL	CLASE	PRESENCIA	DURACIÓN	EVOLUCIÓN	MAGNITUD	Ca (CALIFICACIÓN AMBIENTAL)	IMPORTANCIA AMBIENTAL
Contaminación Atmosferica	(-1, N)	0.3	0.1	0.8	0.2	0.426	Irrelevantes
Contaminación Atmosferica	(-1, N)	0.3	0.1	0.8	0.2	0.426	Irrelevantes
Agotamiento recursos naturales	(-1, N)	0.3	0.1	0.8	0.4	0.762	Irrelevantes
Agotamiento recurso hidrico	(-1, N)	0.1	0.1	0.8	0.4	0.254	Irrelevantes

Fuente: Autores, 2022

## 6.9. EFECTOS SINERGICOS

En este módulo de evaluación se facilita y permite un comparativa visual entre la implementación de dos clases de aditivos en este caso PET (polietileno de tereftalato) y HILO fibras textiles evidenciando en porcentaje sus mejoras, siendo todo comparado al BTC patrón, la mayoría de sus aportes fueron de manera positiva identificados con el color azul y los negativos con el color rojo. (ver tabla 17)

**Tabla 17. EFECTOS SINERGICOS**

EFECTOS SINERGICOS					
BTC / ADITIVO	COMPRESIÓN	FLEXIÓN	ABRASIÓN	CONTRACCIÓN	EROSIÓN
PET					
PORCENTAJE	1,5%	4,5%	1,5%	4,5%	3,0%
MEJORA	73,28%	42,44%	133,33%	99,67%	112 %
HILO					
PORCENTAJE	0,2%	0,2%	0,3%	0,3%	0,1%
MEJORA	158,72%	649,22%	480%	99,17%	124%

## 7. DISCUSIÓN

Los bloques y sus adiciones que fueron obtenidos durante el desarrollo de la investigación, presentaron un comportamiento a la compresión positiva, es por esto que este material es óptimo para el soporte de carga por unidad de área y por tanto su uso es permitido para construcciones con este tipo de material, por otra parte su elaboración contribuyó al análisis de alternativas poco convencionales para el cuidado del medio ambiente, esto con materiales que ya cumplieron su ciclo de vida útil en el campo industrial y su uso (reciclado) contribuyó de manera positiva a la reducción de los impactos ambientales, uso de recursos naturales para elaboración materias primas y calentamiento global, donde estos tres aspectos afectan a la población mundial en la actualidad, los resultados obtenidos son muy similares al trabajo (Piñeros-Moreno & Herrera-Muriel, 2018) donde describe una gran resistencia admisible con porcentajes inferiores al 30%; con esto se puede confirmar la factibilidad de la fabricación de ladrillos con aditivos (PET) y reducción de los costos para su producción en comparación con los ladrillos convencionales.

En toda construcción relacionada con el material de tierra, se deben atender las exigencias que garanticen su seguridad estructural, durabilidad y protección al agua. Los procedimientos de control son iguales a los utilizados para construcciones convencionales, esto permite evidenciar que con el uso de materiales reciclables se obtuvo una mayor durabilidad de este material debido a que su proceso de desintegración es más lento por su composición, con esto también se aportó una protección adicional contra la acción del agua, que en estos casos es la más perjudicial como se evidencia en el artículo de revista de (Omar & León, 2017) que concluyó que el uso de aditivos PET y demás residuos plásticos aportan un valor de mayor resistencia en construcciones convencionales para sectores rurales.

De acuerdo con la NTC 5324 se observó que los bloques ensayados a esfuerzos de compresión no alcanzaron las resistencias mínimas exigidas a la compresión seca, siendo menores a 10 MPa para BSC 20. Es necesario tener en cuenta que los bloques fueron fabricados con suelos limosos y arcillosos los cuales no son recomendables para construir por su contenido de arcilla y arena fina y su capacidad para absorber agua. Esta última representa un gran problema para la construcción ya que simboliza una gran cantidad de incrementos de volumen desigual en distintas zonas del elemento que al contraerse generan asentamientos que pueden dañar los elementos y estructuras construidos con base a este tipo de suelo. Así también se puede evidenciar que dichos resultados difieren En el estudio (Raúl & Berlingieri, 2017) donde se concluyó que los bloques de tierra comprimidos cumplen levemente con la normativa vigente en dicho país para bloques no portantes. Según la metodología de estudio de impacto ambiental EPM se evidencia una importancia del impacto ambiental poco significativa en la producción y fabricación de bloques de tierra comprimidos empleando los materiales tereftalato de polietileno y fibras textiles según los criterios de evaluación como clase, presencia, duración, evolución y magnitud cuyos resultados obtuvieron una calificación ambiental baja la cual constata lo antes mencionado en el estudio (Mori et al., 2018) donde se concluyó que la implementación de los eco ladrillos creo una cultura de reciclaje que a su vez apporto a una mejoría en el entorno donde se implementó dicho estudio teniendo en cuenta que la zona donde se ejecutó el proyecto es una zona altamente pobre y contaminada por todo tipo de residuos y materiales contaminantes producidos por el hombre.

## 8. CONCLUSIONES

- El diseño de mezcla óptima para la elaboración de un bloque de tierra comprimido (BTC) que clasifica dentro de Norma Técnica Colombiana (NTC) y por encima de los valores del BTC PATRON, son las del BTC + 0.2% de HILO según los valores obtenidos en los ensayos de compresión, flexión, abrasión, contracción lineal y erosión a los que fueron sometidos los especímenes además representa una importancia ambiental irrelevante en su fabricación de los BTC + ADITIVO basada en el método EPM con un aporte positivo en el aprovechamiento de los residuos textiles.
- A partir de los resultados del ensayo de compresión, se concluye que la mezcla entre BTC + PET no es óptima en ninguno de sus porcentajes sometidos a cargas axiales, debido a que ningún porcentaje ensayado supero los esfuerzos de la muestra patrón.
- Por otro lado, se puede afirmar que todas las mezclas de BTC + HILO superaron al patrón de carga en al menos el 8% en la combinación con concentración mal alta de Hilo. Por esta razón mezcla más optima a compresión es la mezcla de BTC + 0,1% Hilo ya que supera en un 90% las cargas soportadas por la mezcla patrón.
- Basados en los resultados obtenidos en los ensayos a flexión de BTC +Hilo y BTC + PET se concluye que todas las mezclas superaron las cargas máximas respecto al módulo de rotura que soporta el BTC mezcla patrón, el mejor desempeño se envileció BTC + 0.2% HILO con una resistencia de 5.843kn en su módulo de rotura superando en un 158.72% el BTC mezcla patrón.

- Por otra parte, el mejor desempeño se dio en el espécimen de BTC + 0.3 HILO con un coeficiente de abrasión ( $C_a = 9$ ) superando la muestra BTC patrón en un 480%, estos especímenes pueden ser empleados en muros exteriores vistos.
- Se evidencia poco aporte a las propiedades físicas en cuanto al ensayo de contracción lineal por parte los aditivos implementados, el que mas resalto del ensayo es el de BTC + 4.5% PET con ( $C_i: 99.67\%$ ) aumentando su contracción lineal en un 103%.
- En cuanto al ensayo de erosión su aporte no fue tan positivo, ya la mayoría de los especímenes evaluados mediante el método de geelong los clasifica en un nivel 3 donde se recomienda proteger de lluvias directas, el mejor desempeño se evidencia en BTC + 0.1% en correlación al BTC patrón se evidencia un aumento del 124% .
- Luego de observar el análisis y evaluación del estudio ambiental se evidencia que los bloques de tierra comprimida con aditivos PET e Hilo poseen una calificación ambiental ( $C_a$ ) menor al 2.5 lo que concluye que su importancia ambiental es poco significativa por ende es viable su elaboración e implementación en el sector de la construcción.
- En resumen, se afirma que las mezclas aquí expuestas tienen grandes aportes que se pueden evidenciar en cuanto a la mejoría de sus propiedades físicas y mecánicas, por consiguiente, si se necesita emplear un BTC que este expuesto a cargas de compresión y flexión específicamente se sugiere utilizar una mezcla de BTC + 0,2% Hilo.
- En relación con la evaluación del impacto ambiental se considera que los aspectos ambientales presentados en el proyecto tienen una importancia ambiental negativa

moderada en la mayoría de acciones del proyecto susceptibles de producir impactos (ASPI) con una Calificación ambiental (Ca) menor o igual a 2.5 que equivale a una importancia ambiental poco significativa o irrelevante por lo cual la fabricación de los bloques de tierra comprimido diseñados en este proyecto cuenta con una afectación baja ambientalmente comparada con los bloques de concreto utilizados convencionalmente que emiten cantidades de metros cúbicos de residuos de construcción y demolición que contaminan y dañan las fuentes hídricas, los bosques y en general todo lo relacionado con fauna y flora de nuestro país.

## 9. REFERENCIA

- Beltran Maribel, & Antonio Marcilla. (2012). *Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades*.  
[https://books.google.co.ve/books?id=jxilUUn4\\_QAC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false](https://books.google.co.ve/books?id=jxilUUn4_QAC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false)
- Bertrand Pahaut, Cecilia Brizuela Barros, Federico Videla, & Guadalupe Cuitiño. (2020). *Protocolo de ensayos sobre elementos constructivos para la construcción con tierra*  
**PROTOCOLO DE ENSAYOS SOBRE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS PARA LA CONSTRUCCIÓN CON TIERRA.**
- Carcedo Fernández, M. (2012). *Resistencia a compresión de bloques de tierra comprimida estabilizada con materiales de sílice de diferente tamaño de partícula*.
- Cristian, P. R., Quintero Blandón, F., David, J., & Rico, M. (2016). **PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE.**
- De, Z., Provincia, M., & Huamanga, D. E. (2017). Evaluación del esfuerzo admisible del adobe estabilizado con fibras de PET triturado en la zona de Mollepata provincia de Huamanga departamento de Ayacucho - 2016. *Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga*. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3152>
- Espinoza Carvajal, M. J. (2015). *Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar*.  
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23026>
- EVELYN R ECHEVERRÍA G. (2017). **LADRILLOS DE CONCRETO CON PLÁSTICO PET RECICLADO.**
- Flores, V., Rojas, J., Torres, R., Vallejos, R., Flores, P., & Flores, M. (2014). Mezclas de cemento y agregados de plástico para la construcción de viviendas ecológicas. *Ciencias Tecnológicas y Agrarias T-I: Handbook, 2014, ISBN 978-4509-765-15-8, Págs. 101-110, 101–110*.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4883701&info=resumen&idioma=ENG>
- José, A. G., & Arteaga, Z. (2015). Diseño y desarrollo experimental de materiales de

- construcción utilizando plástico reciclado. *Dirección de Investigación y Proyección Social*, 2, 1–47. <http://www.redicces.org.sv:80/jspui/handle/10972/2442>
- Juan José Claria, & Paula vetorelo. (2010). *Refuerzo de Arenas Mediante la Adición de Fibras Sintéticas*.  
[https://www.researchgate.net/publication/273763156\\_Refuerzo\\_de\\_Arenas\\_Mediante\\_la\\_Adicion\\_de\\_Fibras\\_Sinteticas](https://www.researchgate.net/publication/273763156_Refuerzo_de_Arenas_Mediante_la_Adicion_de_Fibras_Sinteticas)
  - Karen T Arteaga M, Óscar H Medina, & Óscar J Gutiérrez J. (2011). *Bloque de tierra comprimida como material constructivo*.  
<https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/1421/1416>
  - María N Rojas V, & Esperanza A Bolaños. (2015). *Eco-ladrillos con base en residuos de construcción*. <http://www2.iingen.unam.mx/es-mx/Publicaciones/GacetaElectronica/Mayo2015/Paginas/Eco-ladrillosconbaseenresiduosdeconstruccion.aspx>
  - Maure, J. L., Candanedo, M., Madrid, J., Bolobosky, M., & Marín, N. (2018). Fabricación de ladrillos a base de polímeros PET y virutas metálicas. *Revista de Iniciación Científica*, 4, 33–38. <https://doi.org/10.33412/REV-RIC.V4.0.1816>
  - **METODOLOGÍAS PARA LA IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES**. (2013).
  - Mori, F., Raúl, J., Cruz, J., André, P., Parraga, M., Gabriel, D. W., Luque, S., Cesar, J., Caldas, H., & Fernando, A. (2018). Prototipo de eco ladrillo para la construcción de viviendas ecológicas en zonas de escasos recursos económicos, villa María del Triunfo, 2018. *Repositorio Institucional - UCV*.  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/31137>
  - Omar, R., & León, H. A. (2017). *LADRILLOS CON ADICION DE PET. Una solución amigable para núcleos rurales del municipio del Socorro*.
  - Pacheco, V., Esteban, P., Ing, M., Vidal, A., & Augusto, S. (2020). Mejoramiento en el diseño de un pavimento rígido incorporando fibras de plástico PET reciclado, 2020. *Repositorio Institucional - UCV*.

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/60674>

- Paguay Córdova, E. A. (2019). *La adición de botellas plásticas PET en la elaboración de bloques alivianados para viviendas unifamiliares y su efecto en la variación de temperatura y acondicionamiento acústico en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua*. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/30024>
- Paytan Dueñas, N., & Pérez Salazar, Z. M. (2018). “USO DE LA LANA DE OVINO EN LADRILLOS DE TIERRA ESTABILIZADAS, PARA MUROS DE ALBAÑILERÍA EN EL DISTRITO - PROVINCIA DE HUANCVELICA - 2018.” *Repositorio Institucional - UNH*. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2186>
- Piñeros-Moreno, M. E., & Herrera-Muriel, R. D. de J. (2018). *Proyecto de factibilidad económica para la fabricación de bloques con agregados de plástico reciclado (PET), aplicados en la construcción de vivienda*. <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/22382>
- Potes, L. R., & Meza Estrada, C. E. (2018). *LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE FRENTE A LA MITIGACION DEL CAMBIO CLIMATICO Modelo articulador entre el ordenamiento físico y la gestión pública. Área Metropolitana de Barranquilla View Project*. <https://doi.org/10.17981/moducuc.21.1.2018.01>
- Raúl, A.: & Berlingieri, R. (2017). *Caracterización de bloques de suelo cemento como mampuesto*. <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/5485>
- Reutilización De Plástico, ", & De, Y. B. (2016). Reutilización de plástico pet, papel y bagazo de caña de azúcar, como materia prima en la elaboración de concreto ecológico para la construcción de viviendas de bajo costo. *Universidad Nacional de Trujillo*. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/3158>
- Sandoval Saucedo, J. L., & Guzmán Hasegawa, R. H. (2019). Propuesta de elaboración y diseño de bloques de concreto simple y pet reciclado para muros de mampostería en la ciudad de Piura. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/53474>