

ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-MECÁNICAS E IMPACTO  
AMBIENTAL DE LOS BTC ESTABILIZADOS CON BOTELLAS PET Y CAUCHO  
TRITURADO

ANDRÉS CAMILO RODRÍGUEZ MORENO

SERGIO ANDRES LLANOS JEREZ

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA

ESCUELA DE INGENIERIAS

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

BUCARAMANGA

2022

ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-MECÁNICAS E IMPACTO  
AMBIENTAL DE LOS BTC ESTABILIZADOS CON BOTELLAS PET Y CAUCHO  
TRITURADO

ANDRÉS CAMILO RODRÍGUEZ MORENO

SERGIO ANDRES LLANOS JEREZ

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO CIVIL

DIRECTOR:

CARLOS FERNANDO RIVERA PEÑA

INGENIERO CIVIL

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA

ESCUELA DE INGENIERIAS

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

BUCARAMANGA

2022

Nota de Aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Bucaramanga, 21 de junio de 2022

## Agradecimiento

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Contenido

1. Antecedentes .....	12
2. Justificación.....	15
3. Marco Teórico.....	16
3.1. La Tierra.....	16
3.2. Propiedades de la Tierra .....	17
3.3. Plástico .....	18
3.4. Impacto de las Botellas PET .....	18
3.5. Impacto Actual de los Neumáticos .....	19
3.6. Caucho .....	19
3.7. Resistencia a la compresión.....	20
3.8. Resistencia a la flexión por tracción .....	20
3.9. Erosión.....	20
3.10. Abrasión.....	20
3.11. Retracción.....	21
4. Objetivos .....	22
4.1. Objetivo General .....	22
4.2. Objetivos Específicos .....	22
5. Metodología.....	23
5.1. Diseño optimo .....	23
5.1.1. Caracterización del Material .....	26
5.1.2. Ensayos de Inspección Visual.....	27
5.1.3. Resultados: .....	39
5.1.4. Extracción del Material .....	40
5.1.5. Humedad Óptima .....	40
5.1.6. Procesamiento de los Aditivos .....	43
5.1.7. Elaboración de Bloques no Estabilizados.....	44
5.1.8. Diseño y Elaboración de los Bloques de Tierra Comprimido Estabilizados. ....	45
5.1.9. Proceso del Curado.....	47
5.1.10. Pruebas de Resistencia .....	48

5.2. Análisis comparativo entre BTC y la NSR 10 .....	55
5.3. Impacto ambiental.....	55
6. Resultados .....	57
6.1. Diseño optimo .....	57
6.1.1. Densidad de los Bloques:.....	57
6.1.2. Resistencia a la Compresión Seca:.....	59
6.1.3. Resistencia a Tracción por Flexión – Modulo de Rotura.....	60
6.1.4. Resistencia a la abrasión .....	62
6.1.5. Resistencia a la erosión .....	63
6.1.6. Contracción Lineal.....	65
6.1.7. Efectos Sinérgicos y Antagónicos: .....	66
6.2. Cuadro comparativo para la aceptabilidad de los BTC según la NSR10: .....	67
6.3. Impacto Ambiental .....	70
6.3.1. Tabla CO2.....	70
6.3.2. Aplicación del Método EPM.....	70
7. Análisis de Resultados .....	73
7.1. Diseño optimo .....	73
7.2. NSR10-BTC .....	74
7.3. Impacto ambiental.....	75
8. Conclusiones. ....	76
8.1. Diseño optimo .....	76
8.2. NSR10-BTC .....	76
8.3. Impacto Ambiental .....	76
9. Recomendaciones .....	78
10. Referencias .....	79

## Lista de Figuras

<b>Figura 1.</b> Metodología Fase Inicial.....	23
<b>Figura 2.</b> Metodología fase tratamiento de aditivo .....	24
<b>Figura 3.</b> Metodología realización dosificación y análisis ambiental.....	25
<b>Figura 4.</b> Lugar de Extracción .....	26
<b>Figura 5.</b> Test del Tamaño de Partículas.....	27
<b>Figura 6.</b> Bola de Suelo Antes y Después del Corte.....	29
<b>Figura 7.</b> Bola de 3cm de Diámetro .....	30
<b>Figura 8.</b> Medición Exacta para la Prueba.....	30
<b>Figura 9.</b> Fisura Presentada en la Prueba .....	31
<b>Figura 10.</b> Capas de las Partículas.....	32
<b>Figura 11.</b> Diferencia de Capas y Fórmulas .....	33
<b>Figura 12.</b> Diagrama de Clasificación de Suelos .....	34
<b>Figura 13.</b> Formación de la Bola.....	35
<b>Figura 14.</b> Test de la Exudación.....	37
<b>Figura 15.</b> Planilla de Registro y Evaluación de los Test de Caracterización.....	39
<b>Figura 16.</b> Tamizado del Material .....	40
<b>Figura 17.</b> Muestra Sometida al Secado Natural .....	41
<b>Figura 18.</b> Ensayo Humedad Óptima .....	41
<b>Figura 19.</b> Ladrillos con Diferente Humedad.....	42
<b>Figura 20.</b> Tamizado del Caucho.....	43
<b>Figura 21.</b> Máquina de Elaboración de Bloques .....	44
<b>Figura 22.</b> Caucho para la Preparación de la Mezcla .....	45
<b>Figura 23.</b> Bloque del 2% .....	46
<b>Figura 24.</b> Lugar de Curado .....	47
<b>Figura 25.</b> Gráfico Temperatura del Mes .....	48
<b>Figura 26.</b> Ensayo de Compresión .....	49
<b>Figura 27.</b> Ensayo de Resistencia a la Tracción por Flexión .....	50
<b>Figura 28.</b> Ensayo de Erosión .....	52
<b>Figura 29.</b> Ensayo de Abrasión .....	53
<b>Figura 30.</b> Ensayo de Contracción Lineal .....	54
<b>Figura 31.</b> Convenciones de favorabilidad.....	57
<b>Figura 32.</b> Gráfico de Densidades vs. Dosificación Aditivo 1 .....	58
<b>Figura 33.</b> Gráfico de Densidades vs. Dosificación Aditivo 2 .....	58
<b>Figura 34.</b> Gráfica del Esfuerzo a Resistencia a Compresión del Aditivo 1.....	59
<b>Figura 35.</b> Gráfica del Esfuerzo a Resistencia a Compresión del Aditivo 2.....	60
<b>Figura 36.</b> Gráfico Módulo de Rotura Aditivo 1 .....	61
<b>Figura 37.</b> Gráfico Módulo de Rotura Aditivo 2 .....	61
<b>Figura 38.</b> Gráfico Coeficiente de Abrasión Aditivo 1.....	62
<b>Figura 39.</b> Gráfico Coeficiente de Abrasión Aditivo 2.....	63
<b>Figura 40.</b> Gráfico Erosión del Aditivo 1 .....	64
<b>Figura 41.</b> Gráfico Erosión del Aditivo 2 .....	64
<b>Figura 42.</b> Gráfico Retracción, Aditivo 1 .....	65

<b>Figura 43.</b> Gráfico Retracción, Aditivo 2 .....	66
<b>Figura 44.</b> Efectos Sinérgicos y Antagónicos entre los BTC y los BTC Estabilizados ...	67
<b>Figura 45.</b> Flujograma aceptabilidad NSR10 / BTC .....	67
<b>Figura 46.</b> Grado de desempeño mínimo requerido .....	68
<b>Figura 47.</b> Zonas de Amenaza sísmica aplicable a edificaciones .....	69

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Datos Generales .....	26
<b>Tabla 2.</b> Test Táctil - Visual .....	27
<b>Tabla 3.</b> Test del Color .....	28
<b>Tabla 4.</b> Caracterización por Brillo .....	29
<b>Tabla 5.</b> Fisuras Después de la Caída .....	31
<b>Tabla 6.</b> Porcentaje de Partículas .....	33
<b>Tabla 7.</b> Clasificación Táctil .....	35
<b>Tabla 8.</b> Clasificación Test de la Cinta .....	36
<b>Tabla 9.</b> Evaluación de la Prueba de la Exudación .....	37
<b>Tabla 10.</b> Evaluación de Resistencia Seca .....	38
<b>Tabla 11.</b> Tabla para Determinar la Resistencia de Erosión .....	51
<b>Tabla 12.</b> Criterios de Evaluación EPM.....	56
<b>Tabla 13.</b> Principales agentes de contaminación de CO2.....	70
<b>Tabla 14.</b> Caucho Triturado de Neumáticos.....	71
<b>Tabla 15.</b> Plástico PET .....	72

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

<b>TITULO:</b>	Análisis de las características físico-mecánicas e impacto ambiental de los BTC estabilizados con botellas PET y caucho triturado
<b>AUTOR(ES):</b>	Andrés Camilo Rodríguez Moreno Sergio Andres Llanos Jerez
<b>PROGRAMA:</b>	Facultad de Ingeniería Civil
<b>DIRECTOR(A):</b>	Carlos Fernando Rivera Peña

### RESUMEN

En el presente proyecto se analizó el comportamiento de las propiedades físico-mecánicas de bloques de tierra comprimida no estabilizados y estabilizados con aditivos como el caucho previamente triturado y el plástico PET en tiras. Para este, se llevó a cabo la fabricación de bloques de 30x15x12 cm de elaboración mecánica con una máquina compactadora para los cuales se emplearon 108 ladrillos de diferentes aditivos y dosificaciones. Posteriormente se realizó el proceso de curado de 28 días, para después realizar ensayos de laboratorio como la resistencia a compresión seca, resistencia a tracción por flexión, resistencia a la abrasión, resistencia a la erosión y resistencia a contracción. En estos ensayos de laboratorio se obtuvieron resultados positivos en las propiedades de compresión, flexión y retracción, para posteriores investigaciones que busquen alternativas ecológicas a la problemática ambiental de la actualidad.

### PALABRAS CLAVE:

Contaminación, plástico PET, caucho, impacto ambiental, BTC, curado.

Vº Bº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

## GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

**TITLE:** Analysis of the physical-mechanical characteristics and environmental impact of the CEB stabilized with PET bottles and crumb rubber

**AUTHOR(S):** Andrés Camilo Rodríguez Moreno  
Sergio Andrés Llanos Jerez

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR:** Carlos Fernando Rivera Peña

### ABSTRACT

In this project, the behavior of the physical-mechanical properties of compressed earth blocks not stabilized and stabilized with additives like rubber previously crushed and PET plastic strips was analyzed. For this purpose, blocks of 30x15x12 cm were mechanically manufactured with a compacting machine which fabricated 108 blocks of different additives and quantities. Subsequently, a 28-day curing process was carried out, followed by laboratory tests such as dry compression stress, bending effort, abrasion resistance, erosion resistance and shrinkage resistance. In these laboratory tests, positive results were obtained in compression, bending effort and shrinkage properties, in order to continue the searching of ecological alternatives to current environmental problems

### KEYWORDS:

Pollution, PET plastic, rubber, environmental impact, BTC, curing.

Vº Bº DIRECTOR OF GRADUATE WORK

## 1. Antecedentes

En la actualidad las condiciones climáticas que presenta el planeta han sido a consecuencia de las actividades que realiza el hombre, por ende, se han realizado investigaciones acerca de construcciones más amigables con el medio ambiente.

En este artículo de Venny et al. (2010), hace una comparación de los Bloques de Tierra Comprimido Estabilizado o en inglés CSEB, en donde expone que este método constructivo tiene múltiples ventajas, dentro de las cuales dio a conocer que la materia prima de este método (tierra) es de utilización local, lo que reduce considerablemente los costos de transporte y favorece la producción in situ. Otra ventaja que muestra el autor en su artículo está basada en la calidad de vida, ya que, al ser de producción rápida hace que la vivienda sea de buena calidad y disponible para más familias, Contribuyendo de igual forma a la economía local. De la misma forma, los ladrillos de tierra comprimida aportan propiedades importantes para un buen desarrollo humano, como lo son el aislamiento acústico, propiedades térmicas, que van de la mano con su aporte ambiental, el cual reduce la huella de carbono, generando un nivel muy bajo de residuos que son fáciles de reciclar.

Ahora bien, el autor explica el enorme contraste que hay entre los CSEB y los ladrillos convencionales con referente a su consumo energético de producción y las emisiones de carbono, en el cual el ladrillo de CSEB genera  $22 \text{ kg } \frac{\text{CO}_2}{\text{Tonelada}}$ , a diferencia de los ladrillos convencionales que generan  $143 \text{ kg } \frac{\text{CO}_2}{\text{Tonelada}}$ , también los compara con los ladrillos de arcilla que generan  $200 \text{ kg } \frac{\text{CO}_2}{\text{Tonelada}}$  y los bloques de hormigón que generan  $280 - 375 \text{ kg } \frac{\text{CO}_2}{\text{Tonelada}}$  en su producción. Así mismo, en el artículo se explica que la tierra utilizada generalmente es del subsuelo, debido a que la capa superior del suelo generalmente se utiliza para las labores del campo.

Entre algunas de las investigaciones se pueden encontrar la hecha por Peña (1997), en la que describe los procedimientos de producción y construcción de técnicas constructivas en tierra como lo son el adobe, tapial, ladrillos extruidos y bloques de tierra comprimidos (BTC). De este último mencionado, el autor presenta las principales ventajas en su proceso de elaboración, la cual es su ahorro energético, ya que, los bloques de tierra consumen de 35% a 60% menos energía a comparación de los ladrillos cosidos.

En relación con la presión ejercida sobre el material durante su producción, el autor llega a la conclusión que una presión de  $20 \text{ kg/cm}^2$  es de calidad aceptable y los bloques compactados a una presión de  $40 \text{ kg/cm}^2$  son totalmente satisfactorios, estos resultados son gracias a las diferentes investigaciones que ha realizado Peña.

En el estudio "*Ladrillo Ecológico Como Material Sostenible para la Construcción*" de Laguna (2011), el autor propuso la realización de un nuevo material constructivo denominado *eco ladrillo* el cual fue inspirado en el tradicional adobe y el cual tiene como objetivo la sustitución del ladrillo convencional cocido. Como aditivo resistente utiliza las cenizas de cascara de arroz y como aditivo estructurante las cascarillas también de arroz,

expresando que con la utilización de estos dos últimos aditivos supone la reducción de un gran impacto medio ambiental.

Por otro lado, el artículo de investigación presentado por Martínez (2012), expone los avances de una investigación tendiente a la definición y caracterización de una metodología que permita la evaluación de la viabilidad ambiental de materiales constructivos a partir del estudio de caso de los bloques de tierra comprimido.

Así mismo, en el artículo "*Fabricación de Bloques de Tierra Comprimida con Adición de Residuos de Construcción y Demolición como Reemplazo del Agregado Pétreo Convencional*" realizado por Vásquez et al. (2015), plantea una alternativa para hacer un progreso con respecto al ciclo continuo del Reciclaje-Fabricación- Uso-Reciclaje, a partir de la utilización de residuos como materia prima de otros procesos. Propone la fabricación de bloques de tierra comprimido a partir de la utilización de la tierra resultante del proceso de excavación y la adición de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) como agregado, sustituyendo la totalidad del agregado tradicionalmente utilizado.

De igual manera, Gómez (2019), realizó una investigación con el objetivo de estudiar el desempeño mecánico y dinámico de una mezcla asfáltica semidensa MSC-25 modificada con grano de caucho, después de los ensayos realizados Gómez demuestra que la mezcla que fue modificada con el material presenta una mejoría en la susceptibilidad al agua. De igual forma, una mejor adherencia a los agregados con el asfalto indicando que la mezcla modificada es menos rígida a comparación de la mezcla tradicional.

En la tesis realizada por López (2018), se plantea una reutilización del plástico PET, con el fin de concientizar a las personas sobre el manejo integral de los residuos sólidos mediante talleres de educación ambiental. Así mismo, propone la elaboración de ecoladrillos para la construcción bancas ecológicas comunitarias a partir de botellas PET y otros residuos plásticos.

Por otro lado, también tenemos a Villamil (2012), quien compara la descomposición de los materiales orgánicos e inorgánicos. Donde expresa que los orgánicos duran entre 3 a 4 semanas en descomponerse, un tiempo relativamente corto en comparación con los plásticos que pueden tardar aproximadamente 500 años. Villamil en su tesis propone evaluar mediante diversos ensayos el comportamiento mecánico de los muros con tierra y botellas PET comparándolos con los construidos de manera tradicional (ladrillo y mortero). Realizado lo anterior se puede determinar su viabilidad.

Debido al rápido incremento en el número de vehículos en Indonesia Wulandari y Tjandra (2017), notaron un aumento del desperdicio de caucho de neumática en lo que afecta directamente al medio ambiente. Como es bien sabido, el uso del polvo de neumático como aditivo en la mezcla del concreto asfáltico funciona como un método constructivo sostenible.

En este ensayo, Wulandari y Tjandra iniciaron su descripción con contenido de caucho triturado de 1 % y 2 % por peso de la mezcla asfáltica, teniendo como referencia un rango de tamaño para la partícula de caucho triturado de entre 4.76 mm (#40) a 2.38 mm (#80). El comparativo para esta investigación fue realizado entre la mezcla no modificada en el concreto asfáltico considerado el valor de estabilidad Marshall y las propiedades

volumétricas.

Los resultados obtenidos en esta investigación demuestran que el polvo de neumático o caucho triturado es recomendado como aditivo en mezcla asfáltica, de la misma forma los resultados presentados por los autores arrojan una mejora en la resistencia y en la calidad de la mezcla. Las propiedades de deformación aumentaron con desperdicio de caucho, así mismo, el caucho triturado es reemplazado por el agregado fino en proporción 3,2%. Cabe destacar, que la investigación estudia, propiedades deformación, módulo de elasticidad, modulo dinámico de elasticidad, carga cíclica y tensión.

El cambio de agregado fino a caucho triturado desmejora las propiedades mecánicas del concreto. Disminuye la fuerza a compresión, la mayor reducción de la fuerza a compresión en la mezcla se dio al usar el 20 % del caucho triturado en la mezcla. Esta desmejora se puede contra restar desde el ámbito económico ya que es más económico reemplazar algún agregado fino por caucho triturado proveniente de neumático usados debido a que este es utilizado como combustible, pastas bituminosas, techos y cobertura de pisos. De igual forma se puede reutilizar el caucho triturado en adición de mezclas hormigones estructurales, reemplazando el agregado fino por una cantidad igual de caucho triturado.

Por ende, se utiliza una proporción del 10%, 30% y 70 % para los valoren aproximados de (5) gramos de caucho, 454 gramos y 757 gramos. Como resultado se considera que a mayor cantidad de caucho triturado menor insistencia directa, pero que con una cantidad mínima se logra ver mejoría.

## 2. Justificación

Nuestro planeta está cambiando, por ende, el ser humano debe cambiar con él. Una de las principales razones de este cambio es el crecimiento industrial en el mundo. Si bien es cierto la industria de la construcción no aporta directamente a este cambio climático. Pero, los materiales usados en este desarrollo civil son los principales agentes del aumento de emisión de gas de efecto invernadero. Ya que en la producción de dichos materiales las fábricas e industrias generan una alta emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano, óxido nitroso, gases fluorados. Como es el caso de la construcción en ladrillo cocido en donde sus fábricas ladrilleras generan gran contaminación al medio ambiente, al igual que la producción de materiales pétreos en donde encontramos, mármol, granito, yeso, etc. La fabricación de estos materiales genera un gran costo de producción y distribución lo en cierta manera apoya la economía de un pequeño sector del país, pero al ser tan altos los costos de producción y distribución, hacen que estos mismos materiales sean de alto costo, lo que no es apto para la compra de un ciudadano promedio en Colombia. A raíz de estos altos costos, es necesario implementar nuevas formas de construcción al alcance de todos y con menos contaminación.

Por esta razón, se ha decidido abordar un tema para abrir las puertas a una nueva forma de construcción en el país. La cual poco a poco se ha venido impulsando con el pasar de los años. En donde se toma un objeto de la vida cotidiana como lo es el neumático y se convierte en caucho triturado, de la misma forma, un material de uso diario y fundamental para la industria alimentaria como lo es el plástico PET.

Esta forma de reutilización de materiales reciclables no solo se hace con motivo medio ambiental, de la mano a esto, se busca demostrar que existen materiales de construcción con propiedades físico mecánicas aceptables para la construcción, cambiando la ideología de solo utilizar el cemento como principal agente constructivo.

### **3. Marco Teórico**

El siguiente proyecto de investigación, tiene como finalidad evaluar el comportamiento físico - mecánico de los bloques de tierra comprimida, teniendo en cuenta los distintos aditivos inorgánicos, los cuales se estudiará su viabilidad para el mejoramiento de dichas propiedades y su aporte para la sostenibilidad ambiental en la construcción.

La forma en que está creciendo la infraestructura en el país motiva día a día a buscar nuevas alternativas de construcción sin generar una afectación mayor a la presente, por este motivo se han implementado métodos constructivos para la utilización en obras. Por ende, debemos buscar una forma la cual las construcciones se vean agradables a simple vista, pero su ingeniería sea completamente segura.

La tierra es el material de construcción utilizado desde los principios de la humanidad, al mismo tiempo eran usados materiales como el lodo, el barro, las piedras, la madera, etc.; estos representaban los sistemas constructivos antiguos tradicionales, debido a que la tierra es un material inmensamente abundante en el planeta. Dicho lo anterior, la construcción de bloques de tierra se presenta como un método de producción fácil, eficaz y amigable con el medio ambiente; Esta toma en los últimos años un papel muy importante, ya que, el impacto ambiental que han generado las construcciones en la actualidad ha afectado la atmósfera, y esto ocasiona que se busquen alternativas para usar de manera adecuada los recursos que da el planeta, cabe destacar, que mediante los métodos constructivos con tierra se disminuye considerablemente este impacto.

Los bloques de tierra comprimida o BTC, son bloques fabricados a base de una mezcla de tierra, arena, y arcilla, con un porcentaje agregado de cal que funciona como estabilizante. La producción de los bloques se hace normalmente mediante una prensa mecánica la cual moldea y comprime los bloques. Con lo anterior, se genera un sustituto a los ladrillos convencionales que se usan para la construcción de muros de carga.

#### **3.1. La Tierra**

Desde civilizaciones antiguas la tierra fue y ha sido manejada como material de construcción, siendo utilizada por los pueblos indígenas de América hace miles de años tal como lo expone Castro et al. (2012).

Por otro lado, Castaño (2018) expresa que un ejemplo de esto es Colombia, más específicamente el pueblo de Barichara, Santander en donde se puede apreciar la arquitectura colonial, la cual ha sido elaborada a partir de construcciones en tierra, este material conforma más del 90% de las viviendas de Barichara. De igual forma, García (2015) expone el caso de la ciudad de Shibam, en el centro-este de Yemen con más de 1.700 años de antigüedad donde podemos encontrar edificaciones de hasta 30 metros de altura mediante técnicas constructivas en tierra, siendo uno de los lugares más

representativos del mundo en este tema.

Dicho lo anterior, se puede llegar a evidenciar la importancia que ha tenido a lo largo de la historia la tierra como material constructivo, adaptándola a las diferentes necesidades, obteniéndose desde viviendas y refugios hasta templos. Aunque su mejor momento fue en el pasado, durante los últimos siglos han perdido importancia debido a múltiples factores, como las nuevas necesidades y tecnologías hasta la industrialización de los procesos constructivos de la actualidad, esto ha permitido el desarrollo de las ciudades de hoy en día. A pesar de que ha sido la tendencia en el último siglo, Hernández (2016) manifiesta que desde los años 30 han existido investigadores interesados en estos métodos constructivos, pero no ha sido hasta las últimas décadas que se le ha dado una importancia.

Esto se debe a que han ido adecuándola a procesos industrializados y normativas actuales de construcción. Lo anterior comenzó presuntamente por el cambio climático, ocasionando que las personas empiecen a ser más conscientes y les genere interés los temas sostenibles y ecológicos.

Esta concientización humana es muy importante, como afirma Casto (2020), las construcciones de infraestructura, además de ser convenientes para el desarrollo de la sociedad, también son responsables de efectos ambientales negativos, siendo una problemática que abarca a la sociedad. Expuesto lo anterior, se debe promover alternativas más sostenibles para la preservación del medio ambiente sin dejar a un lado el desarrollo socioeconómico.

Por otro lado, se encuentra que Sandoval (2020), manifiesta que la tierra como material constructivo de principio aparenta tener las características adecuadas para ser parte de una arquitectura sostenible, pues resalta su bajocosto y la facilidad con la que se obtiene el material. Dicho autor expresa que la construcción en tierra es atractivo dadas las cualidades que esta presenta, donde sobresalen sus excelentes propiedades térmicas, acústicas y mecánicas, como también la facilidad del proceso constructivo y el bajo consumo energético contaminante de su fabricación.

### **3.2. Propiedades de la Tierra**

Es importante resaltar, que las ventajas de usar la tierra como material de construcción son interesantes, empero, se debe tener en cuenta algunos inconvenientes que se presentan al trabajar con este componente, ya que, su tiempo de fabricación puede resultar lento debido a que se requieren varios días para la utilización de los bloques. Un ejemplo de ello es el proyecto por realizar, dado que, se tendrá que esperar 28 días para continuar con la realización de los ensayos y así obtener los mejores resultados posibles.

Como, por ejemplo, el autor Sandoval (2020) expone en su investigación que métodos constructivos, a base de bloques de tierra comprimidos logran adaptarse de forma satisfactoria a lugares donde su condición climática es calurosa. Igualmente, Cid (2012) presenta en su tesis doctoral las buenas características que tiene la tierra como aislante

térmico, pues realiza comparaciones con otros materiales de uso frecuente en la industria, destacando que los ladrillos de tierra comprimida poseen una conductividad térmica de  $0,34 \frac{W}{m^{\circ}C}$  y el ladrillo macizo común de  $0,85 \frac{W}{m^{\circ}C}$ . Por otro lado, Echeverry (2017) expresa que los muros con métodos constructivos en tierra presentan unas buenas condiciones de aislamiento acústico y térmico, debido a las características del material y los espesores que componen los BTC.

### 3.3. Plástico

En el último siglo, el plástico se ha hecho presente en la vida del hombre ocasionando una gran importancia tanto en el ámbito social como en el económico. Sin embargo, ha generado en el medio ambiente un efecto adverso al del ser humano, pues la presencia de este material ha traído consigo un efecto negativo, a raíz de esta situación el hombre se ha visto en la necesidad de buscar diferentes formas de mitigar estos impactos, algunas alternativas que se han venido evidenciando al pasar del tiempo han sido el reciclaje y la reutilización como una herramienta positiva en el ecosistema.

Álvarez et al. (2003), citado por Gómez (2016) exponen que los plásticos son aquellos materiales que están elaborados por resinas, proteínas y otras sustancias, estos son sencillos de moldear y su forma queda de manera permanente a partir de una cierta compresión y temperatura.

### 3.4. Impacto de las Botellas PET

El autor Gómez (2016), expresa que los impactos producidos por el plástico de las botellas PET, se enfocan en 3 aspectos en relación con el medio ambiente, los cuales son el suelo, aire y agua. En este último se puede evidenciar que los afectados son los animales acuáticos, el aire su impacto negativo se observa después de que este material es quemado y en el suelo por la cantidad de plástico que se acumula.

Las características de este componente son el bajo costo de producción, su permeabilidad y manejabilidad. Sin embargo, esto ha generado que las botellas de plástico tengan un uso desmesurado, dejando como consecuencia una dificultad en su disposición post uso, comenzando por el hecho de que su degradación es lenta, es decir, que después de su uso no se descomponen fácilmente en comparación de otros productos. Debido a su poca degradación, en la actualidad el plástico de las botellas PET es el causante de la gran cantidad de contaminantes que se acumulan diariamente en el planeta.

“El plástico-botellas PET cuando se desechan, permanecen en el ambiente cerca de 100 años o dependiendo del ambiente pueden durar mucho más” (Hill & Kolb, 1999 citado por Gómez, 2016, p. 20). Dicho lo anteriormente la cantidad de plástico y botellas PET que

se producen se va acumulando constantemente, ya que, su descomposición no ha comenzado cuando ya se encuentra otra cantidad en producción. El mayor problema de esta situación radica en el proceso final, pues no hay un control sobre este, lo que ocasiona un mayor impacto ambiental. Un ejemplo de ellos son las zonas acuíferas llenas de este material que afectan la vida de los animales y del ecosistema.

Por esto y otras razones es importante contribuir en la creación de alternativas de reciclaje, con el fin de evitar la mala disposición de los residuos plásticos y disminuir el impacto causado por este.

### **3.5. Impacto Actual de los Neumáticos**

Según manifestó la revista de la Organización de Consumidores y Usuarios titulada "*Como se Fabrica un Neumático*", (Organización de Consumidores y Usuarios [OCU], 2013). En la actualidad, el crecimiento poblacional junto con el crecimiento urbano ha generado un aumento en el uso del transporte terrestre, urbano y marítimo. Para estos dos primeros, uno de sus principales agentes contaminantes es el factor principal del funcionamiento de este mismo medio de transportes, sus neumáticos. Dichos neumáticos son elaborados de caucho natural y del petróleo.

A raíz de esto, el ciclo del medio ambiente que se conoce actualmente está presentando cambios drásticos debido a la deforestación y explotación en los bosques la cual pone en riesgo la biodiversidad de manera exponencial. Como es el caso de la fabricante de neumáticos Michellin en donde arrasó bosques en la reserva más grande de Nigeria para usar la tierra en las plantaciones de caucho.

### **3.6. Caucho**

Según Luna (2013), el caucho es un polímero de muchas unidades encadenadas de un hidrocarburoelástico, este elemento tiene dos formas de elaboración, por un lado, surge de varias plantas y por otro lado es posible crear sintéticamente. Este último es el material utilizado para la elaboración industrial de llantas. El autor muestra que el país con mayor producción de caucho del mundo es Malasia con 1.291.500 toneladas métricas por año, seguido de este encontramos a Tailandia e Indonesia con cantidades muy parecidas de producción por año. Lo expuesto por el Luna deja en evidencia la gran cantidad de caucho que produce un solo país en el año.

Debido a las características peculiares del caucho y una de ellas su flexibilidad han generado que sea un material con una gran cantidad de aplicaciones en la industria, resaltando principalmente su uso en el área de los neumáticos, el autor entonces explica que este material posee una degradación demasiado lenta, estimando que se encuentra cerca de los 500 años, lo que ocasiona un gran impacto ambiental debido a su continua producción y acumulación después de su vida útil. Así mismo, expone que el caucho a

pesar de su múltiple uso en la industria, las llantas después de su vida útil son la mayor fuente de contaminación, con un 64% en comparación con los otros usos posibles que se le dan a la producción de este material. Lo anterior, demuestra la gran importancia que se le debe dar al reciclaje del caucho. El autor también muestra los posibles procesos de reciclaje que se le puede hacer al material, donde en este proyecto se le dará importancia a uno de ellos, específicamente, a la trituración mecánica, la cual tiene como fin la estabilización de bloques de tierra comprimido.

### **3.7. Resistencia a la compresión**

Juárez (2016) manifiesta que la resistencia a la compresión se determina mediante ensayos normativos. Para realizar este proceso en Colombia, se debe tener en cuenta lo estipulado en la norma NTC 673; en donde explica que este ensayo se basa en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros a una velocidad establecida hasta que ocurra la falla. Posteriormente, su resistencia se calcula dividiendo la carga máxima soportada por el elemento sobre el área de la sección transversal.

### **3.8. Resistencia a la flexión por tracción**

Icontec (2004) expone que la norma técnica colombiana 2871 establece los parámetros para determinar la resistencia a la flexión, teniendo en cuenta las normas ASTM C 42, ASTM C 31 o ASTM C 192. Seguidamente explica que la resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga de concreto no reforzado.

### **3.9. Erosión**

Cabrera & González (2021) expresa que los diversos ensayos de erosión permiten conocer la resistencia a la intemperie de los BTC, resaltando los métodos de erosión con los que se pretende simular el deterioro a los cuales serán sometidos los BTC, un ejemplo de ello serían las lluvias en diferente intensidad.

### **3.10. Abrasión**

Aranda & García (2016) expone el concepto de abrasión, relacionado este como el tiempo de vida útil de un material o durabilidad, así mismo, se determina mediante parámetros establecidos en la norma técnica colombiana 5324.

### **3.11. Retracción**

Se entiende por retracción a la contracción de la tierra debido a la evaporación del agua, por lo cual suelen aparecer fisuras. Galíndez (2007) afirma que la retracción en gran parte es causada por la arcilla, donde establece que los suelos que tienen una mayor retracción son los que poseen un gran índice de plasticidad, un límite líquido plástico elevado y los suelos que tienen entre 20% y 40% de arcilla.

## **4. Objetivos**

### **4.1. Objetivo General**

Identificar las características físico-mecánicas de los BTC estabilizado, implementando el uso de botellas PET y caucho triturado como estabilizante y evaluar el impacto ambiental generado con el uso de estos aditivos.

### **4.2. Objetivos Específicos**

- Determinar el diseño óptimo de la mezcla para la elaboración de los BTC estabilizados mediante los diferentes ensayos de laboratorio que están regidos por las diferentes normas.
- Analizar según las características físico-mecánicas el nivel de aceptabilidad de los BTC estabilizados como material apto para la construcción de vivienda según la NSR10, realizando unacomparación con los ladrillos tradicionales utilizando los datos obtenidos en los ensayos.
- Evaluar el impacto medio ambiental generado con la reutilización del caucho de llanta y el plástico PET en la elaboración de BTC estabilizados a través de una matriz ambiental.

## 5. Metodología

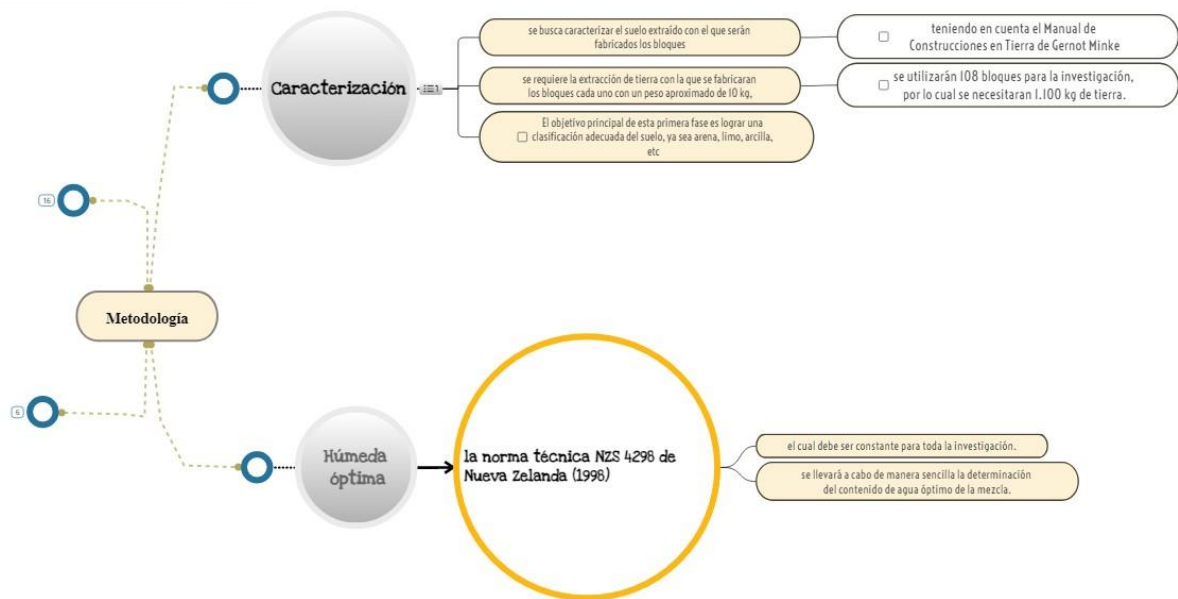
### 5.1. Diseño optimo

La base principal de este proyecto se basa en una implementación de las botellas PET o plástico tereftalato de polietileno y el caucho triturado, como principal agente en la búsqueda de estudiar su comportamiento junto con una dosificación adecuada en la elaboración de los Bloques de Tierra Comprimida.

Con el fin de realizar la investigación correspondiente, en primera instancia se busca caracterizar el suelo extraído con el que serán fabricados los bloques, teniendo en cuenta el Manual de Construcciones en Tierra de Gernot Minke, debido a que Colombia no cuenta con una normativa vigente. Para esta parte del proyecto se requiere la extracción de tierra a la cual se le pretende realizar todos los ensayos de caracterización de un suelo para su respectiva clasificación.

Luego de la respectiva caracterización del material que se va a utilizar para la elaboración de los BTC, se continua con la identificación de su humedad optima el cual debe ser constante para toda la investigación. El objetivo principal de esta primera fase es lograr una clasificación adecuada del suelo, ya sea arena, limo, arcilla, etc.

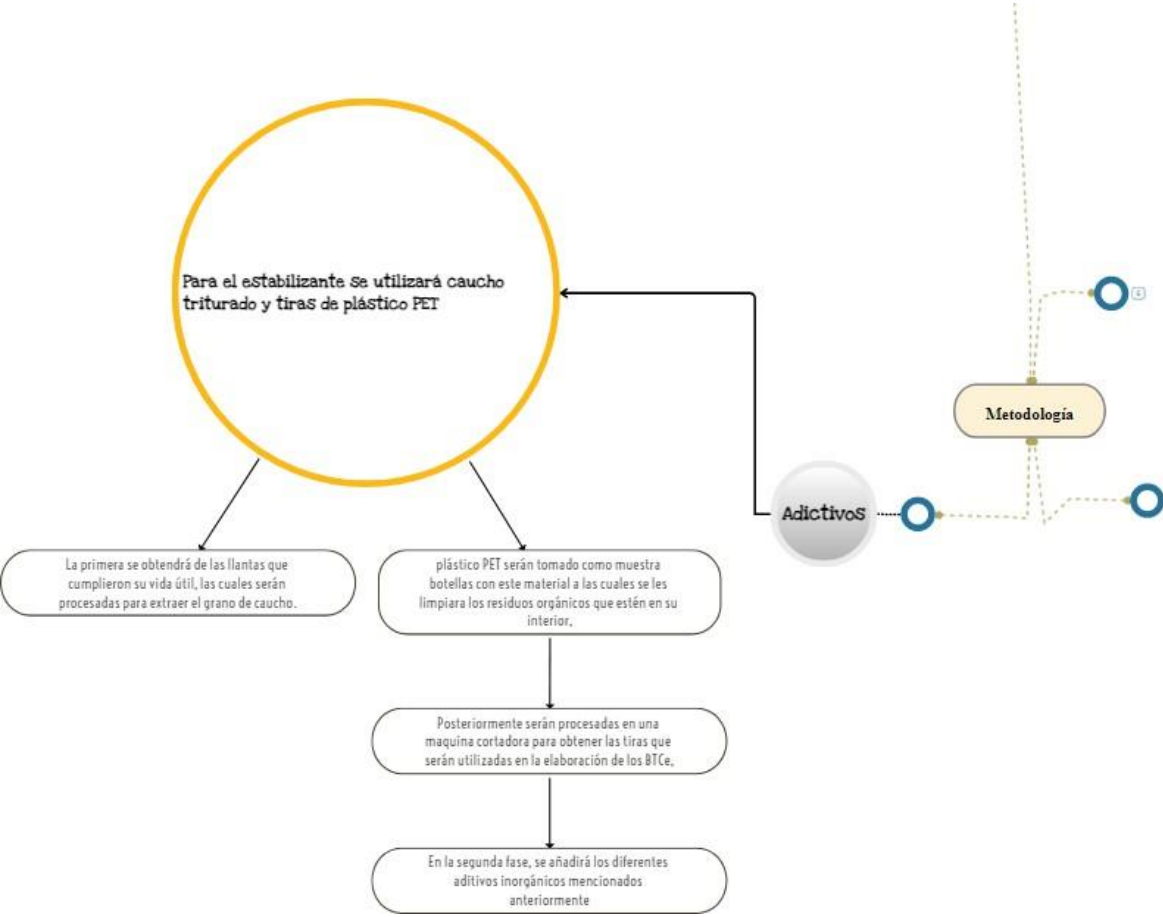
**Figura 1. Metodología Fase Inicial**



**Fuente:** Elaboración propia

Para el estabilizante se utilizará caucho triturado y tiras de plástico PET, la primera conseguida de las llantas que cumplieron su vida útil. En el caso del plástico PET serán tomado como muestra botellas con este material a las cuales se les limpiará los residuos orgánicos que estén en su interior, posteriormente serán procesadas en una maquina cortadora para obtener las tiras que serán utilizadas en la elaboración de los BTC estabilizados, considerando que es necesario estandarizar el tamaño de estas.

**Figura 2. Metodología fase tratamiento de aditivo**



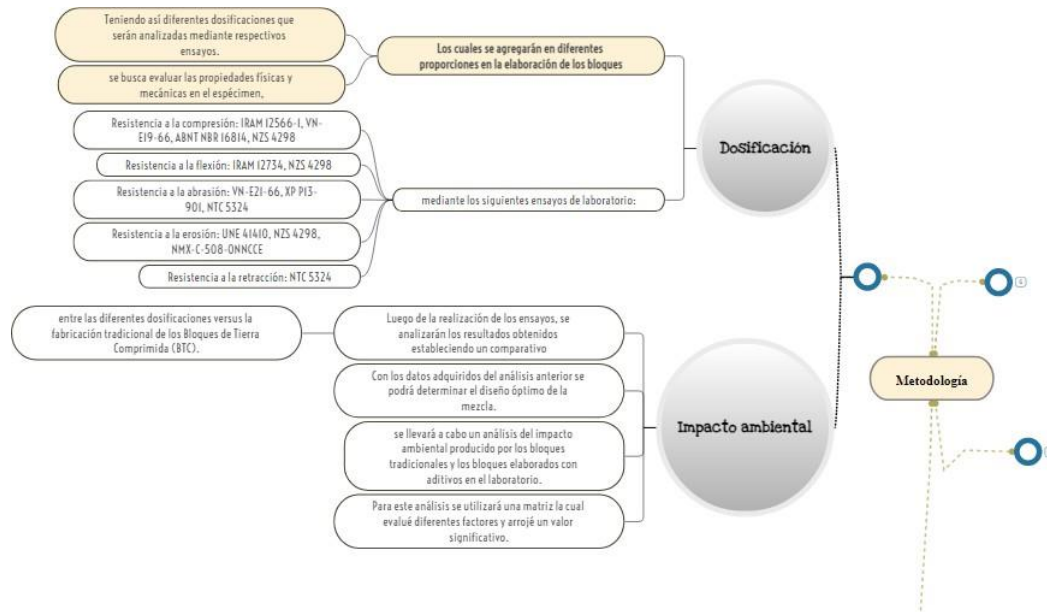
**Fuente:** Elaboración propia

En la segunda fase, se añadirá los diferentes aditivos inorgánicos mencionados anteriormente, los cuales se agregarán en diferentes proporciones en la elaboración de los bloques, teniendo así diferentes dosificaciones que serán analizadas mediante respectivos ensayos, en las cuales se busca evaluar las propiedades físicas y mecánicas en el espécimen, mediante los siguientes ensayos de laboratorio:

- Resistencia a la compresión seca: NTC 5324, 4, 5
- Ensayo de resistencia a la flexión
- Ensayo de resistencia a la abrasión: NTC 5324, 4, 7
- Ensayo de resistencia a la erosión en bloques de tierra comprimida: NTC 5324
- Test de retracción

De la mano de la segunda fase, se llevará a cabo el análisis de los resultados obtenidos estableciendo un comparativo, en donde dicho análisis podrá determinar el diseño óptimo de la mezcla. Una vez elegido el diseño de la mezcla se llevará a cabo un análisis de impacto ambiental producido por los bloques de tierra comprimido tradicionales y los elaborados con aditivos en el laboratorio. Para este análisis se utilizará una matriz la cual evalúe diferentes factores y entregue un valor significativo.

**Figura 3. Metodología realización dosificación y análisis ambiental**



**Fuente:** Elaboración propia

### 5.1.1. Caracterización del Material

En el presente informe se realizó la caracterización de una muestra de tierra con el fin de encontrar la factibilidad para la elaboración de bloques de tierra comprimida, la cual fue extraída de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga (figura 4). Dicha caracterización se realizó de manera mecánica teniendo en cuenta la guía de laboratorio elaborada por el Ingeniero Carlos Rivera Peña. El paso a paso a usar, se basa en el desarrollo de ensayos de tacto y visuales para una clasificación inicial, en donde seguidamente es complementada por las otras pruebas denominadas pruebas de vidrio, del cordón, de la cinta, exudación, entre otros.

**Figura 4.** Lugar de Extracción



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 1.** Datos Generales

<b>Nombre de la muestra</b>	Tierra extraída con fines para elaboración de BTC
<b>Localización</b>	Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga
<b>Grupo</b>	Sergio Andrés Llanos Jerez, Andrés Camilo Rodríguez Moreno
<b>Fecha de colecta</b>	18 de marzo de 2022
<b>Fecha ejecución</b>	18 de marzo de 2022
<b>Observaciones</b>	Se extrajo una muestra de 2000 gramos sin material orgánico

## 5.1.2. Ensayos de Inspección Visual

### 5.1.2.1. Test del Tamaño de las Partículas

Mediante una muestra representativa del material, se tomaron 2000 gramos sin material orgánico el cual fue esparcido en un recipiente plano con dicha muestra seca (figura 5), cuyo objetivo fue separar las partículas de mayor y menor tamaño, teniendo en cuenta que el material que se puede ver a simple vista son las arenas y las gravas, y el restante corresponde a los limos y arcillas. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

**Tabla 2.** Test Táctil - Visual

Test Táctil-Visual	Marque con una X	Clasificación
Limos y Arcillas > Arena y Grava	X	Limosa o Arcillosa
Limos y Arcillas < Arena y Grava		Arenosa

**Figura 5.** Test del Tamaño de Partículas



**Fuente:** Elaboración propia

Según el análisis visual, se evidencia una cantidad mayor de partículas pequeñas, el cual es indicio de limos y arcillas, por ende, la clasificación obtenida es una muestra de tierra limosa o arcilla para este primer test.

#### 5.1.2.2. Test del Color

A partir de una determinación visual se realiza una clasificación entre suelo orgánico e inorgánico según el color de la muestra, como se evidencia en la siguiente tabla:

**Tabla 3.** Test del Color

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

Como se observa en la figura 5, se puede concluir en una inspección visual que el color que prevalece en la mayor parte de la muestra es un color claro y brillante por ende tiene características de suelo inorgánico.

#### 5.1.2.3. Caracterización por Brillo

Para la obtención de esta prueba se escogió una muestra de material fino del suelo y agregándole agua, se amasa una bola del tamaño de una mano, posteriormente se hizo un corte en medio de la bola y se observó la superficie de ambas mitades (figura 6).

**Figura 6.** Bola de Suelo Antes y Después del Corte



**Fuente:** Elaboración propia

Después de realizado el corte se logra ver una superficie con porosidades y con un color menos brillante como el que indicaba la muestra en un principio, debido a esto se obtuvo una clasificación limosa como lo muestra la siguiente tabla:

**Tabla 4.** Caracterización por Brillo

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

#### 5.1.2.4. Test de Caída de Bola

Siguiendo con las pruebas de inspección visual y abarcando un inicio a test de inspección táctil, en esta cuarta prueba, se comienza tomando una porción de tierra seca y humedeciéndola en pequeñas cantidades, se formó una bola de 3 cm (figura 7); la cual se deja caer de una altura aproximada de 1 metro (figura 8).

**Figura 7.** Bola de 3cm de Diámetro



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 8.** Medición Exacta para la Prueba



**Fuente:** Elaboración propia

Los resultados obtenidos son satisfactorios debido a que arrojó un resultado alentador para la factibilidad de la elaboración de los BTC (figura 9), ya que entre menos fisuras significa mayor contenido de arcillas, tal como lo muestra la siguiente tabla:

**Tabla 5.** Fisuras Después de la Caída

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

**Figura 9.** Fisura Presentada en la Prueba



**Fuente:** Elaboración propia

#### 5.1.2.5. Test del Vidrio

La prueba del vidrio hace referencia al principio de la sedimentación de las partículas, el cual es un proceso por el cual podemos mediante la vista diferenciar los tipos de partículas de la muestra de tierra que vamos a analizar, y luego mediante algunos cálculos estimar en que porcentaje está conformada.

Se comienza colocando la muestra de tierra en un cilindro de vidrio o en su defecto transparente, hasta cerca de 1/3 de su altura. A continuación, se rellena las 2/3 partes restantes del cilindro con agua, se procede a agitar la muestra hasta que esta se disperse bien en el agua, luego se deja reposar aproximadamente 1 hora y en seguida volver agitarlo una última vez. Para finalizar el recipiente en reposo se puede captar que la

muestra se divide en distintas capas en las que se diferencian las partículas por las que está conformada (figura 10).

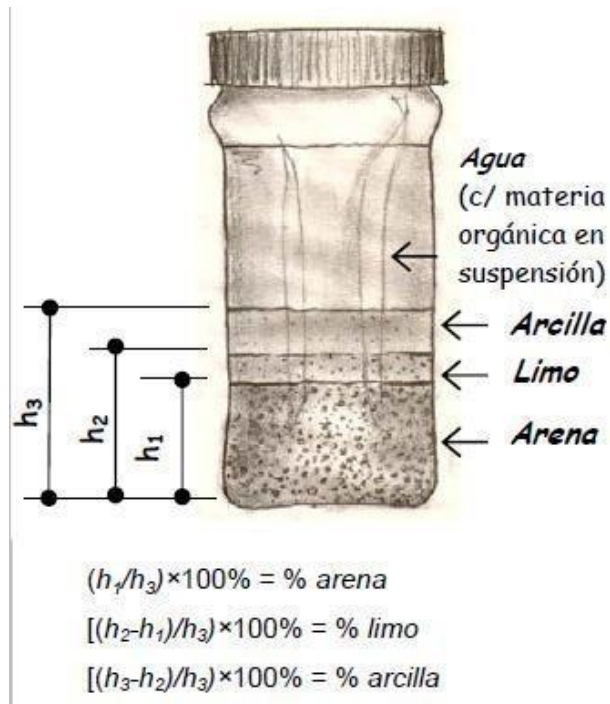
**Figura 10.** Capas de las Partículas



**Fuente:** Elaboración propia

Para la continuación de la prueba se debe medir las alturas en las que está conformada cada capa desde la base del recipiente y así poder mediante las fórmulas mostradas en la figura 11 determinar el porcentaje de la que está compuesta (Tabla 6).

**Figura 11. Diferencia de Capas y Fórmulas**



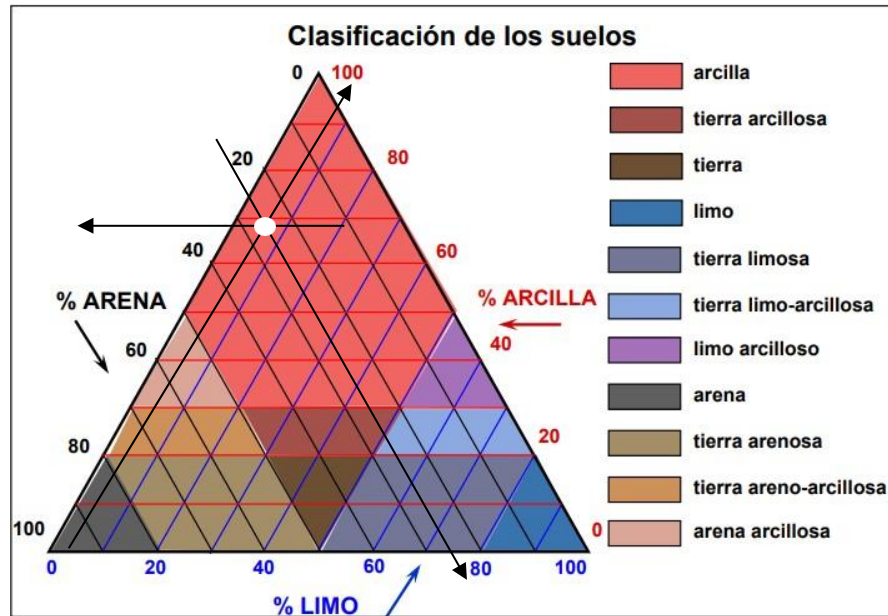
**Fuente:** CRATerre, Ensayo de sedimentación (CRATerre. 1979)

**Tabla 6. Porcentaje de Partículas**

Altura [cm]		Porcentaje	
h1	4	Arena	16,32 %
h2	8	Limo	16,32%
h3	24,5	Arcilla	67,34%

Para finalizar la prueba y poder confirmar la clasificación del tipo de tierra que se obtiene de la muestra, se usa como ayuda las figuras representativas (Figura 12)

**Figura 12.** Diagrama de Clasificación de Suelos



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

#### 5.1.2.6. Test del Cordón.

Esta prueba consiste en evaluar la resistencia de la tierra en un determinado estado de humedad y la relacionada con el tipo más probable de la tierra. Consiste en tomar la porción de tierra seca y adicionar agua hasta que sobre una superficie lisa y plana sea posible formar un cordón que se rompa con 3 mm de diámetro, a continuación, formar una bola con esta tierra y estimar la fuerza necesaria para aplastarla solamente utilizando el índice y el pulgar (Figura 13).

**Figura 13. Formación de la Bola**



**Fuente:** Elaboración propia

Los resultados obtenidos que utilizan el tacto podemos estimar una clasificación tomando comoreferencia (tabla 7).

**Tabla 7. Clasificación Táctil**

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

#### 5.1.2.7. Test de la Cinta.

Esta prueba se realiza con el fin de evaluar la plasticidad de la tierra, consiste en tomar una porción del material utilizando la misma humedad que la prueba del cordón, hacer un cilindro semejando al tamaño de un cigarrillo, posteriormente, formar una cinta de aproximadamente 3 a 6 mm de espesor y estirarlo al mayor largo posible, luego, realizar las observaciones estipuladas en la tabla 8.

**Tabla 8.** Clasificación Test de la Cinta

<b>Marque con una X</b>	<b>Comportamiento de la cinta</b>	<b>Clasificación</b>
X	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 es posible hacer la cinta	Bastante limo o arena y poca arcilla; sin plasticidad

#### 5.1.2.8. Test de la Exudación.

La prueba de la exudación estima la capacidad que tiene la tierra de retener agua, como primer paso se toma una porción del material bastante húmeda, luego se coloca en la palma de la mano, seguido se debe golpear de una mano a la otra haciendo que el agua salga a la superficie de la muestra, hasta que tenga un aspecto liso y brillante, y finalmente clasificar la muestra según la tabla 9.

**Tabla 9.** Evaluación de la Prueba de la Exudación

<b>Tipo de reacción</b>	<b>Número de golpes</b>	<b>Efectos en la muestra</b>	<b>Clasificación</b>
Rápido	5-10	El agua aflora a la superficie de la muestra; la presión de los dedos hace el agua desaparece inmediatamente y una presión más fuerte aplasta la torta	Poca plasticidad. Arena fina inorgánica o limo grueso inorgánico, tierra arenosa o limosa
Lento	20-30	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 lento	Más de 30	No hay cambio notable	Tierra de alta plasticidad. Arcilla

Al momento de realizar la prueba se evidenció que a pesar de la cantidad de golpes que se le daba a la muestra no se apreciaba algún cambio, por ende, se puede clasificar como una tierra de alta plasticidad como lo refleja la tabla 9.

**Figura 14.** Test de la Exudación



**Fuente:** Elaboración propia

### 5.1.2.9. Test de la Resistencia Seca.

Esta prueba identifica el tipo de tierra que es la muestra según su resistencia, moldeando tres pastillas de tierra bien húmedas con aproximadamente 1 cm de espesor y 3 cm de diámetro, posteriormente dejar secar las pastillas por dos días o más, luego clasificarla utilizando los dedos según la tabla 10.

**Tabla 10.** Evaluación de Resistencia Seca

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

Al momento de hacer la prueba, se utilizaron los dedos índice y pulgar como lo indica el test, delo anterior se evidenció que el material tiene una gran resistencia, por más fuerza que se le haga con los dedos no fue posible romperlo.

### 5.1.3. Resultados:

**Figura 15.** Planilla de Registro y Evaluación de los Test de Caracterización

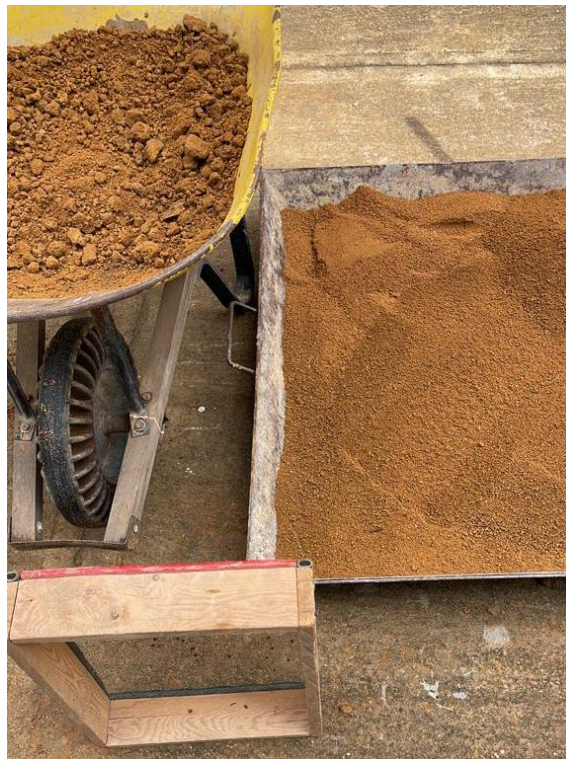
PLANILLA DE REGISTRO Y EVALUACIÓN DE LOS TEST DE CARACTERIZACIÓN		
IDENTIFICACIÓN DE LA TIERRA - TEST DE CAMPO		
Nombre de la muestra	Tierra extraída con fines para elaboración de BTC	
Localización	Universidad Pontificia Bolivariana	
Fecha de colecta de la muestra	18 de Marzo de 2022	
Fecha de ejecución de ensayos	18 de Marzo de 2022	
Observaciones	Se extrajo una muestra de 2000 gramos sin material orgánico	
TEST		
Táctil - Visual	Tamaño de partículas	Limosa o Arcillosa
	Color	Claros y brillantes - Suelo inorgánico
	Brillo	Poco brillo - Limosa
	Tacto / Textura	Textura suave, blanda, frágil.
Identificación de la tierra por inspección táctil - visual	Arcilla	
Caida de la bola	Algunas fisuras	
Vidrio: % de arena, limo y arcillas	16.32% Arena, 16.32% limo y 67.34% Arcilla	
Tipo de técnica constructiva a emplear:		
Cordón	Suave - Demasiada arcilla; tierra de alta plasticidad	
Cinta	Mucha arcilla; tierra de alta plasticidad	
Exudación		
Resistencia Seca		
Identificación de la tierra, Técnica constructiva a emplear según la Tabla 1	Posible usar para la tierra compactada o ladrillo prensado, con aglomerante.	
Identificación de la tierra, Técnica constructiva a emplear según la Tabla 2	Apropiado para BTC y tapia, necesita aglomerante.	
Conclusiones:	Se concluyó que la tierra analizada es una arcilla arenosa apropiada para realización de BTC.	

Fuente: Elaboración propia

#### 5.1.4. Extracción del Material

Después de realizado los ensayos para la caracterización del material, el cual fue obtenido de un lugar de extracción brindado por la universidad, donde se procedió con el traslado de la cantidad del material necesario para la elaboración del proyecto, y se necesitó aproximadamente 1 Tonelada de tierra, se tuvo que tamizar en su totalidad antes de su uso en la preparación de los bloques.

**Figura 16.** Tamizado del Material



**Fuente:** Elaboración propia

#### 5.1.5. Humedad Óptima

Debido a la característica del desarrollo manual del proyecto, la humedad óptima se realizó de manera empírica, donde se utilizó el tacto para la estimación de la humedad de la tierra. Se tomó el peso de una muestra del material para ser sometido a un secado natural, al momento de que la muestra estaba relativamente seca, se le fue agregando poco a poco una cantidad controlada de agua con una probeta para medir la cantidad de agua y a su vez mediante un ensayo de tacto estimar su humedad óptima.

**Figura 17. Muestra Sometida al Secado Natural**



**Fuente:** Elaboración propia

El ensayo realizado consiste en apretar una porción de la muestra con una mano verificando que no escape material entre los dedos, posteriormente lanzarlo a una altura considerable y atraparlo con la misma mano observando que la masa creada por la presión de las manos no se destruya.

**Figura 18. Ensayo Humedad Óptima**



**Fuente:** Elaboración propia

Al momento de determinar la humedad óptima se decidió tomar 3 humedades (8%, 10% y 12%). Estas mismas dieron cumplimiento en el ensayo empírico realizado anteriormente, asimismo se pudieron realizar tres bloques y posteriormente visualizar que humedad sería la más adecuada para el desarrollo de todo el proyecto.

**Figura 19.** Ladrillos con Diferente Humedad



**Fuente:** Elaboración propia

Al cabo de 3 días se decidió por una humedad óptima del 10%, dado que, de manera visual y al tacto el bloque se sentía mejor compactado, cabe recalcar, que a pesar de que el material se dejó secando de manera natural a la intemperie no se llegó a un secado completo, a diferencia de cómo quedaría si se usara un horno industrial.

## 5.1.6. Procesamiento de los Aditivos

### 5.1.6.1. Caucho Molido

Por parte del caucho no se realizó un procesamiento individual, debido a que se optó por comprar 20 kg de este material, siendo el mismo caucho molido que usan para las canchas sintéticas, por ende, lo único que se procedió a realizar antes de hacer uso del material fue pasarlo por un tamiz #10 para filtrar las impurezas que pudiera tener.

**Figura 20.** Tamizado del Caucho



**Fuente:** Elaboración propia

### 5.1.6.2. Plástico en Tiras

El plástico de botellas pet se procesó de manera manual, por un lado, se realizó un lavado a cada una de las botellas utilizadas antes de realizar su procesamiento, lo anterior, para poder tener un material limpio de las impurezas que pudiera tener debido a los líquidos que contenían antes de su reciclaje. Por otro lado, se decidió trabajar el material en tiras de aproximadamente de 1 a 1.5 cm de ancho y 5 a 5.5 cm de largo esto debido a que el

proceso era realizado con tijeras lo cual facilitaba su desarrollo.

#### *5.1.7. Elaboración de Bloques no Estabilizados*

En primera instancia, se comenzó con la fabricación de los bloques sin aditivo teniendo en cuenta la humedad óptima ya establecida anteriormente. Para facilitar el proceso del adicionamiento del agua se optó por estandarizar el peso del balde con el cual se iba medir la cantidad de tierra a utilizar para la mezcla y así calcular la cantidad de agua que se debe agregar. Una vez obtenido el material preparado, se traslada a la máquina compactadora para producir los bloques.

**Figura 21.** *Máquina de Elaboración de Bloques*



**Fuente:** Elaboración propia

Seguidamente de la compactación en la máquina, se retira el bloque de tierra comprimido y se procede a medir el peso de cada uno de los bloques, finalmente son trasladados al lugar en donde se deberá esperar 28 días de curado, los cuales han sido establecidos previamente para luego realizar los ensayos.

### 5.1.8. Diseño y Elaboración de los Bloques de Tierra Comprimido Estabilizados.

Se procedió con la preparación de los bloques de tierra estabilizados con los aditivos ya mencionados, se tendrá en cuenta el mismo proceso estandarizado para establecer la humedad óptima antes de su elaboración y adicionándole material estabilizante, el cual ha sido procesado previamente como se ha explicado.

#### 5.1.8.1. Elaboración de los bloques con caucho

Previo a la elaboración de los bloques con este aditivo, se indagó sobre los porcentajes con los que se iba a trabajar. Dadas las investigaciones realizadas sobre el uso de este material como estabilizante se estableció que se iban a elaborar con 1%, 3%, 5% y 7%; esto gracias a la forma en la que se iba a usar el aditivo, ya que, al ser molido se tenía previsto que estos porcentajes elegidos no iban a afectar de forma negativa a la hora de compactar el bloque.

Posteriormente a lo instaurado con los porcentajes se continuó con el mismo proceso estandarizado, al momento de los cálculos de la humedad óptima se midió la cantidad de material que se iba a necesitar para la preparación de la mezcla a utilizar. Finalmente, igual que con los bloques de tierra sin aditivo se procedió a pesar cada uno de los bloques y trasladarlos al lugar donde se permitiera curar los 28 días a la espera del desarrollo de los ensayos.

**Figura 22.** Caucho para la Preparación de la Mezcla



**Fuente:** Elaboración propia

#### 5.1.8.2. Elaboración de los Bloques con Plástico.

Al igual que el anterior aditivo, se indagó sobre el material a utilizar y su uso en otros proyectos similares, donde el material se procesará de manera distinta, debido a esto en primera instancia se optó por unos porcentajes como 0.5%, 1%, 1.5% y 2% con los cuales se comenzó la elaboración de dichos bloques. Al momento de fabricar los bloques del 0.5% y 1% no presentaron ningún problema. Manteniendo el mismo procedimiento se pesaron cada uno de los bloques y se trasladaron al lugar de curado, más adelante se continuó con los bloques del 1.5% los cuales debido a la forma en como fue procesado el aditivo y la cantidad de este en el bloque comenzaron a presentar inconvenientes en el momento de la compactación, caso continuo con el 2% que ya no era viable la cantidad de plástico utilizada, dado que, al momento de sacar el bloque de la maquina compactadora se podía observar como el plástico al buscar su forma original deformaba el bloque generando grietas hasta el punto de ser imposible su traslado al lugar del curado, siendo así inasequible para el desarrollo adecuado de este.

**Figura 23.** Bloque del 2%



**Fuente:** Elaboración propia

Debido a los inconvenientes presentados anteriormente con el 2% de aditivo se prefirió tomar un camino más conservador, estableciendo un nuevo porcentaje, teniendo finalmente (0.3% 0.5% 1% y 1.5%) con los cuales se llevará a cabo la continuación del proyecto.

#### 5.1.9. Proceso del Curado.

Como ya se mencionó, en la etapa de la elaboración de los bloques, se trasladaron todos estos a un lugar establecido para esperar los 28 días para el curado. El lugar a disposición para este ensayo es un espacio abierto con una cubierta, con el fin de proteger los bloques de alguna afectación directa del medio ambiente, como la lluvia o la luz solar de forma directa.

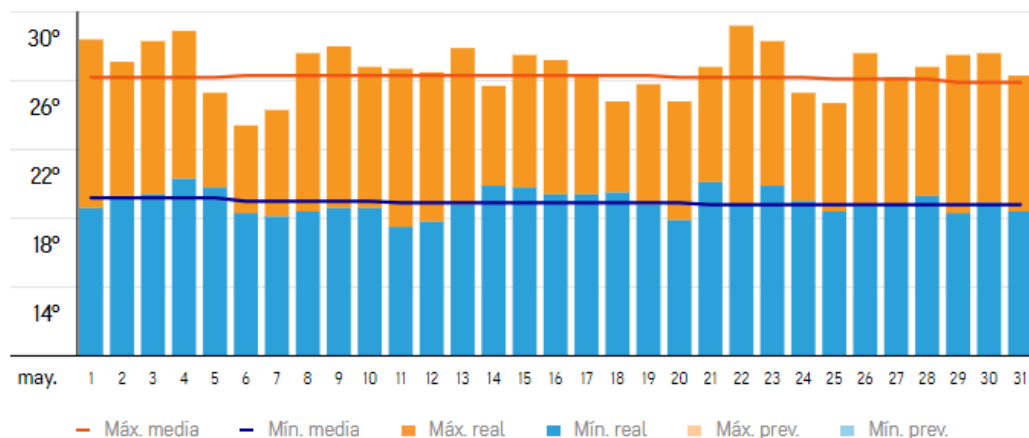
**Figura 24.** Lugar de Curado



**Fuente:** Elaboración propia

En el transcurso del mes en el que fueron fabricados los bloques y almacenados para su curado, se presentaron temperaturas de aproximadamente 25° C y una humedad que fluctuó entre 80% y 89%, también se presentaron precipitaciones a lo largo de varios días por lo cual era de gran importancia tener los bloques bien cubiertos para que no se vieran afectados directamente, ya que, es un factor a la hora del proceso de curado.

**Figura 25.** Gráfico Temperatura del Mes



**Fuente:** Accuweather. Gráfico de temperaturas. (Consultado: 1 de junio de 2022)

Disponible en: <https://www.accuweather.com/es/co/floridablanca/111388/june-weather/111388>

### 5.1.10. Pruebas de Resistencia

Se realizaron los ensayos pertinentes para medir las características físico-mecánicas de los 108 bloques fabricados, se seleccionaron 3 bloques de cada uno de los aditivos estabilizantes utilizados y sus porcentajes como también el bloque de tierra sin aditivo para cada uno de estos ensayos, también se generó un ensayo de retracción para cada una de las dosificaciones, llevando a cabo el mismo procedimiento para todos.

#### 5.1.10.1. Resistencia a la Compresión Seca

Este ensayo se basó en la norma técnica colombiana (NTC 5324) la cual consiste en tomar los 3 bloques ya asignados y generar un corte transversal en cada uno de estos en dos partes iguales; posteriormente sobreponer las mitades generadas de cada de

estos de tal manera que la cara en donde se genera el corte quede en sentidos contrarios. En segunda instancia se procede a una capa de mortero de máximo 10 mm de espesor, cabe recalcar que este mortero fue creado con el mismo material que fue utilizado en la elaboración de los bloques, resaltando que no se utilizó ninguna otra clase de aditivo que afectara su resistencia como lo puede ser el cemento o algún otro. Finalmente se deja endurecer este último por lo menos 48 horas para poder someterlo a compresión en una prensa hidráulica.

**Figura 26.** *Ensayo de Compresión*



**Fuente:** Elaboración propia

Se genera una carga continúa garantizando su estabilidad sin generar movimiento alguno al bloque, lo anterior se realizó a una velocidad constante de 0.02 mm/s o que signifique a un aumento de presión de 0.15 Mpa/s y 0.25 Mpa/s hasta el fallo del bloque. Seguidamente se hace registro de la carga máxima tolerada por el bloque justo antes del fallo. Para finalizar se procede a medir el esfuerzo de rotura del bloque con la siguiente formula.

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

### 5.1.10.2. Resistencia a Tracción por Flexión – Modulo de Rotura.

Este ensayo se llevó a cabo utilizando como referencia las normas técnicas IRAM 12734 y NZS 4298 la cual fue realizada 28 días después de su creación tal como especifica la norma. Para el inicio del ensayo se debe colocar el bloque sobre 2 soportes cilíndricos con un diámetro de entre 1.5 cm a 3 cm, seguidamente, se debe medir la distancia que hay entre la separación de estos cilindros y luego posicionar un cilindro de igual diámetro entre los dos apoyos ya mencionado de manera paralela de tal forma que el cilindro que se encuentra en la parte superior sea el que va a aplicar la carga a una velocidad de 20 N/min hasta que el bloque falle. Finalmente, se hace registro de la carga máxima a la cual el bloque fallo y se realizan los cálculos para determinar el módulo de rotura de cada uno con la siguiente formula.

$$f_i = \frac{3}{2} * \frac{P_i * L}{b * h^2}$$

Siendo

Fi= Modulo de rotura de cada bloque

Pi= La carga de rotura de cada bloque

L= La distancia entre el centro de los apoyos inferiores

b= El ancho de cada probeta (mm)

h= la altura de cada probeta (mm)

**Figura 27.** *Ensayo de Resistencia a la Tracción por Flexión*



**Fuente:** Elaboración propia

### 5.1.10.3. Resistencia a la Erosión Húmeda

Para el procedimiento de este ensayo se tomó como referencia las normas técnicas UNE 41410, NZS 4289 y NMX-C-508-ONNCCE con la cual se busca determinar la resistencia a la erosión provocada por las lluvias. Se optó por el método de Geelong el cual tiene como ventaja que no es necesario gran cantidad de herramientas siendo el más efectivo de realizar en campo. Este consiste en dejar caer desde una altura de 40 cm, gota a gota 100 ml de agua, para que el ensayo sea válido el tiempo requerido para completar los 100 ml debe ser entre 20 y 60 min. La cara expuesta del bloque debe estar posicionada de manera que forme un ángulo de 27° con la horizontal, cabe recalcar que en el ensayo original se utiliza como método para generar las gotas de agua un algodón y un tarro mediante capilaridad, en este caso se decidió cambiar esto y utilizar una bolsa de drenaje con un catéter de manera que pudiéramos garantizar un goteo controlado. Para finalizar se mide la profundidad del hoyo generado por el goteo y se determina la resistencia a la erosión utilizando la siguiente tabla.

**Tabla 11.** Tabla para Determinar la Resistencia de Erosión

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

**Fuente:** Red Argentina Protierra (2020). Niveles de resistencia a erosión según el método pulverizado de agua a presión. Protocolo de ensayos sobre elementos constructivos para la construcción con tierra

**Figura 28.** *Ensayo de Erosión*



**Fuente:** Elaboración propia

#### 5.1.10.4. Resistencia a la Abrasión

Para la ejecución de este ensayo se tomó como referencia las normas técnicas VN-E21-66, XP P13-901, NTC 5324. Siguiendo con el procedimiento se requería pesar cada bloque y registrar su masa inicial antes de iniciar el ensayo; posteriormente colocar sobre un plano horizontal y proceder con el cepillado. El cepillo deberá tener cerdas de acero y una sobrecarga de 3 kg. El movimiento del cepillado debía ser de ida y vuelta por segundo durante un minuto sin aplicar fuerza vertical adicional a la que ya genera el cepillo. Cabe resaltar, que a pesar de que el ensayo especifica que el cepillado deberá ser de ida y vuelta por segundo se tomó la decisión de cambiar esta metodología, ya que, al ser un movimiento físicamente desgastante se pueden ver cambios entre los ensayos debido al cansancio generado durante la prueba, ocasionando variaciones entre cada bloque. Por ende, se estandarizó el mismo número de cepilladas para cada bloque exactamente 20 de ida y vuelta, garantizando así las mismas condiciones para todos los bloques.

Para finalizar el ensayo, se vuelve a registrar su masa y se calcula la superficie cepillada para poder determinar el coeficiente de abrasión mediante la siguiente formula.

$$C_a = \frac{S}{M_i - M_f}$$

Teniendo en cuenta:

Ca= Coeficiente de abrasión, en cm<sup>2</sup>/g

S= Superficie del cepillado, en cm<sup>2</sup>

M<sub>i</sub>= Masa inicial del bloque

M<sub>f</sub>= Masa final del bloque

**Figura 29.** Ensayo de Abrasión



**Fuente:** Elaboración propia

#### 5.1.10.5. Contracción Lineal o Retracción

Para desarrollar este ensayo, se necesita una formaleta abierta con las medidas internas de 60 cm de largo x 5 cm de ancho y 5 cm de alto, teniendo esto se debe engrasar el interior de la formaleta para prevenir la absorción de humedad y facilitar la extracción de esta. Se deberá colocar la muestra en el interior de la formaleta y posteriormente generar una compactación con un pisón del tamaño adecuado, a continuación, se procede a un secado natural protegido del sol y la humedad por 21 días.

Para finalizar se deberá tomar medida de la contracción generada y determinar la contracción lineal.

$$C_i = \left( \frac{x_1 + x_2}{600} \right) * 100$$

Teniendo en cuenta:

$C_i$ = La contracción lineal de cada muestra en %

$X_1$ = La contracción lineal del extremo izquierdo de la muestra, en mm

$X_2$ = La contracción lineal del extremo derecho de la muestra, en mm

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

**Figura 30.** Ensayo de Contracción Lineal



**Fuente:** Elaboración propia

## **5.2. Análisis comparativo entre BTC y la NSR 10**

En este capítulo se tomará como base principal la Norma Sismo Resistente del año 2010, el cual es el reglamento utilizado en Colombia con finalidad de que la respuesta ante un sismo de una estructura sea favorable.

Para realizar un análisis comparativo, se llevará a cabo un cuadro para la cual se tendrán factores indispensables en la NSR10, para que el Bloque de Tierra comprimida, cumpla a cabalidad con dicha normativa. Los factores por analizar serán los siguientes:

- NSR 10, capítulo A.1. Introducción
- NSR 10, capítulo A.2. Zonas de amenaza y movimientos sísmicos de diseño.
- NSR 10, capítulo D.1. Requisitos generales.
- NSR 10, capítulo D.2. Clasificación, usos, normas, nomenclaturas y definiciones.
- NSR 10, capítulo D.3. Calidad de los materiales en la mampostería estructural.
- NSR 10, capítulo D.4. Requisitos constructivos para mampostería estructural.
- NSR 10, capítulo D.9. Muros de mampostería no reforzada.

## **5.3. Impacto ambiental**

Se desarrollo una matriz con el cual se van a identificar de manera general algunos impactos causados por los aditivos que se van a utilizar en el proyecto, posteriormente se evaluarán por medio de factores calificativos que presenta esta metodología. Esto para realizar un pequeño análisis sobre la importancia y las afectaciones que generan estos contaminantes.

El método de EPM valora los impactos mediante un término llamado “Clasificación ambiental” (Ca) obtenidos de los cinco criterios que esta propone.

**Tabla 12. Criterios de Evaluación EPM**

<b>Clase (Ca)</b>	<b>Presencia (P)</b>	<b>Duración (D)</b>	<b>Evolución (E)</b>	<b>Magnitud (M)</b>	<b>Puntaje</b>
N	Cierta	Muy largo o permanente	Muy rápido	Muy alta	1
P	Muy probable	Larga	Rápido	Alta	0,7 < 0,99
	Probable	Media	Media	Media	0,4 < 0,69
	Poco probable	Corta	Lenta	Baja	0,2 < 0,39
	No probable	Muy corta	Muy lenta	Muy baja	0,01 < 0,19

La tabla anterior muestra los puntajes de los criterios utilizados para la matriz de impactos, con esto se desarrolló la ecuación para la clasificación ambiental.

$$Ca = C(P(7 * E * M + 3 * D))$$

Finalmente, el puntaje obtenido en la clasificación ambiental (Ca), se expresa mediante una escala de importancia del impacto la cual es explicada en el manual de evaluación de impacto ambiental por Jorge Arboleda

## 6. Resultados

### 6.1. Diseño optimo

En la obtención de los resultados se utilizó como software de ayuda la herramienta estadística MiniTab. En los cuales por medio de su amplia variedad de graficas se pudo mostrar los datos de manera ordenada y sencilla de comprender. Como elemento principal se tuvo el ladrillo sin aditivo el cual fue expresado en todas las gráficas con un color café oscuro, al igual que el color verde significa el valor más favorable y el color rojo el valor más desfavorable.

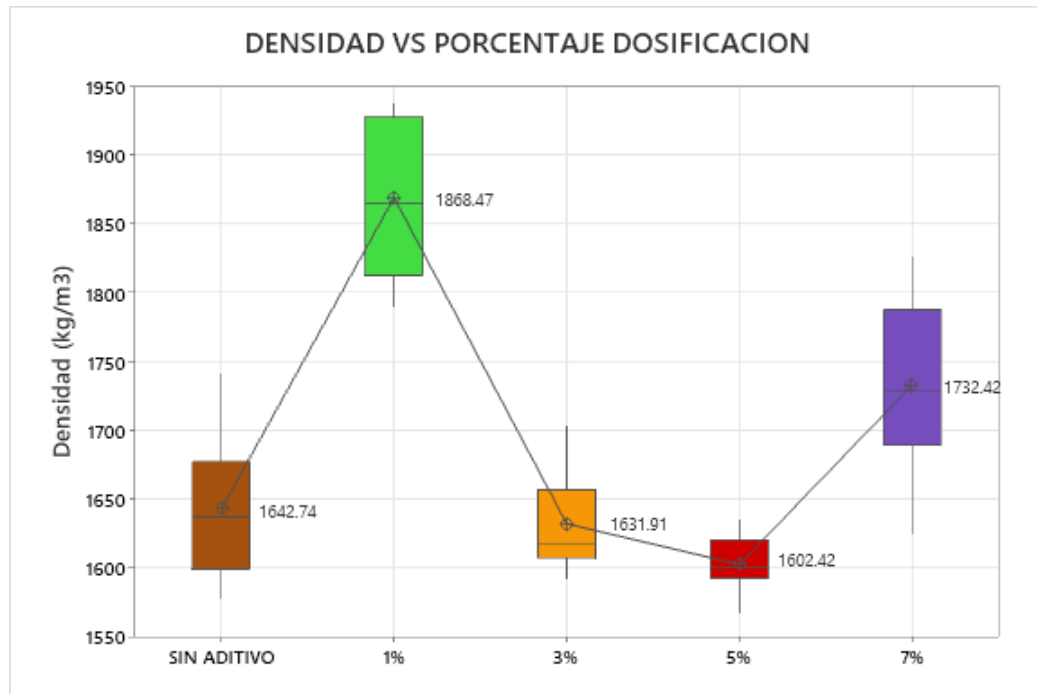
**Figura 31.** Convenciones de favorabilidad

CONVERSIONES MINITAB	
LADRILLO SIN ADITIVO	
PORCENTAJE MAS FAVORABLE	
PORCENTAJE MENOS FAVORABLE	

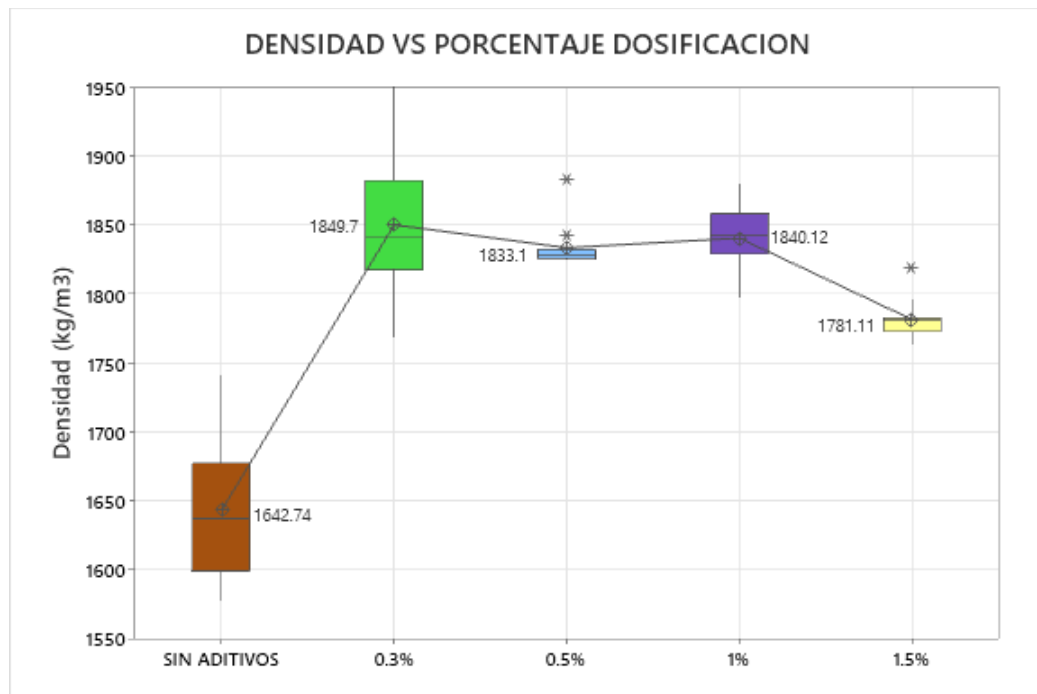
#### 6.1.1. Densidad de los Bloques:

Una vez compactados los ladrillos y pesados en su totalidad, se ingresaron los datos en MiniTab, en donde por medio de una caja de bigotes se obtuvieron datos de densidad de los bloques del aditivo 1 (caucho triturado) y el aditivo 2 (plástico PET), los cuales fueron comparados con sus respectivos porcentajes de dosificación.

**Figura 32.** Gráfico de Densidades vs. Dosificación Aditivo 1



**Figura 33.** Gráfico de Densidades vs. Dosificación Aditivo 2

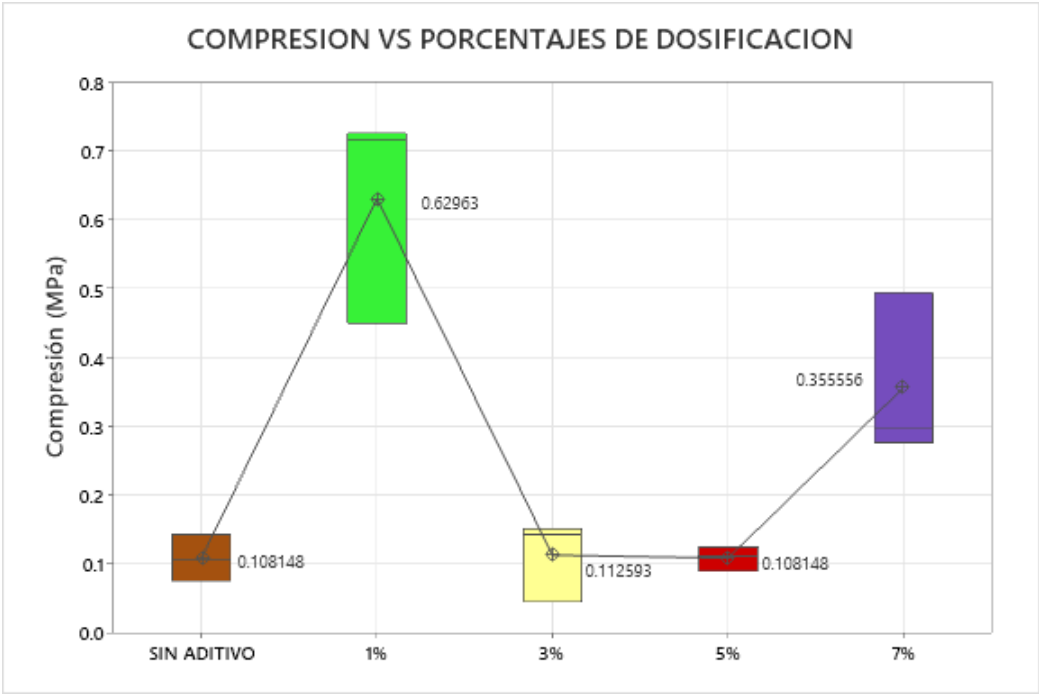


En este gráfico, se trazó una línea de tendencia respecto a la media de cada porcentaje, y se clasificó por colores. De la misma manera, en los gráficos se muestran valores atípicos demarcados con un asterisco.

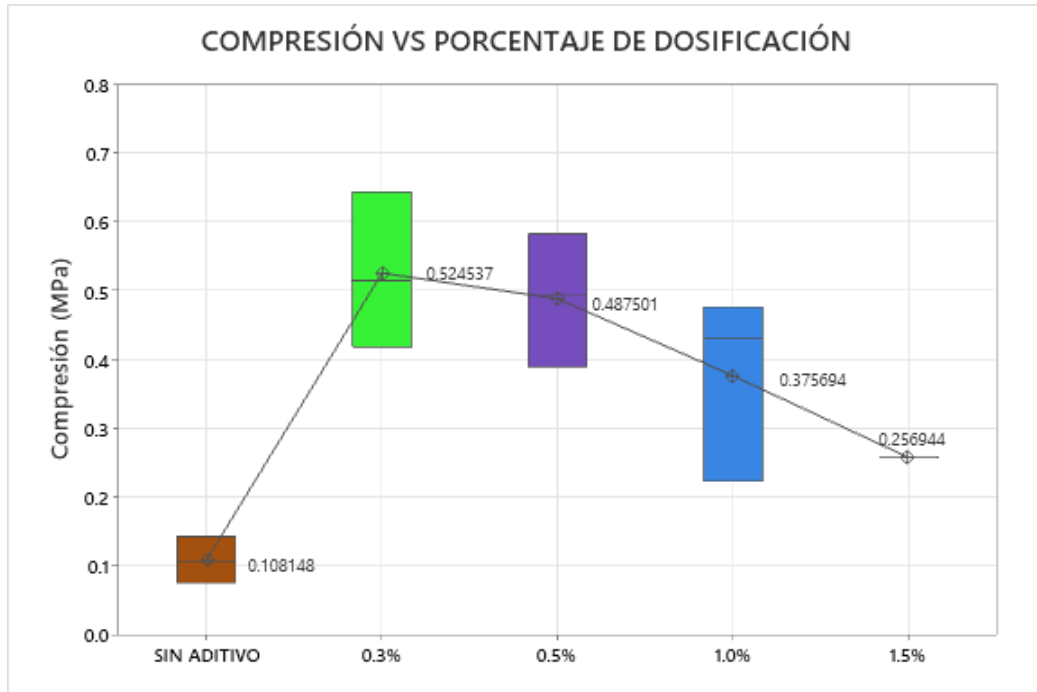
6.1.2. Resistencia a la Compresión Seca:

En cuanto a la resistencia a la compresión se realizó una tabulación de todos los resultados obtenidos por aditivo, siendo clasificado como el aditivo 1, el caucho triturado y aditivo 2, el plástico PET. Con los datos ordenados en tablas se realizaron graficas tipo boxplots o caja de bigotes para obtener una mejor idea de los datos obtenidos, los cuales fueron analizados junto con sus diferentes dosificaciones:

**Figura 34.** Gráfica del Esfuerzo a Resistencia a Compresión del Aditivo 1



**Figura 35.** Gráfica del Esfuerzo a Resistencia a Compresión del Aditivo 2



En los gráficos se ubicó una línea de tendencia marcada por la media de cada porcentaje, iniciando desde los ladrillos sin aditivos variando por los diferentes porcentajes. Cada caja de bigotes se identificó con un color diferente a medida que su favorabilidad aumentara.

### 6.1.3. Resistencia a Tracción por Flexión – Modulo de Rotura.

De la misma manera que el ensayo anterior, se ejecutó la tabla de resultados en el software MiniTab, en donde por medio de caja de bigotes se puede apreciar una representación de datos de flexión en MPa y su respectiva dosificación por aditivo.

Figura 36. Gráfico Módulo de Rotura Aditivo 1

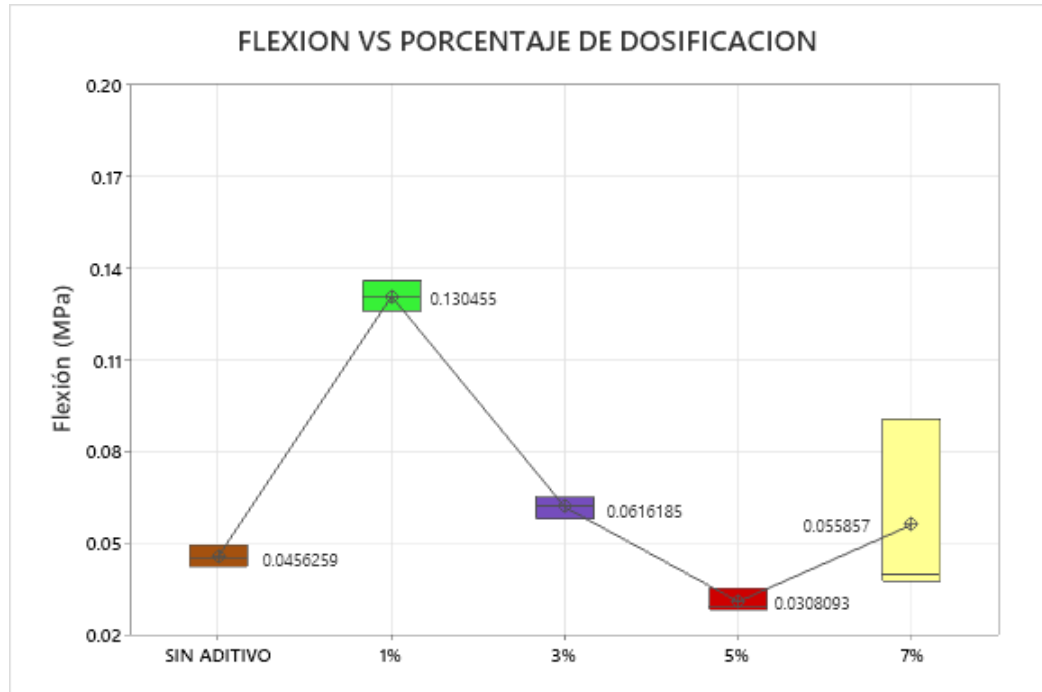
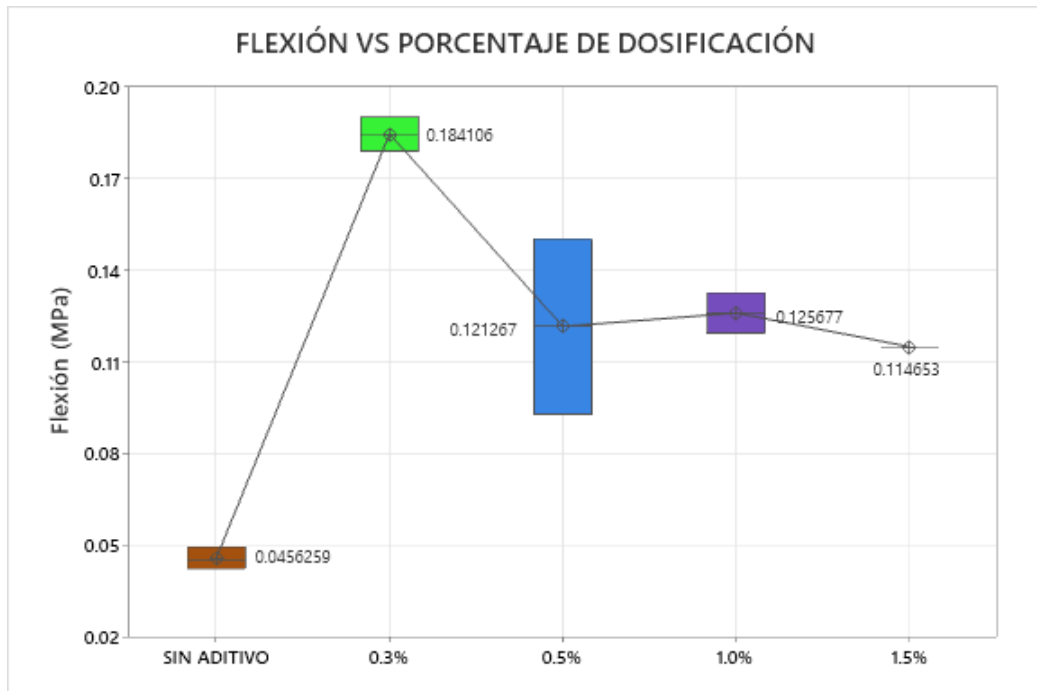


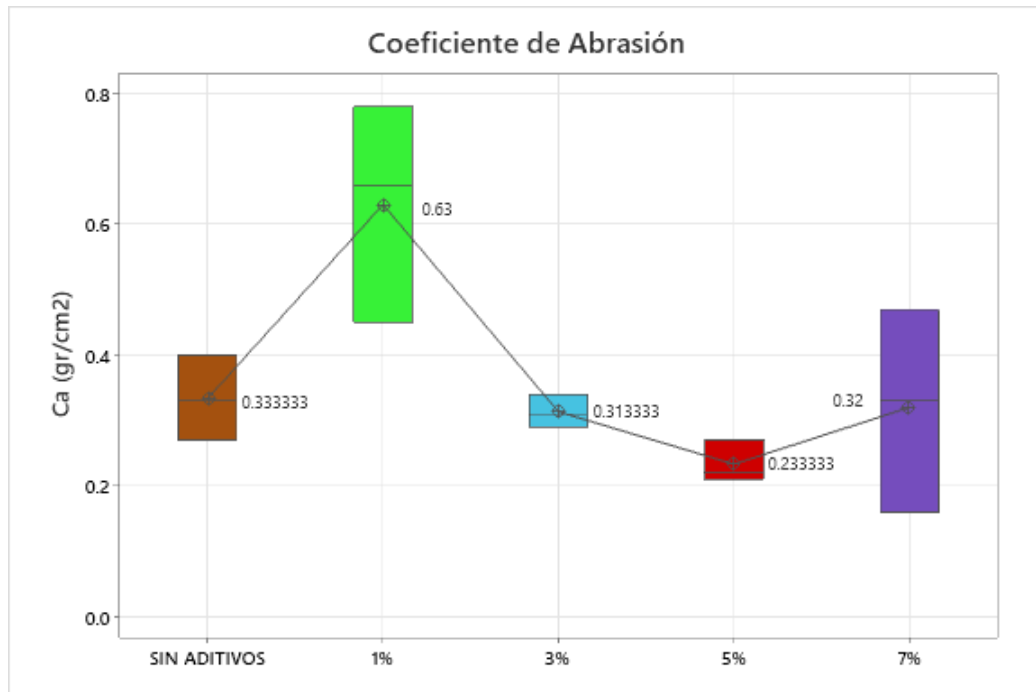
Figura 37. Gráfico Módulo de Rotura Aditivo 2



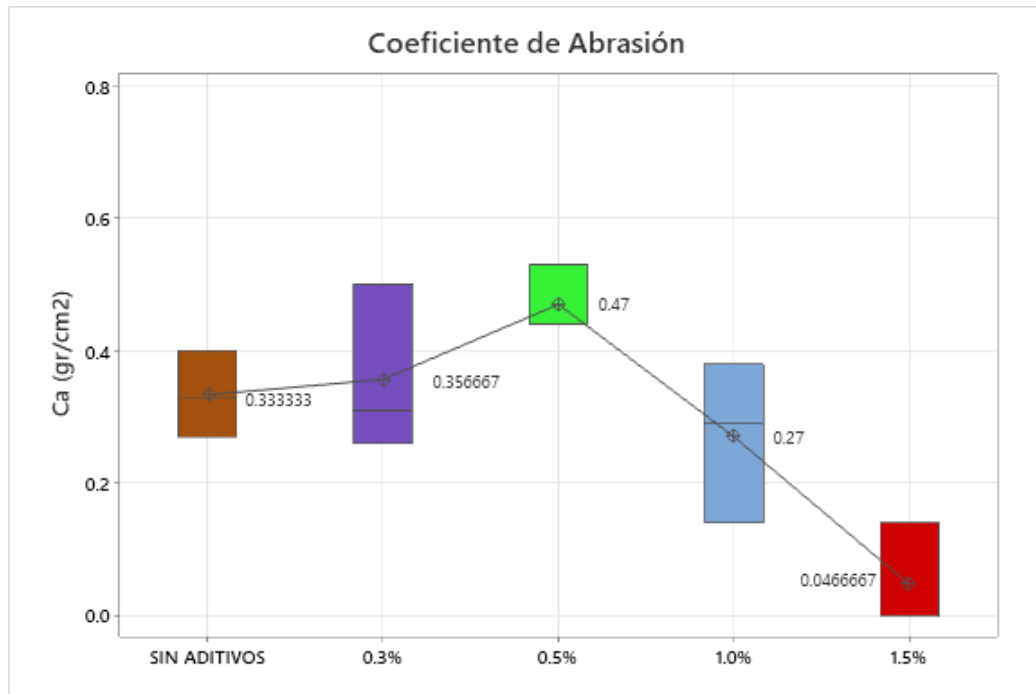
#### 6.1.4. Resistencia a la abrasión

Se cargaron los datos obtenidos de los ensayos al software MiniTab, mediante una gráfica estadística de líneas con las que podemos observar los resultados de los aditivos y cada una de su dosificación facilitando así la lectura y la interpretación de estos, para posteriormente realizar un análisis de estos.

**Figura 38.** Gráfico Coeficiente de Abrasión Aditivo 1



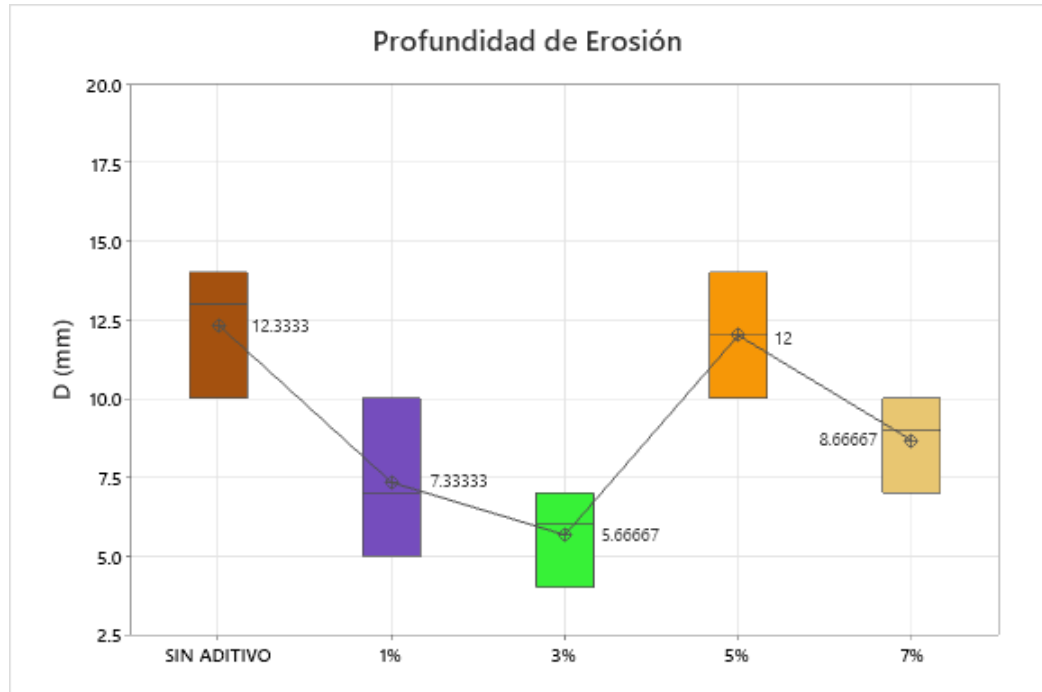
**Figura 39.** Gráfico Coeficiente de Abrasión Aditivo 2



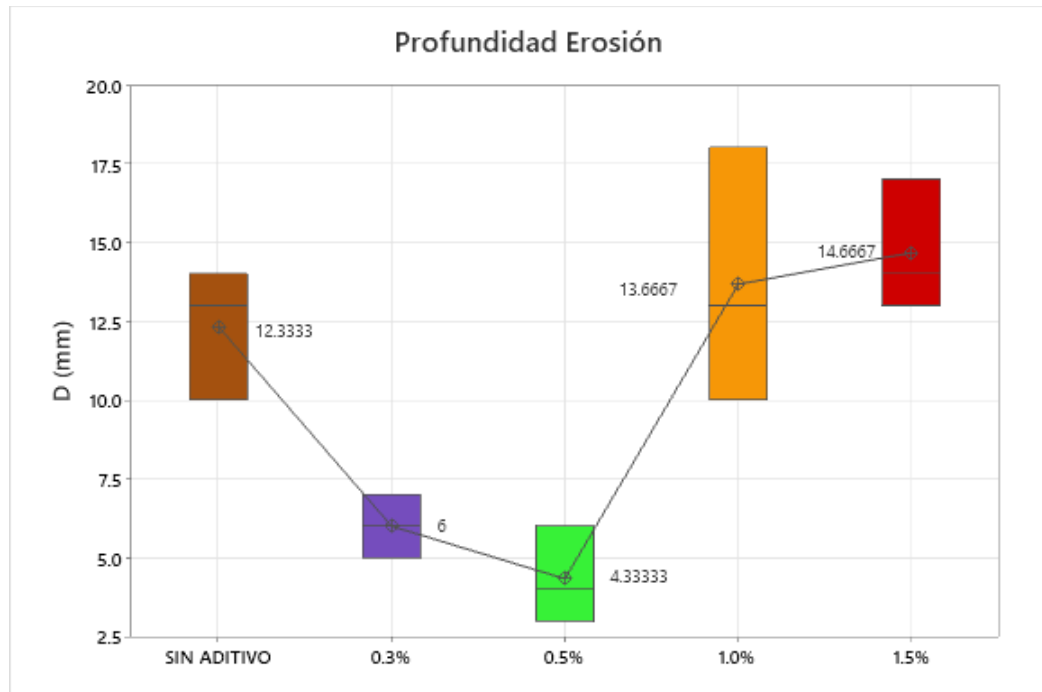
### 6.1.5. Resistencia a la erosión

De igual manera que en los anteriores ensayos se ha utilizado el software MiniTab para realizar una gráfica estadística de caja de bigotes, facilitando la interpretación de los resultados obtenidos mediante los ensayos ejecutados a cada uno de los aditivos y sus respectivas dosificaciones.

**Figura 40. Gráfico Erosión del Aditivo 1**



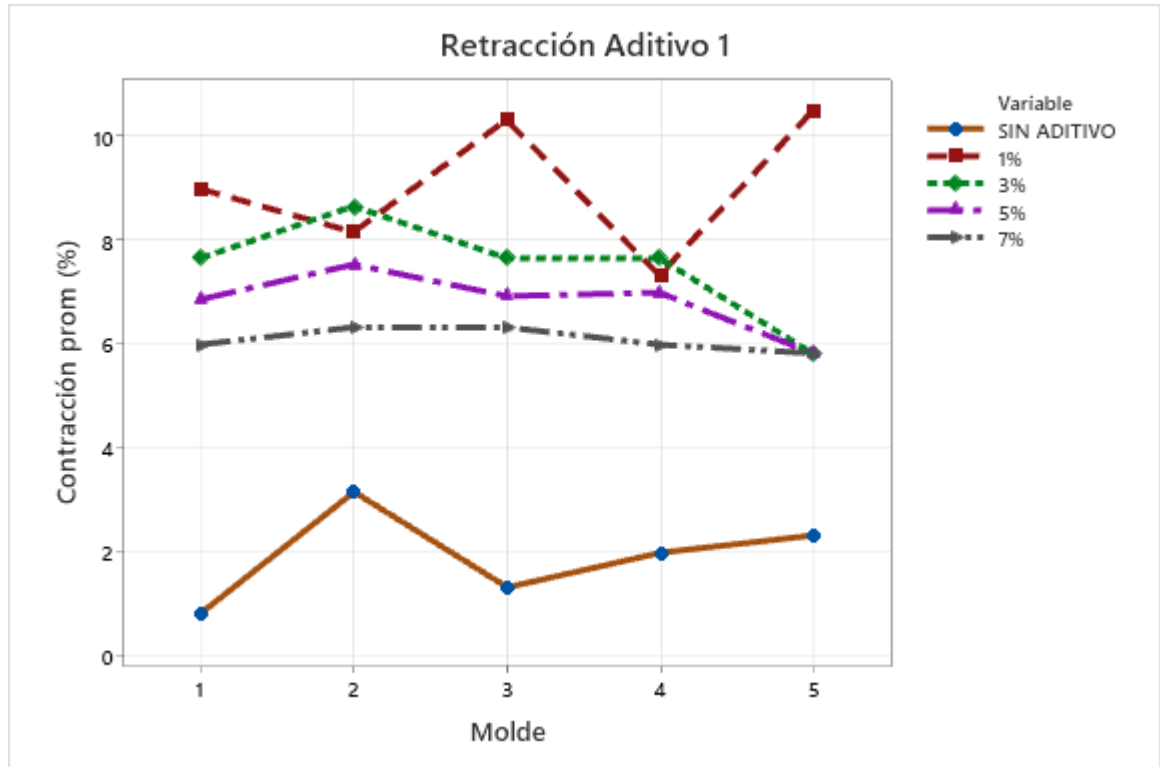
**Figura 41. Gráfico Erosión del Aditivo 2**



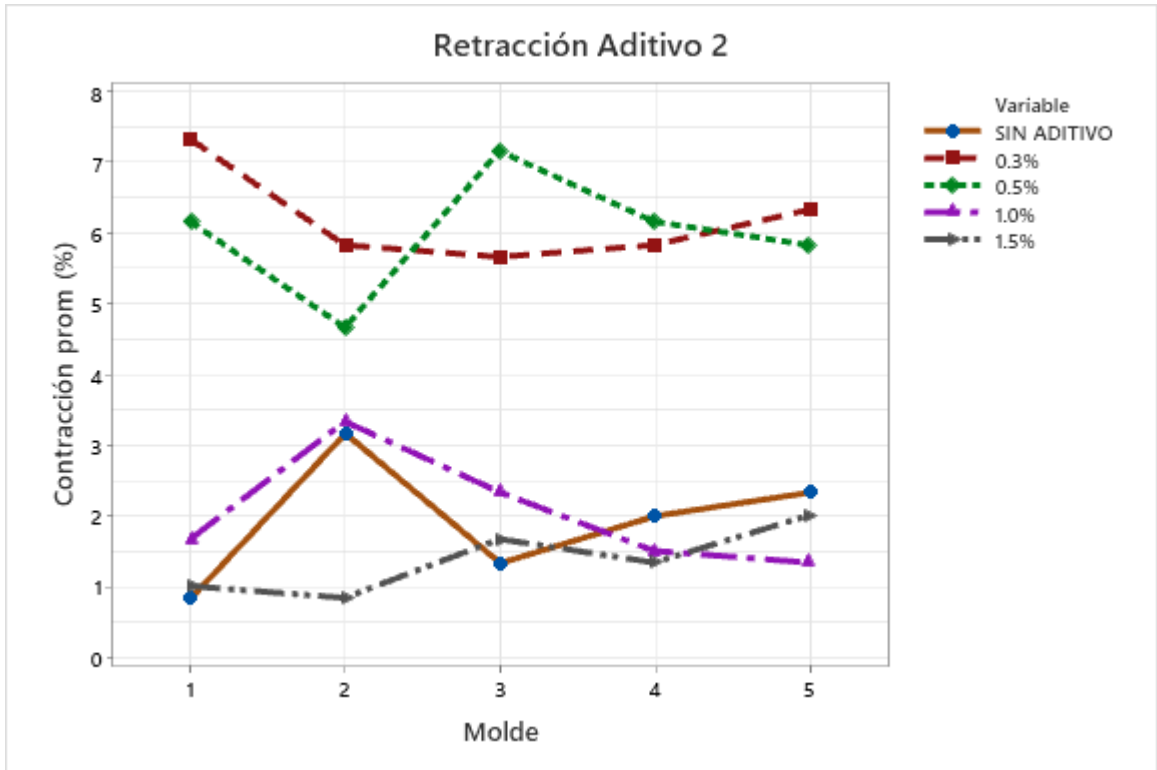
### 6.1.6. Contracción Lineal.

Para el ensayo de contracción lineal se realizaron los gráficos que se evidencian en la figura 41 y 42.

**Figura 42.** Gráfico Retracción, Aditivo 1













**Figura 43.** Gráfico Retracción, Aditivo 2



#### 6.1.7. Efectos Sinérgicos y Antagónicos:

Los efectos sinérgicos y antagónicos refieren a la mejoría y/o reducción de los aditivos con respecto a los bloques vírgenes. Dichos efectos fueron representados con iconos de flecha con diferentes magnitudes haciendo alusión a si es una gran mejoría o reducción de dichos bloques después de la adición de los diferentes aditivos, teniendo en cuenta que el aditivo 1 es el caucho triturado y el aditivo 2 es el plástico PET en tiras.

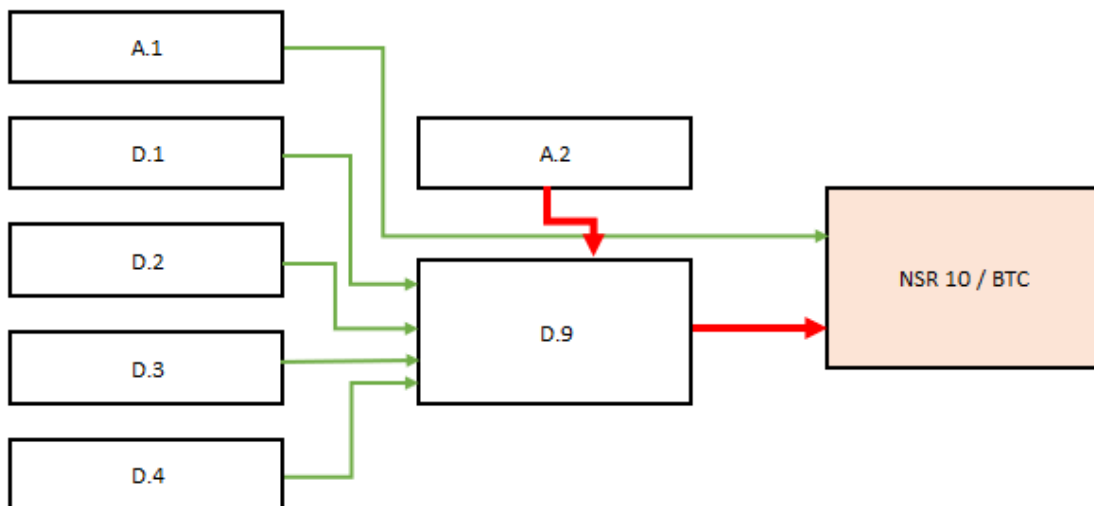
**Figura 44.** Efectos Sinérgicos y Antagónicos entre los BTC y los BTC Estabilizados

EFECTOS SINERGICOS Y ANTAGONICOS					
ADITIVO/BTC	COMPRESIÓN	FLEXIÓN	EROSIÓN	ABRASIÓN	RETRACCIÓN
ADITIVO 1 (CAUCHO TRITURADO)					
DOSIFICACIÓN	1%	1%	3%	1%	7%
MEJORA	482%	186%	41%	91%	68%
ADITIVO 2 (TIRAS PLASTICO PET)					
DOSIFICACIÓN	0.3%	0.3%	0.5%	0.5%	1.5%
MEJORA	385%	304%	65%	41%	69%

Fuente: Elaboración propia

## 6.2. Cuadro comparativo para la aceptabilidad de los BTC según la NSR10:

**Figura 45.** Flujograma aceptabilidad NSR10 / BTC



Fuente: Elaboración propia

En la figura 44, se puede apreciar los capítulos para los cuales el BTC cumple y no cumple con la NSR 10. Los cuales como capítulo principal se tiene el D.9, el cual se dirige exclusivamente a los muros de mampostería no reforzada. En dicho capítulo, la norma manifiesta que debe cumplir con los capítulos D.1, D.2, D.3 y D.4, para los cuales se cumple asertivamente con estos capítulos. De igual forma, expresa en el apartado D.9.1.3 que los muros realizados con este tipo de mampostería, por normativa deben tener como mínimo 120 mm de espesor. Este ítem se cumplió de igual forma.

Se puede apreciar, que el ítem A.1 cumple con lo expuesto en la NSR10, debido a que en el apartado A.1.3.6.1 se está cumpliendo con el grado de desempeño en este expuesto, el cual para este proyecto es de grupo de uso I, por ende, es de desempeño bajo.

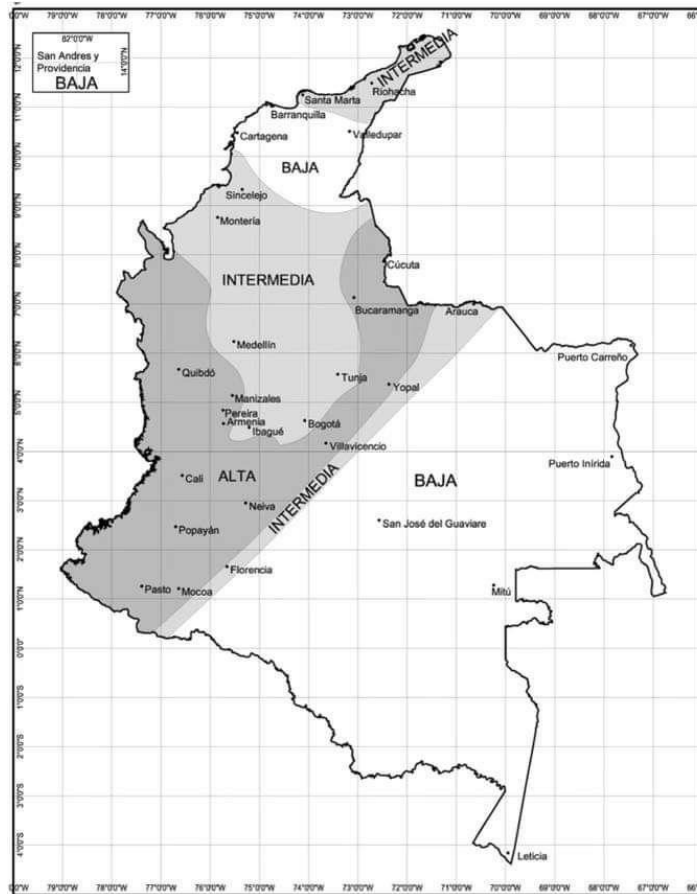
*Figura 46. Grado de desempeño mínimo requerido*

<b>Grupo de Uso</b>	<b>Grado de desempeño</b>
<b>IV</b>	Superior
<b>III</b>	Superior
<b>II</b>	Bueno
<b>I</b>	Bajo

**Fuente:** NSR 10, Capítulo A.9, Elementos no estructurales. 2010. [Consultado 20 de junio de 2022].

Por su parte, en el capítulo A.2 se evidencia que no cumple con la normativa, esto debido a que en el capítulo D.9.2.1 expresa textualmente que la mampostería no reforzada solo puede utilizarse donde el valor de  $A_a$  sea menor de 0.05 lo que hace alusión a una zona de amenaza sísmica baja. Por este motivo, como lo muestra la siguiente tabla, en la ciudad de Bucaramanga, la cual es la locación en donde se está llevando a cabo este proyecto, no cumple.

Figura 47. Zonas de Amenaza sísmica aplicable a edificaciones



Fuente: NSR 10, Capítulo A.1, Elementos no estructurales. 2010. [Consultado 20 de junio de 2022].

### 6.3. Impacto Ambiental

#### 6.3.1. Tabla CO2

**Tabla 13.** Principales agentes de contaminación de CO2

CONTAMINACIÓN EMITIDA POR LOS PRINCIPALES AGENTES EN LA ELABORACION DE LADRILLOS CONVENCIONALES Y BTC			
AGENTE CONTAMINANTE	CANTIDAD	UNIDADES	EMISION CO2 (kg CO2)
CEMENTO	1	TON	363
CAL	1	TON	731
LADRILLO TRADICIONAL	1	TON	2029.059
LADRILLO BTC	1	TON	0
NEUMATICO	1	TON	11182
PLASTICO PET	1	TON	3500

La contaminación generada por estos elementos presentados en la tabla anterior es lo que hace tan importante la búsqueda de alternativas para la disminución de estas, el proyecto realizado busca generar una opción a la reutilización de los materiales como lo son el neumático y el plástico PET que son generados en grandes cantidades en el planeta cada día, que más que generar una gran emisión de CO2, no se genera una predisposición a un uso posterior a este.

#### 6.3.2. Aplicación del Método EPM

**Tabla 14. Caucho Triturado de Neumáticos**

Caucho triturado de neumáticos								
ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL	Clase	P	E	D	M	Ca	Impacto Ambiental
Afectación a la atmosfera y al aire	Emisión de gases y toxinas	N	1,0	0,7	0,5	0,5	3,95	Moderadamente Significativo o Moderado
Social	Riesgo a la salud de los trabajadores por exposición	N	0,5	0,2	0,2	0,4	0,58	Poco Significativo o Irrelevante
Contaminación del agua	Contaminación de acuíferos y/o zonas hídricas	N	1,0	0,8	1	0,7	6,92	Significativo o Relevante
Social / económico	Generación de empleo	P	1,0	0,7	0,8	0,8	6,32	Significativo o Relevante
Social / económico	Ingresos económicos	P	1,0	0,7	0,8	0,8	6,32	Significativo o Relevante
Fauna	Afectación a la fauna acuática	N	0,9	0,9	1	0,9	7,80	Muy Significativo o Grave
Disposición final del material	Afectación del suelo por disposición inadecuada de neumáticos en botaderos no autorizados	N	0,9	0,9	1	0,9	7,80	Muy Significativo o Grave

**Tabla 15. Plástico PET**

Plástico								
ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL	Clase	P	E	D	M	Ca	Impacto Ambiental
Afectación a la atmosfera y al aire	Emisión de gases y toxinas	N	1,0	0,7	0,5	0,5	3,95	Moderadamente Significativo o Moderado
Social	Riesgo a la salud de los trabajadores por exposición	N	0,5	0,2	0,2	0,4	0,58	Poco Significativo o Irrelevante
Contaminación del agua	Contaminación de acuíferos y/o zonas hídricas	N	1,0	1,0	1	1	10,00	Muy Significativo o Grave
Social / económico	Generación de empleo	P	1,0	0,7	0,8	0,8	6,32	Significativo o Relevante
Fauna	Afectación a la fauna acuática	N	1,0	1,0	1	1	10,00	Muy Significativo o Grave
Disposición final del material	Afectación del suelo por disposición inadecuada en botaderos no autorizados	N	0,9	0,9	1	0,9	7,80	Muy Significativo o Grave

## 7. Análisis de Resultados

### 7.1. Diseño optimo

Al analizar las gráficas de todos los ensayos, se puede evidenciar la mejoría que genera el aditivo del caucho en pequeñas proporciones. Cabe resaltar que en la investigación realizada por Wulandari y Tjandrá (2017), arrojaron resultados similares en donde los autores eligieron un contenido de caucho triturado de 1% y 2% por peso de mezcla asfáltica. Si bien el uso de este aditivo no es el mismo al de este proyecto, los resultados obtenidos por esta corroboran que el caucho triturado mejora la resistencia y la calidad de la mezcla.

Según lo expuesto en las gráficas de densidad de los bloques con plástico en tiras como aditivo se observa una tendencia a bajar su densidad a medida que se va aumentando la cantidad de aditivo en su dosificación, demostrando así que la utilización de este genera una disminución en su masa. Posteriormente al analizar los resultados obtenidos en los ensayos de compresión y tracción se refleja una mejora considerable en sus dos primeras dosificaciones (0.3% y 0.5%) resaltando sus resultados a la flexión que destaca sobre los demás ensayos, los cuales tuvieron una mejoría de 403.7% a comparación de los bloques sin aditivo.

Los datos obtenidos e ilustrados en la tabla de densidad vs porcentaje deja en evidencia que la densidad varía para el aditivo 1, debido a su dosificación en donde se puede apreciar que este no genera una tendencia lineal a la cantidad de aditivo agregada. En cambio, se puede resaltar que, aunque su proceso de compactación fue igual para todos los bloques, la densidad pudo ser afectada por la humedad de la tierra, debido a que esta se tomaba de manera empírica a la hora de la elaboración de estos.

De igual forma, se observa que, al agregarle caucho triturado en la elaboración de los bloques, genera una baja en su densidad de aproximadamente 2.5% en comparación del BTC no estabilizado ( $1642.74 \text{ kg/m}^3$ ) y el BTC estabilizado ( $1602.42 \text{ kg/m}^3$ ), lo cual hace referencia a una disminución en su masa ya que el volumen es el mismo para todos los especímenes.

Dicho lo anterior, al ver el grafico de compresión del caucho triturado se evidencia una tendencia proporcional entre la densidad obtenida y los valores de compresión, dando así que a mayor densidad mejor fue su desempeño a compresión. De igual forma, en los ensayos de resistencia a tracción por flexión y resistencia a abrasión, se tiene certeza que sigue la misma orientación con respecto a su densidad vs desempeño. Por otra parte, lo expuesto en el gráfico de profundidad de erosión no muestra relación alguna con respecto a su densidad. Según esto, la densidad de los bloques es independiente a su resistencia a la erosión.

El ensayo de resistencia a compresión presentó en la dosificación del 1 % la mayor mejora a comparación de los demás ensayos de laboratorio con un esfuerzo a compresión de un 482% mejor que el BTC sin aditivo.

Una vez analizados los resultados, se puede evidenciar un aumento en la resistencia a

la abrasión de los bloques estabilizados con los aditivos, dejando logros positivos de 189.18 % en caucho y 141.14% en plástico, vale la pena resaltar que lo anterior se dio en sus mejores resultados. Eventualmente se obtiene una mejora de estos bloques en sus primeras dosificaciones con menor cantidad de aditivo.

Los resultados obtenidos por los bloques de tierra elaborados con plástico PET en tiras como aditivo permitieron constatar en los ensayos de erosión un declive en las últimas dosificaciones (1% y 1.5%) en comparación a los bloques de tierra sin aditivo. Debido a lo anterior, se considera que la principal causa de esta variación es debido a que el aditivo no presentó una cohesión idónea y su compactación no fue la esperada.

Durante los ensayos se evidencia que elaborar bloques con el aditivo del 1.5 % de dosificación de plástico en tiras, genera una pérdida de compactación al punto de ser demasiado frágiles, dificultando su maniobrabilidad y dejando resultados negativos en los ensayos.

En las gráficas estadísticas obtenidas del aditivo del plástico en el ensayo de compresión podemos observar una inclinación de datos más homogénea llevando así una gran mejoría en sus dosificaciones más bajas y la cual va disminuyendo a medida que esta va aumentando.

A pesar de que en los ensayos previos el plástico en tiras como aditivo en grandes dosificaciones (1.5%) no proporcionaron alcances positivos, en el ensayo de retracción se observó una reducción de la contracción del material, siendo este el mejor resultado obtenido.

## **7.2. NSR10-BTC**

Es importante aclarar que la NSR10 establece unos parámetros para la elaboración de la mampostería estructural, en donde se puede resaltar la utilización de aglomerantes como el cemento portland para la dosificación del ladrillo, y este mismo junto al cal para la elaboración del mortero de pega en el ensayo de compresión.

Según lo expresado en el numeral anterior, sin importar que la mayoría de los factores importantes cumplieron como lo muestra el gráfico 44, la norma es clara cuando expresa que debe cumplir todos los requisitos expuestos en el numeral D.9.

De igual forma, para este proyecto, la NSR10 no es de exigencia para avalar el cumplimiento de dichos bloques, ya que, al no ser mampostería estructural, es de aplicabilidad sencilla.

Según lo observado en la figura 46, la realización de una vivienda en el sector en el cual fue extraído la tierra (Bucaramanga), no es viable por la NSR 10, ya que el factor de sismo resistencia en esta zona del país es alta. Por el contrario, este método constructivo con los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, son aptos para zonas con riesgo bajo de sismo resistencia.

### **7.3. Impacto ambiental**

La matriz ambiental realizada por el método de EPM abarca de manera general algunos impactos que genera la creación y utilización de estos productos, estimando así que algunas afectaciones son graves y moderadas, aunque en lo estimado también hay efectos positivos como los son la generación de empleo y la contribución económica, pero, los efectos negativos se sobreponen a estos, como lo es el caso de la afectación a la fauna acuática como el impacto más graves que se destacan en las dos matrices. Posteriormente la afectación del suelo por disposición de estos contaminantes es otro de los impactos que destacan debido al mal manejo que se les hacen a estos productos en su reciclaje o reutilización dando a lugar a más contaminación.

Al observar la tabla 13 se logra entender la magnitud de emisión de CO<sub>2</sub> que generan los elementos representados. De igual forma, se destaca los neumáticos como el agente contaminante que más CO<sub>2</sub> emite en comparación del plástico PET, el cual es el segundo que más emisión genera en la tabla, donde este último tres veces menos contaminante que el neumático.

## **8. Conclusiones.**

### **8.1. Diseño optimo**

Mediante los ensayos de laboratorio se determinó que el diseño óptimo más competente fue el porcentaje con menor cantidad de aditivo, en el caso del caucho triturado (1.0%) y en el plástico PET (0.3%). Esto debido a que el aditivo en estas proporciones generó un incremento masivo en algunas de sus propiedades, tal como lo fue la resistencia a compresión, resistencia a flexión y resistencia a la abrasión; de igual forma no afectó la composición física del bloque.

Se puede evidenciar que el diseño óptimo de la mezcla para los ladrillos estabilizados cumplió con lo esperado, ya que sin adicionar cemento portland o cal, se obtuvieron resultados positivos a comparación del BTC sin estabilizar. Debido a que uno de los objetivos de este proyecto era la adición de materiales reciclables para una elaboración limpia y sin emisión de dióxido de carbono.

### **8.2. NSR10-BTC**

A diferencia del proceso de elaboración del título D de la norma, en este proyecto se abstuvo de el uso de estos aglomerantes, lo cual genera una diferencia sustancial en los resultados de los ensayos de laboratorio. Dicho esto, en el capítulo D parágrafo 9.1.3 en donde manifiesta que los muros de mampostería no reforzados deben tener como un espesor mínimo de 120 mm o 12 cm para el cual, en este proyecto se cumplió con dicho requisito ya que se estableció un espesor de 12 cm para cada uno de los bloques.

Según los resultados obtenidos, se puede concluir que, en la resistencia a compresión, se obtuvo un rango de 0.10 – 0.63 MPa en ambos aditivos, lo cual, en comparación con lo que dice la norma NTC 4205, en donde explica que para un ladrillo de mampostería no estructural en un promedio de 5 unidades su resistencia mínima a compresión es de 3.0 MPa. Esto muestra que el bloque de tierra comprimida no tiene las mismas propiedades que un ladrillo cocido convencional. Esto debido a que en el desarrollo de este proyecto se descartó el uso de materiales contaminantes como el cemento portland que aportan a la mezcla resistencia, pero afecta la elaboración limpia y sin emisiones.

En conclusión, los bloques de tierra comprimida tienen una resistencia a propiedades físico mecánicas aceptables, aun así, los aditivos expuestos en este proyecto mejoraron significativamente dichas propiedades, teniendo así, que se debe agregar aditivo en pequeñas cantidades.

### **8.3. Impacto Ambiental**

El impacto ambiental generado por los aditivos utilizados en este proyecto no debería pasar desapercibido, actualmente la emisión de CO<sub>2</sub> y el poco reciclaje que se le hacen a los materiales como el plástico y el caucho ha generado una afectación negativa al medio ambiente que la hace insostenible, debido a esto es de suma importancia optar por alternativas de reutilización de estos contaminantes y dirigir a la sociedad hacia un futuro más sostenible.

En definitiva, al evaluar el impacto ambiental generado por el caucho triturado y el plástico

PET, se puede concluir que dichos materiales contaminan en su mayoría debido a su mala disposición y la falta de reciclaje de estos. Por ende, este proyecto generó una alternativa de reutilización para estos materiales contaminante.

Tras el análisis, podemos deducir que, la utilización de los dos agentes contaminantes como aditivos en métodos alternativos de construcción como lo son los BTC, ayuda enormemente a disminuir el impacto ambiental de disposición final planteado en la matriz de EPM, ya que, al darle otro uso se previene la afectación del suelo por disposición inadecuada en botaderos no autorizados.

En definitiva, la utilización de BTC con aditivos contaminantes ayuda a combatir el impacto generado por la creación y mala utilización de estos, teniendo en cuenta el diseño óptimo de este proyecto, se estima que por cada bloque fabricado se estaría reutilizando 100 gramos de caucho de neumático triturado, que a mayor escala sería un gran mitigante ambiental.

## 9. Recomendaciones

Se recomienda considerar un porcentaje de error en el momento de establecer la humedad óptima debido a que esta se encuentra de manera empírica ya que el método de elaboración de los BTC se realizó en campo, en el cual no se tienen los elementos necesarios para hacer un análisis preciso.

Se aconseja que en la elaboración de los bloques se lleve a cabo en un mismo día, debido a que el proceso de curado es de 28 días y las condiciones de humedad del ambiente pueden afectar la composición de estos. Si no es posible realizarlos en un mismo día, se recomienda tomar la humedad de los días en que fueron elaborados y dejar la anotación en las memorias de cálculo.

Se recomienda al momento de establecer la dosificación de la mezcla, tener una cantidad precisa del material a utilizar, esto para aumentar la precisión de la cuantía ya que al trabajar con porcentajes tan bajos se corre el riesgo de tener un ligero cambio en su dosificación.

Se recomienda dejar todos los bloques en un mismo lugar cubierto y protegidos de las condiciones climáticas, esto para mantener las mismas condiciones para todos los especímenes y que no se vean afectados por condiciones climáticas externas

## 10. Referencias

- Aranda, Y. & García, V. (2016). *Efectos de utilización de savias vegetales en bloques de tierra comprimida a la prueba de abrasión*. Recuperado de: <https://legadodearquitecturaydiseno.uaemex.mx/article/download/14969/11177/>
- Cabreras, S. & González, A. (2021). *Resistencia a Erosión Húmeda en Bloques de Tierra Comprimida. Evaluación de Diferentes Métodos para el Análisis de Resultados*. Recuperado de: <https://rtyc.utn.edu.ar/index.php/rtyc/article/view/815/720>
- Castaño, J. (2018). *En Barichara las casas se hacen con tierra*. Recuperado de: <https://www.lafm.com.co/colombia/en-barichara-las-casas-se-hacen-con-tierra>
- Casto, S. (2020). *Responsabilidad de la ingeniería civil frente al impacto ambiental negativo por la ejecución de obras de infraestructura*. Recuperado de: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/36950/CastroVargasSergioGiovanny2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=La%20ingenier%C3%ADa%20civil%20como%20profesi%C3%B3n,ejecuci%C3%B3n%20de%20las%20obras%20civiles>
- Castro, J., Cruz, T., Puig, T., Alcalá, R., Cabadas, H., Jasso, C., Díaz, J., Sánchez, S., López, F. & Vilanova, R. (2012). *Arquitectura de tierra: el adobe como material de construcción en la época prehispánica*. Recuperado de: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-33222012000200003](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-33222012000200003)
- Cid, J. (2012). *Durabilidad de los bloques de tierra comprimida. Evaluación y recomendaciones para la normalización de los ensayos de erosión y absorción*. Recuperado de: [https://oa.upm.es/14647/2/JAIME\\_JESUS\\_CID\\_FALCETO.pdf](https://oa.upm.es/14647/2/JAIME_JESUS_CID_FALCETO.pdf)
- Echeverry, J. (2017). *Elaboración de (BTC) bloques de tierra comprimida con suelos derivados de cenizas volcánicas y materiales alternativos*. Recuperado de: <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/17000/ELABORACI%C3%92N%20DE%20BLOQUES%20DE%20TIERRA.pdf?sequence=1>
- Galíndez, F. (2007). *Bloques de tierra comprimida (btc) sin adición de cemento*. Recuperado de: [https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-06-14\\_07-05-43105033.pdf](https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-06-14_07-05-43105033.pdf)
- García, T. (2015). *Shibam: Los rascacielos de adobe*. Recuperado de: [https://elpais.com/elpais/2015/08/19/seres\\_urbanos/1439964000\\_143996.html](https://elpais.com/elpais/2015/08/19/seres_urbanos/1439964000_143996.html)
- Gómez, E. (2019). *Análisis del comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica modificada con grano de caucho*. Recuperado de <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/8281/39036.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gómez, J. (2016) *Diagnóstico del Impacto del Plástico - Botellas Sobre el Medio Ambiente: Un Estado del Arte*. Recuperado de:

- <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/10047/Gomez2016.pdf>
- Hernández, A, Botero, L, y Arango, D. (2015). *Fabricación de bloques de tierra comprimida con adición de residuos de construcción y demolición como reemplazo del agregado pétreo convencional*. Colombia.
- Hernández, J. (2016). *Construcción en tierra: Análisis, conservación y mejora. Un caso práctico en Senegal*. Recuperado de: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/107822/tfg\\_josune%20hernandez.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/107822/tfg_josune%20hernandez.pdf)
- [https://infonavit.janium.net/janium/TESIS/Licenciatura/De\\_la\\_Pena\\_Estrada\\_Diego\\_446\\_59.pdf](https://infonavit.janium.net/janium/TESIS/Licenciatura/De_la_Pena_Estrada_Diego_446_59.pdf)
- Icontec. (2004). *Norma técnica colombiana 2871*. Recuperado de: [https://xdocs.net/documents/ntc-2871-5c42304c9c9f0\\_](https://xdocs.net/documents/ntc-2871-5c42304c9c9f0_)
- Inti Martínez, G. (2012). *Hacia la determinación de la viabilidad ambiental de los sistemas constructivos: el caso de los BTC en la zona central de la República mexicana*. Editorial Pax, México.
- Juárez, C. (2016). *Norma técnica colombiana 673*. Recuperado de: <https://silo.tips/download/norma-tecnica-colombiana-673>
- Laguna, M. (2011). *Ladrillo Ecológico como Material Sostenible para la Construcción*. Recuperado de: <http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/4504/577656.pdf>
- López, S. (2018). *Reutilización de residuos sólidos construcción eco-ladrillos en un entorno rural educativo*. Recuperado de <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/4105/REUTILIZACION%20DE%20RESIDUOS%20SOLIDOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Luna, P. (2013). *Estudio de la aplicación potencial de compuestos obtenidos con residuos de caucho reciclado provenientes de continental tire andina como materiales estructurales*. Recuperado de: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5150/1/UPS-CT002730.pdf>
- Martínez, R. (2017). *Huella de Carbono de Bloques de Suelo Estabilizado con Geopolímeros Preparados a Partir de Materiales Residuales: Aplicación en Países en Desarrollo*. Recuperado de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/164606/Mart%C3%ADnez%20-%20HUELLA%20DE%20CARBONO%20DE%20BLOQUES%20DE%20SUELO%20ESTABILIZADO%20CON%20GEOPOLIMEROS%20PREPARADOS%20A%20PARTIR%20DE%20MATERIALES%20RESIDUALES%20APLICACI%C3%93N%20EN%20PA%C3%8DS%20EN%20DESARROLLO.pdf?sequence=1>
- Organización de Consumidores y Usuarios. (9 de abril de 2013). *¿Cómo se producen los neumáticos?* <https://www.ocu.org/coches/neumaticos/informe/neumaticos-produccion>
- Peña, D. (1997). *Adobe, características y sus principales usos en la construcción*.

Recuperado de:

- Sandoval, F. (2020). *Análisis del Comportamiento Térmico de Muros de BTC Aplicado a Programas de Vivienda Social y Sostenible*. Recuperado de: <https://www5.uva.es/grupotierra/aecid/publicaciones/2013/6b.pdf>
- Segre, N., Joekes, I. (2000). *Use of Tire Rubber Particles as Addition to Cement Paste Cement and Concrete Research*. pp. 1421 – 1425.
- Universidad Austral de Chile. (2006). *Hormigón Con Caucho: Determinación del Módulo De Elasticidad*. Recuperado de: [http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2006/bmfciu.81h/doc/bmfc\\_iu.81h.pdf](http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2006/bmfciu.81h/doc/bmfc_iu.81h.pdf)
- Venny, F., Abdul, I., & Mujahid, A. (2010). *A Brief Review of Compressed Stabilized Earth Brick(CSEB)*. Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/12006755.pdf>
- Villamil, J. (2012). *Evaluación del Comportamiento Mecánico de la Mampostería con Material Reciclable Versus Mampostería con Ladrillo*. Recuperado de [https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1827/digital\\_22196.pdf?sequence=1&isAllowed=yhttps://www3.epa.gov/ttnecatc1/dir1/tire\\_esp.pdf](https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1827/digital_22196.pdf?sequence=1&isAllowed=yhttps://www3.epa.gov/ttnecatc1/dir1/tire_esp.pdf)
- Voth, B. (1978). *Baugrund und Baustoff*. Berlin: Alemania
- Wulandari, Paravita & Tjandra, Daniel. (2017). *Use of Crumb Rubber as an Additive in Asphalt Concrete Mixture*. *Procedia Engineering*. 171. 1384-1389. 10.1016/j.proeng.2017.01.451.