	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	<b>FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO</b>	<b>F-AC-DBL-007</b>	<b>10-04-2012</b>	<b>A</b>
Dependencia	Aprobado		Pág.	
<b>DIVISIÓN DE BIBLIOTECA</b>	<b>SUBDIRECTOR ACADEMICO</b>		<b>i(120)</b>	

### RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	<b>OSCAR LEONARDO GARCÍA CASTRO</b> <b>BRAYAN CAMILO QUINTERO SARABIA</b>		
FACULTAD	<b>INGENIERÍAS</b>		
PLAN DE ESTUDIOS	<b>INGENIERÍA CIVIL</b>		
DIRECTOR	<b>HAIDEE YULADY JARAMILLO</b>		
TÍTULO DE LA TESIS	<b>ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-MECÁNICAS Y DE ABSORCIÓN DEL BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDA CON DIMENSIONES 15x10x30 CM IMPERMEABILIZADO CON BREA ASFÁLTICA TRITURADA EN SU ESTADO SÓLIDO</b>		
<b>RESUMEN(70 palabras aproximadamente)</b>			
<p><b>EL PRESENTE TRABAJO DE GRADO TUVO POR OBJETIVO ANALIZAR LAS CARACTERISTICAS FÍSICO-MECÁNICAS Y DE ABSORCIÓN DE BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA CON DIMENSIONES 15x10x30 CM IMPERMEABILIZADOS CON BREA ASFÁLTICA TRITURADA EN SU ESTADO SÓLIDO EN ADICIONES DEL 3, 6 Y 9 PORCIENTO RESPECTO AL PESO DE CADA BLOQUE.</b></p> <p><b>DURANTE LA INVESTIGACIÓN SE REALIZARON EXTRACCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO EN CAMPO Y ENSAYOS DE LABORATORIO PARA CARACTERIZAR E IDENTIFICAR EL MATERIAL A EMPLEAR EN LOS BLOQUES. POSTERIORMENTE SE PROCEDIÓ A EFECTUAR LOS ENSAYOS INDICADOS EN LA NTC 5324 PARA DETERMINAR LAS PROPIEDAS FISICAS, MECÁNICAS Y DE ABSORCIÓN DE LOS BLOQUES EN ESTUDIO.</b></p>			
<b>CARACTERÍSTICAS</b>			
PÁGINAS: 120	PLANOS: 0	ILUSTRACIONES:	CD-ROM: 1



ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-MECÁNICAS Y DE ABSORCIÓN  
DEL BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDA CON DIMENSIONES 15x10x30 CM  
IMPERMEABILIZADO CON BREA ASFÁLTICA TRITURADA EN SU ESTADO SÓLIDO

Autores

OSCAR LEONARDO GARCÍA CASTRO

BRAYAN CAMILO QUINTERO SARABIA

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Civil

Director

MSc. HAIDEE YULADY JARAMILLO

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

INGENIERÍA CIVIL

Ocaña, Colombia

Agosto, 2020

## **Agradecimientos**

Los autores de este proyecto expresan su cordial agradecimiento a la magister Haidee Yulady Jaramillo, por la dirección del trabajo realizado, su apoyo y colaboración permanente durante toda la investigación.

Así mismo agradecen a todas aquellas personas involucradas en la realización del proyecto: amigos, compañeros y docentes, así como aquellos profesionales que brindaron ayuda en la realización de los ensayos de laboratorio.

Finalmente agradecer a la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña por brindar los conocimientos, las herramientas y los espacios necesarios para desarrollar nuestro trabajo.

*Oscar Leonardo García Castro*

*Brayan Camilo Quintero Sarabia*

## Tabla de contenido

Introducción .....	xiii
Capítulo 1. Análisis de las características físico-mecánicas y de absorción del bloque de tierra comprimida con dimensiones 15x10x30 cm impermeabilizado con brea asfáltica triturada en su estado solido.....	1
1.1 Planteamiento del problema .....	1
1.2 Formulación del problema .....	2
1.3 Objetivos .....	2
1.3.1 Objetivo general.....	2
1.3.2 Objetivos específicos. ....	2
1.4 Justificación.....	3
1.5 Delimitaciones.....	4
1.5.1 Operativas. ....	4
1.5.2 Conceptuales. ....	4
1.5.3 Geográficas. ....	5
1.5.4 Temporales.....	5
Capítulo 2. Marco referencial .....	6
2.1 Antecedentes .....	6
2.2 Marco histórico .....	9
2.3 Marco teórico .....	13
2.3.1 La tierra como material de construcción.....	13
2.3.2 Bloques de tierra comprimida.....	15
2.3.3 Ensayos aplicados a los bloques de tierra comprimida.....	18
2.3.3.3 Ensayo de contenido de humedad del suelo y arena.....	19
2.4 Marco conceptual.....	22

2.4.1 Durabilidad. ....	22
2.4.2 Succión.....	23
2.4.3 Estabilizadores. ....	23
2.4.4 Suelo. ....	24
2.4.5 Diseño de mezclas.....	24
2.4.6 Vivienda sostenible.....	24
2.5 Marco legal .....	24
Capítulo 3. Diseño metodológico .....	27
3.1 Tipo de investigación.....	27
3.2 Población.....	27
3.3 Muestra .....	27
3.4 Instrumentos para la recolección de información.....	28
3.5 Análisis de información .....	28
Capítulo 4. Resultados .....	31
4.1 Análisis de las características físico-mecánicas y de absorción del bloque de tierra comprimida con dimensiones 15x10x30 cm impermeabilizado con brea asfáltica triturada en su estado sólido.....	31
4.1.1 Caracterizar cada uno de los materiales utilizados para la realización de los BTC con dimensiones 15x10x30 cm y 7 cm de diámetro.....	32
4.1.2 Realizar el diseño de mezcla para la obtención e identificación de la dosificación de los materiales necesarios para la realización de los BTC con dimensiones 15x10x30 cm y 7 cm de diámetro.....	34
4.1.3 Realizar ensayos de absorción que permitan identificar el grado de impermeabilidad del BTC con dimensiones 15x10x30 cm y 7 cm de diámetro .....	38
4.1.4 Determinar la capacidad de carga según los ensayos físicos mecánicos del BTC impermeabilizado.....	45
4.1.5 Efectuar ensayos de durabilidad y/o erosión que permita determinar la vida útil del BTC impermeabilizado con dimensiones 15x10x30 cm y 7 cm de diámetro .....	50

4.1.6 Comparar los costos de ejecución de un BTC con dimensiones 15x10x30 cm impermeabilizado respecto a un ladrillo común de la zona.....	58
4.2 Resumen de resultados.....	64
Conclusiones.....	66
Recomendaciones.....	68
Referencias.....	69
APÉNDICES.....	71

## Lista de figuras

Figura 1. Ciudad fortificada en el valle de Draa, Marruecos. Siglo. XVIII.....	11
Figura 2. Bloque de Tierra Comprimida (BTC) con huecos .....	16
Figura 3. Cinva Ram Tradicional.....	16
Figura 4. Tamices para ensayo de granulometría .....	19
Figura 5. Límites de Atterberg.....	20
Figura 6. Ensayo de capilaridad.....	21
Figura 7. Esquema del ensayo de erosión por caída de agua (dimensiones en mm.).....	22
Figura 8. Ubicación de sitios de obtención de material .....	32
Figura 9. Peso de los bloques en su condición natural .....	39
Figura 10. Secado de los bloques en el horno.....	39
Figura 11. Tiempo de enfriamiento de los bloques.....	40
Figura 12. Registro del peso seco de los bloques .....	40
Figura 13. Inmersión parcial de los bloques en el agua.....	40
Figura 14. Adición de agua durante el ensayo para mantener el nivel de agua.....	41
Figura 15. Registro del peso final de los bloques .....	42
Figura 16. Elaboración de mezcla mortero .....	46
Figura 17. Conformación de capa de mortero en los bloques de tierra comprimida.....	46
Figura 18. Almacenamiento de los bloques con el mortero antes del ensayo de compresión .....	47
Figura 19. Realización del ensayo de compresión.....	47
Figura 20. Bloques utilizados en el ensayo de abrasión .....	51
Figura 21. Realización del ensayo de abrasión.....	52
Figura 22. Registro del peso final de los bloques .....	52
Figura 23. Bloques a la sombra.....	54
Figura 24. Bloques ubicados a la intemperie .....	54
Figura 25. Registro del peso final de los bloques al finalizar el ensayo de erosión .....	56
Figura 26. Bloque de arcilla hueco .....	58

## Lista de tablas

Tabla 1 Resultados de ensayos de laboratorio efectuados en las muestras de suelo .....	33
Tabla 2 Porcentaje de los materiales constituyentes de los bloques de tierra comprimida BTC..	35
Tabla 3 Cantidad total de materiales en cada mezcla .....	35
Tabla 4 Cantidad total de materiales en cada bloque de tierra comprimida BTC .....	36
Tabla 5 Clasificación de los bloques de suelo .....	37
Tabla 6 Resultados ensayo de absorción en los bloques de tierra comprimida BTC .....	43
Tabla 7 Clasificación de los bloques de acuerdo al coeficiente de absorción .....	43
Tabla 8 Resultados ensayo de compresión .....	48
Tabla 9 Clasificación de los bloques de acuerdo a su resistencia a la compresión .....	48
Tabla 10 Resultados ensayo de abrasión .....	53
Tabla 11 Resultados ensayo de erosión a la sombra.....	56
Tabla 12 Resultados ensayo de erosión a la intemperie .....	57
Tabla 13 Valor unitario de los materiales .....	59
Tabla 14 Valor unitario BTC con 3% de brea asfáltica triturada. ....	59
Tabla 15 Valor unitario BTC con 6% de brea asfáltica triturada. ....	60
Tabla 16 Valor unitario BTC con 9% de brea asfáltica triturada .....	60
Tabla 17 Valor unitario de los bloques de tierra comprimida .....	61
Tabla 18 Precio comercial de bloques de arcilla .....	61
Tabla 19 Sobrecostos de los bloques de tierra comprimida BTC .....	63
Tabla 20 Valor de los bloques por metro cuadrado .....	63
Tabla 21 Resumen de resultados por cada objetivo específico.....	65



**Lista de gráficos**

Gráfico 1. Precio de los bloques estudiados ..... 62

## Lista de apéndices

Apéndice A. Resultados de laboratorio y registro fotográfico .....	72
Apéndice B. Diseño de mezcla de los bloques de tierra comprimida BTC .....	93
Apéndice C. Formato ensayo de absorción.....	100
Apéndice D. Resultados de ensayos de compresión.....	101
Apéndice E. Registro fotográfico del ensayo de abrasión y erosión .....	106

## Introducción

Según lo indicado por Alba, 2017, el alto impacto que produce el sector de la construcción en el medio ambiente, ha conllevado que en las últimas décadas se haya priorizado la búsqueda de nuevos materiales que permitan un desarrollo habitacional y urbanístico sostenible. Entre estos materiales se encuentran la brea asfáltica, ya que es un material que al ser combinado con otros elementos permite mejorar la impermeabilidad de estos (Macías, 2017).

Otro material importante es la tierra, aunque este ha sido utilizado durante siglos, su abundancia y bajo costo han incentivado la búsqueda de alternativas para su utilización, entre ellas, los bloques de tierra comprimida BTC, los cuales se constituyen mayormente de este material (Arteaga, Humberto, & Gutiérrez, 2011).

Los bloques de tierra comprimida BTC se caracterizan por su facilidad de producción, ya que pueden ser producidos empleados instrumentos manuales sin requerir altas temperaturas como si ocurre con los ladrillos de arcilla (Galíndez, 2007; Neves & Borges, 2011).

Esta investigación fue llevada a cabo con el objetivo de analizar las características de los bloques de tierra comprimida impermeabilizados con diferentes porcentajes de brea asfáltica triturada en su estado sólido. El desarrollo de este trabajo se dio en la ciudad de Ocaña, Norte de Santander.

# **Capítulo 1. Análisis de las características físico-mecánicas y de absorción del bloque de tierra comprimida con dimensiones 15x10x30 cm impermeabilizado con brea asfáltica triturada en su estado solido**

## **1.1 Planteamiento del problema**

El bloque de tierra comprimida “BTC” con cementante (cemento), es un bloque sostenible debido a que para su fabricación no se emiten gases nocivos para el medio ambiente, como el dióxido de carbono, pero tienen una gran falencia y es que después de su fabricación y ser utilizado en viviendas u otro tipo de infraestructura en el cual se pueda utilizar según su ficha técnica, es susceptible a la humedad debido a que no es petrificado, es decir, al entrar en contacto con el agua por eventos naturales o de otro tipo por labores cotidianas, sufre procesos de pérdida de sus propiedades físicas y mecánicas al comenzar a desmoronarse y a perder resistencia estructural (Cañola, Builes, Medina, & González, 2018).

En Ocaña existen grandes extensiones de material arcilloso ideal para la fabricación de bloques de tierra comprimida. Por otra parte, es la ciudad es fácil obtener brea asfáltica en su estado sólido, un material muy similar al utilizado en el pavimento flexible (asfalto) el cual es empleado para labores de reparcho o pavimentación normal. Sin embargo, hasta la fecha no se han utilizado estos materiales para la fabricación de BTC en la ciudad, por lo que no se conoce de las mejoras que pueden obtenerse en lo referente a la impermeabilización, ni las propiedades tanto físicas como mecánicas al adicionar cementantes (cemento), proceso que se ha realizado en

diversos lugares del mundo con el fin de buscar bloques alternativos para construcciones sostenibles.

## **1.2 Formulación del problema**

¿Es adecuada la adición de brea asfáltica triturada junto con cemento en la fabricación de Bloques de Tierra Comprimida (BTC)?

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general.**

- Analizar las características físico-mecánicas y de absorción del bloque de tierra comprimida con dimensiones 15x10x30 cm impermeabilizado con brea asfáltica triturada en su estado sólido.

### **1.3.2 Objetivos específicos.**

- Caracterizar cada uno de los materiales utilizados para la realización de los BTC con dimensiones 15x10x30 cm y 7 cm de diámetro.

- Realizar el diseño de mezcla para la obtención e identificación de la dosificación de los materiales necesarios para la realización de los BTC con dimensiones 15x10x30 cm y 7 cm de diámetro.
- Realizar ensayos de absorción que permitan identificar el grado de impermeabilidad del BTC con dimensiones 15x10x30 cm y 7 cm de diámetro.
- Determinar la capacidad de carga según los ensayos físicos mecánicos del BTC impermeabilizado.
- Efectuar ensayos de durabilidad y/o erosión que permita determinar la vida útil del BTC impermeabilizado con dimensiones 15x10x30 cm y 7 cm de diámetro.
- Comparar los costos de ejecución de un BTC con dimensiones 15x10x30 cm impermeabilizado respecto a un ladrillo común de la zona.

#### **1.4 Justificación**

La investigación fue pertinente debido a que se va a producir un bloque de tierra comprimida con adicción de cemento, impermeabilizado con brea asfáltica triturada el cual va a reducir los riesgos de erosión al presentar bajas resistencias a la absorción del agua y altos coeficientes de absorción capilar, desmoronamiento y pérdida de resistencia, cualquier evento natural o de otra índole con la rutina del día a día, con lo que se reduce el riesgo de accidentes que afecten la integridad de las personas que estén presentes en la infraestructura (Arteaga & Loja, 2018).

Debido a que los BTC han sido estudiados en ciudades, como en Medellín, Cuenca en Ecuador, Santiago de Chile y en algunas ciudades de España, se quiere demostrar que los BTC son viables en nuestra región, ya que se cuenta con los materiales necesarios para su fabricación. Con esta investigación se busca incentivar la búsqueda de nuevas alternativas para el sector de la construcción, contribuyendo al cuidado del medio ambiente y generando nuevo conocimiento para el municipio de Ocaña y sus alrededores.

## **1.5 Delimitaciones**

**1.5.1 Operativas.** Para la realización de la investigación se hizo necesario la utilización de la cinva ram que está ubicada en el barrio El Llanito (coordenadas: 1401725.9m N 1079311.2m E) de la ciudad de Ocaña; así como los laboratorios de suelos y pavimentos de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña y dos laboratorios particulares: Geotec y Geociviles, ambos ubicados en la ciudad de Ocaña, donde se realizaron cada uno de los ensayos requeridos para el BTC impermeabilizado, con el acompañamiento de personal capacitado durante los ensayos.

**1.5.2 Conceptuales.** Se tuvo en cuenta los siguientes conceptos: granulometría, límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, diseño de mezcla para la producción de BTC impermeabilizado, resistencia a la compresión, absorción, durabilidad, erosión, impermeabilidad, entre otros.

**1.5.3 Geográficas.** La investigación se realizó en la ciudad de Ocaña, Norte de Santander.

**1.5.4 Temporales.** El tiempo de desarrollo de la investigación fue de 4 meses.



## Capítulo 2. Marco referencial

### 2.1 Antecedentes

- En el año 2011 en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia, se llevó a cabo la investigación titulada: “BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDA COMO MATERIAL CONSTRUCTIVO”, con el propósito de dar a conocer el uso ancestral de ciertos materiales elaborados con tierra, además de realizar ensayos para obtener productos de mayor rango de uso. Como resultado, se concluyó que los bloques de tierra comprimida no presentan fracturas inmediatas al ser sometidos a ensayos de resistencia, manteniendo su geometría (Arteaga, Humberto, & Gutiérrez, 2011).
- En el año 2011 la Universidad Politécnica de Madrid efectuó la investigación titulada: “DURABILIDAD DE LOS BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA. EVALUACIÓN Y RECOMENDACIONES PARA LA NORMALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS DE EROSIÓN Y ABSORCIÓN”, con el fin de fomentar técnicas para la construcción con tierra que favorezcan al medio rural mediante el ahorro de energía, fomentando la eco-construcción y la construcción sostenible. De esta manera lograron presentar un panorama pormenorizado de las actuales edificaciones, ayudando en dar respuesta a las dudas técnicas referentes a la durabilidad de los bloques al estar en contacto con el agua y la ausencia de normativas concretas (Cid, 2012).

- En la Universidad EAFIT, Medellín, Colombia, en el año 2014, se desarrolló la investigación titulada: “FABRICACIÓN DE BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA CON ADICIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN COMO REEMPLAZO DEL AGREGADO PÉTREO CONVENCIONAL”, con el fin de plantear nuevas alternativas que permitan dar un aprovechamiento adecuado del material resultante de excavaciones y Residuos de Construcción y Demolición (RCD) especialmente como agregado, con el fin de sustituir total o parcialmente el uso del agregado convencional. Al final concluyeron que los BTC con adición de RCD presentan las mejores características, cumpliendo además las especificaciones físicas y mecánicas establecidas por la Norma Técnica Colombiana para ser empleados en construcción (Vásquez, Botero, & Carvajal, 2014).
- En la Universidad Libre de Pereira Sede Belmonte en el año 2016 se llevó a cabo la investigación titulada: “BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA CON ADICIÓN DE RESIDUOS DE CONCRETO Y CEMENTO COMO SOLUCIÓN SOSTENIBLE PARA LA CONSTRUCCIÓN DE MUROS NO ESTRUCTURALES”, donde se presentó una solución utilizando materiales que fueran amigables con el medio ambiente, siendo además mucho más económicos respecto a los bloques usados comúnmente para la construcción de viviendas. En el desarrollo de esta investigación encontraron que el suelo con presencia de ceniza volcánica al ser mezclada con residuos de concreto, permiten obtener bloques con mejores características para reemplazar el ladrillo tradicional, eliminando los procesos de cocido que generan fuerte contaminación (Molina, 2016).

- En el año 2018 en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Medellín, Colombia, se llevó a cabo la investigación titulada: “BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA (BTC) CON ADITIVOS BITUMINOSOS”, en la cual analizaron experimentalmente bloques de tierra comprimida adicionados con emulsión asfáltica en frío en proporciones del 0%, 25%, 50%, 75% y 100%, respecto al peso del agua. Estudiaron en cada una de las muestras la absorción capilar, resistencias a la compresión y penetración de humedad con el fin de evaluar la proporción óptima de adición. Como resultado lograron determinar que los BTC adicionados con un 50% de emulsión asfáltica presentan las mejores características de protección contra la humedad garantizando la resistencia a compresión necesaria para su uso en la construcción (Cañola, Builes, Medina, & González, 2018).
- En la Universidad de Cuenca, Ecuador, se desarrolló la investigación titulada: “BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA CON AGREGADOS DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN COMO SUSTITUCIÓN DE LOS AGREGADOS TRADICIONALES EN LA CIUDAD DE SARAGURO, LOJA, ECUADOR”, con el fin de ofrecer una solución sostenible para la construcción, que permitan dar un adecuado fin a los ciclos de los materiales y disminuyendo de esta manera las altas demandas reflejadas en las extracciones en canteras, reduciendo además el volumen de residuos tanto de construcción como demolición que son dispuestos al medio ambiente. Como resultado obtuvieron que los BTC con agregados de residuos de construcción y demolición, superan a los BT con arena tradicional, específicamente en lo exigido por la norma NTC-5324, siendo

clasificados como mampuestos para muros y divisiones con una clasificación S (para medio seco) (Mejía, 2018).

## **2.2 Marco histórico**

La tierra como material de construcción tiene un uso muy antiguo casi como la misma historia de la humanidad. Se han encontrado hallazgos donde se evidencia que los primeros hombres construían en tierra, formando con ella paredes protectoras para tapar las entradas de sus cavernas. Con el tiempo, los hombres empezaron a familiarizarse con sus características y aprendieron a mejorarlas agregándole materiales, como fibras naturales, por lo que su utilización se ha dado en diversas partes del mundo (Molina, 2016).

Entre las culturas más importantes del mundo donde se utilizó la tierra o el barro crudo para edificar sus viviendas se encuentran aquellas ubicadas en lugares como Egipto, Irán, China y Mesoamérica, dado que las técnicas aplicadas de construcción se facilitaban con este material, ya que era abundante, de fácil obtención y se podía manipular al pie de cualquier obra (Roux & Espuna, 2012).

Los vestigios más antiguos que indican el uso de la tierra corresponden a fechas de 9000 años atrás, donde se encontró que esta técnica de construcción se desarrolló inicialmente con el moldeado de adobes a mano en Jericó (Cisjordania, Oriente Medio), Sumeria (Oriente Medio) y Perú. En los siglos VII y VI a.C ya se encontraban edificaciones en pie en Europa y Asia.

Algunos muros elaborados con bloques de arcilla datan del siglo IV d.C ubicadas en la Grecia moderna (Roux & Espuna, 2012).

Las diversas construcciones que se han preservado a lo largo de los siglos, permiten constatar que el uso de la tierra fue el resultado del desarrollo de técnicas de construcción que fueron surgiendo en cada civilización del pasado. Con los procesos de invasión y colonización dados a lo largo de la historia, estas técnicas fueron expandiéndose de un lugar a otro, presentándose también la combinación de estas, lo que llevo a una reorganización de las formas empleadas para la construcción. Aunque también existen similitudes lo normal es que cada técnica en cada región presente sus peculiaridades y nomenclatura propia (Neves & Borges, 2011).

En continentes como África, actualmente la construcción en tierra cruda y cocida se encuentra en plena vigencia, sin embargo, se emplean las mismas técnicas constructivas usadas desde la Antigüedad (Antes de Cristo), y que se evidencian en restos encontrados en países como Egipto, Costa de Marfil y Marruecos, como se observa en la figura 1. En el caso de América, en los países andinos la construcción en tierra se remonta desde la época precolombina, sin embargo con la llegada de los españoles, se presentó una fusión de las técnicas nativas con las traídas por los europeos (Mejía, 2018).



Figura 1. Ciudad fortificada en el valle de Draa, Marruecos. Siglo. XVIII

Fuente: Vallés, Raúl, 2014, *Arquitectura con tierra: Bioconstrucción en cooperativas de viviendas por ayuda mútua*, p. 5

Según encuestas llevadas a cabo por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), se calcula que el 30% de la población mundial, más de 1000 millones de personas, viven en construcciones en tierra. El porcentaje más alto lo presentan países en vía de desarrollo donde más del 20% de la población urbana y cerca del 50% de la rural habitan en algún tipo de edificación en tierra. Perú y la India presentan los porcentajes individuales más altos, el primero con el 60% de casas construidas en adobe o tapia, y el segundo con más de 67 millones de casas en tierra lo que representa una población cercana a los 400 millones (Vásquez, Botero, & Carvajal, 2014).

Entre las técnicas de construcción con tierra destacan el Bloque de Tierra Comprimida (BTC), así denominado porque se utilizan maquinarias semi-mecanizadas o mecanizadas para producirlos y a la vez se adicionan sustancias o materiales que mejoran sus características originales. Otro procedimiento es el denominado Tapial, el cual consiste en el apisonamiento del suelo dentro de una cimbra o encofrado para la realización de muros. Un procedimiento común en América Latina y el más rudimentario de todos, es el denominado Bahareque, que se basa en

el embarrado de una estructura de varas. Cabe destacar que existen otros procedimientos y que varían según las condiciones locales de cada lugar (Roux & Espuna, 2012).

Los desarrollos tecnológicos en el sector constructivo y el uso de nuevos materiales desencadenaron un detrimento en el uso de la tierra para la construcción de edificaciones. Los ladrillos sin embargo, siguen presentando una alta demanda en muchos proyectos de construcción (Macías, 2017).

El uso de materiales en tierra, generalmente se ha relacionado en todo el mundo con pobreza, es decir, se ha tenido la idea de que este material es sólo para los pobres, tal vez porque su mayor empleo actualmente se da en las zonas rurales de los países que mayor índice de uso tienen (Roux & Espuna, 2012).

Sin embargo, los cambios presentados en las últimas décadas en cuanto a medidas para la protección de la naturaleza y el desarrollo humano, han hecho que diversos países desarrollados, principalmente de Europa, así como Estados Unidos y Australia, estén intentado recuperar el saber relacionado con la construcción en tierra, para revalorizar e intentar ir más allá de la construcción a pequeña escala, rehabilitando las construcciones existentes por todo el mundo y experimentando nuevos prototipos y materiales mejorados (Hernández, 2016).

Gracias al conocimiento adquirido a través del tiempo sobre la construcción con tierra, se ha logrado poner en marcha dinámicas innovadoras encaminadas en generar una difusión de este tipo de técnica constructiva. Es así como a través de redes virtuales y sociales, portales y correos electrónicos, se han difundido investigaciones y demás investigaciones de un conocimiento que anteriormente estaba restringido al uso de eruditos y constructores locales (Neves & Borges, 2011).

## 2.3 Marco teórico

**2.3.1 La tierra como material de construcción.** Como material de construcción natural la tierra se caracteriza por su abundancia en la mayor parte de regiones. Suele obtenerse de los sitios donde se llevan a cabo cimientos. El nombre del material resultante depende de la combinación de distintos tipos de suelo que pueden dar como resultado denominaciones como barro, adobe, ladrillos y bloques de tierra comprimida (Vallés, 2014).

La proporción en que intervienen los componentes de la tierra (arcilla, limos, y ocasionalmente agregados como gravas y piedras) determinan las propiedades físicas y mecánicas resultantes de los bloques, por lo que se hace necesario dar importancia a las distribuciones hechas con cada material (Yuste, 2018).

Clasificación de la tierra de acuerdo al tamaño de sus componentes según lo establecido en la I.N.V. E-102: Descripción e identificación de suelos (procedimiento visual y manual), del Instituto Nacional de Vías (INVIAS):

- Gravas: Partículas de 4.75 – 75 mm.
- Arenas: Partículas de 0,074 – 4.75 mm.
- Limos: Partículas de 0,005 – 0,074 mm.
- Arcillas: Partículas de menos de 0,005 mm.

Aunque las características del suelo en construcción depende de la finalidad que esta posea, generalmente se acepta que la extracción debe realizarse de tal forma que no existan restos vegetales, y las proporciones oscilan entre un 15-20% de arcilla, 18-35% de limos, 40-



65% de arenas y menos del 15% de gravas. Estas proporciones son determinadas mediante ensayos granulométricos, además de los de plasticidad. Con ello se determinará si el suelo posee las cualidades que permitan aplicar determinada técnica. (Yuste, 2018).

Las ventajas del uso del uso del suelo están vinculadas a la fácil integración que presenta este material con el medio ambiente, la reducción de costos de transporte y de desechos industriales, bajos consumos de energía, así como ventajas en cuanto a aislamiento térmico (Cid, 2012).

Si el material no cumple con alguna de las características necesarias para su uso en obra, puede recurrirse a estabilizantes que permitan obtener las propiedades necesarias. Para ello se emplean métodos físicos o químicos, clasificándose además como procesos homogéneos o heterogéneos. Cuando se habla de homogéneos se está indicando la aplicación del material faltante, por ejemplo, si el suelo es muy cohesivo suele añadirse arena, por el contrario si es poco cohesivo se añade arcilla. En cuanto a los procesos heterogéneos, estos buscan dar estabilidad al suelo empleando sustancias impermeabilizantes, que den consolidación o brinden fricción (Cid, 2012; Arteaga, Humberto, & Gutiérrez, 2011).

**2.3.1.1 Estabilización por consolidación.** Hace referencia a productos que son adicionados al suelo para enlazar las partículas de limos y arenas manteniéndolas unidas. Un estabilizante de uso común es la cal, ya que además de unir las partículas del suelo, aumenta su resistencia ante los esfuerzos de compresión y cortante, además de disminuir la absorción del agua, sin modificar la porosidad ni disminuir la adherencia (Arteaga, Humberto, & Gutiérrez, 2011).

**2.3.1.2 Estabilización con fibras.** Estos se usan para controlar los efectos de dilatación y retracción o contracción. Consiste en fibras que forman redes al unirse, siendo éstas de origen vegetal y animal. Algunas fibras comunes son las virutas de madera, pajas, diferentes gramíneas, cáscaras de coco, tallos de maíz y fibras de fique, así como lanas de ovejas, crines de caballo y entre otros animales. Con estas fibras también se busca impedir la aparición de fisuras. (Arteaga, Humberto, & Gutiérrez, 2011).

**2.3.1.3 Estabilización con impermeabilizantes.** Son usados para aislar los excesos de agua productos de los fenómenos de capilaridad, así como las aguas provenientes de las lluvias. Estos impermeabilizantes actúan como una barrera o una capa sobre las arcillas, regulando el paso del agua y evitando la expansión del material. Entre los impermeabilizantes más comunes se encuentran las grasas, aunque se debe garantizar que estas no influyan en el comportamiento del suelo (Arteaga, Humberto, & Gutiérrez, 2011).

**2.3.2 Bloques de tierra comprimida.** Conocidos como BTC, hacen referencia a elementos de albañilería o de construcción fabricados con tierra (suelo) y que mediante un debido proceso de compactación por compresión o prensado, dan como resultado bloques para la construcción de viviendas. Estos bloques suelen conformarse de diferentes proporciones de tierra así como de aditivos químicos, generalmente aglomerantes como el cemento o cal. De esta manera se mejoran las propiedades del BTC a los efectos del medio ambiente y se aumenta su resistencia a la compresión. Este bloque también suele ser denominado como bloque suelo-cemento, y se

fabrica en diferentes formas y tamaños, siendo usual el tipo macizo y el que presenta huecos, como se observa en la figura 2 (Neves & Borges, 2011; Cid, 2012).



Figura 2. Bloque de Tierra Comprimida (BTC) con huecos

Fuente: Neves & Borges Faria, 2011, *Técnicas de construcción con tierra*. p. 35

Antes de fabricar el bloque de tierra comprimida se debe cernir el material y usar un agente estabilizador. Después mediante una máquina de prensado, usualmente conocida como Cinva Ram, se comprimen y dan forma a los bloques. En la figura 3 se observa un ejemplo de esta máquina.



Figura 3. Cinva Ram Tradicional

Fuente: Neves & Borges Faria, 2011, *Técnicas de construcción con tierra*. p. 38

**2.3.2.1 Materiales para la fabricación de bloques de tierra comprimida.** Aunque son variadas las investigaciones llevadas a cabo para la fabricación de bloques de tierra comprimida en la mayoría se recomienda un uso de arena superior al 50%, puesta esta permite dar estructuración interna al bloque. Por otra parte la arcilla cumple funciones de aglutinación o cohesión, aunque debe usarse en porcentaje menores. Finalmente el estabilizante permitirá dar la resistencia necesaria y ayudar a impermeabilizar los bloques (Neves & Borges, 2011).

Una de las recomendaciones para la conformación de bloques de tierra comprimida con adición de cemento es que el material a usar pase en su totalidad por el tamiz de diámetro 4,75 mm. La arena debe ser heterogénea y representar entre el 50 y el 95% del material. Poseer un límite líquido menor al 45% y un índice de plasticidad menor al 18%, ya que esto facilita la estabilización. Finalmente el estabilizante (cemento) debe usarse en un porcentaje comprendido entre 5 y 10% (Neves & Borges, 2011).

**2.3.2.2 Proceso de fabricación de bloques de tierra comprimida.** Para llevar un orden en el proceso de fabricación de los BTC se suelen ejecutar distintas etapas o fases por separado. La primera consiste en la identificación y preparación del material mediante ensayos de laboratorio y procesos de mecanización para obtener el tamaño adecuado de los materiales. En la segunda etapa se realiza el mezclado de los materiales además de incorporarse el agua necesaria. La tercera etapa consiste en el prensado de los bloques. La cuarta etapa en el secado, ya sea en ambientes controlados o directamente en el ambiente circundante. Finalmente se realiza el almacenamiento de los bloques donde debe garantizarse su integridad antes de uso en obra (Cid, 2012; Seisdedos, 2010; Arteaga, Humberto, & Gutiérrez, 2011).

**2.3.2.3 Importancia del proceso de estabilización del bloque de tierra comprimida.** La estabilización de los BTC se lleva a cabo para mejorar la resistencia de estos y contrarrestar los efectos de la humedad. Al utilizarse estos estabilizantes no se requiere una cocción de los bloques, ya que estos después del prensado y secado están listo para su uso, con lo que se reducen las emisiones contaminantes. Generalmente los bloques se fabrican con material obtenido de las mismas obras (Seisdedos, 2010).

**2.3.3 Ensayos aplicados a los bloques de tierra comprimida.** Los BTC requieren la realización de ensayos que permitan garantizar que cumplen con la resistencia necesaria y una calidad adecuada. En Colombia se aplica la NTC 5324, donde se indican que deben llevarse como mínimo los ensayos descritos a continuación (Arteaga, Humberto, & Gutiérrez, 2011).

**2.3.3.1 Análisis mecánico de los componentes mediante cribado.** Consiste en establecer mediante un proceso de tamizado o cribado los rangos de tamaño de las partículas que conforman el suelo o tierra. Se realiza en suelos con partículas mayores a 0,075 mm. En la figura 4 se observa la serie de tamices usada en laboratorio para este proceso. Estas pueden vibrarse mediante movimientos manuales o por medio de dispositivos eléctricos, generando oscilaciones que llevan al material hacia el interior de los tamices hasta ser retenidas en alguna de ellas (Mejía, 2018).



Figura 4. Tamices para ensayo de granulometría

Fuente: Mejía Pacheco, 2018, *Bloques de tierra comprimida con agregados de residuos de construcción y demolición como sustitución de los agregados tradicionales en la ciudad de Saraguro, Loja, Ecuador*. p. 56

**2.3.3.2 Ensayo de contenido de materia orgánica.** Con este ensayo se busca determinar la composición del material en lo referente a sus agregados y materia orgánica, empleando procesos de decantación y precipitación (Mejía, 2018).

**2.3.3.3 Ensayo de contenido de humedad del suelo y arena.** Para este ensayo se utilizan tres recipientes metálicos previamente pesados y se adicionan 40 gramos de suelo en su estado natural. Posteriormente se coloca en un horno de convección a temperatura constante durante 24 horas. Finalizado este tiempo se pesan los recipientes para determinar la cantidad de agua evaporada (Mejía, 2018).

**2.3.3.4 Ensayo de consistencia del suelo.** Con estos ensayos se pretende obtener los estados de consistencia del material a emplear para los bloques de tierra comprimida. Dichos estados fueron propuestos por el científico sueco Albert Atterberg, quien desarrolló un método para describir cuantitativamente el efecto de la variación de humedad en la consistencia de los suelos de granos finos, fijando para ellos límites definidos (límites de Atterberg), aunque arbitrarios, para cada estado. Estos ensayos permiten conocer la plasticidad del material separando cada límite en cuatro estados de consistencia como se ilustra en la figura 5 (Sowers & Sowers, 1972).

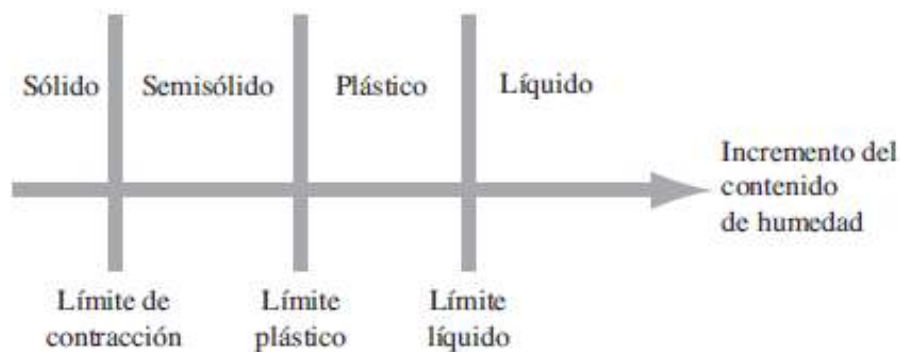


Figura 5. Límites de Atterberg

Fuente: Das, 2015, *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. p. 64

El estudio de los límites de consistencia, especialmente el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, brindan una importante y basta información sobre el comportamiento físico – mecánico de material estudiado. La relación existente entre el límite líquido y el índice de plasticidad ofrece una gran información sobre la composición granulométrica, comportamiento, naturaleza y calidad del suelo (Galíndez, 2007).

**2.3.3.5 Ensayo de absorción y capilaridad.** Con estos ensayos se busca obtener la cantidad de agua que absorbe el bloque de tierra comprimida en un tiempo determinado para obtener su coeficiente de absorción (Cb). Con el procedimiento de absorción se sumerge completamente el bloque en el agua, mientras que en el de capilaridad los bloques son colocados en un recipiente con una lámina de agua hasta cierta altura (Mejía, 2018).



Figura 6. Ensayo de capilaridad

Fuente: Mejía Pacheco, 2018, *Bloques de tierra comprimida con agregados de residuos de construcción y demolición como sustitución de los agregados tradicionales en la ciudad de Saraguro, Loja, Ecuador*. p. 63

**2.3.3.6 Ensayos de durabilidad.** Consisten en dos ensayos, el primero se denomina por pulverizado de agua a presión o ensayo de erosión acelerada donde los bloques son sometidos a la acción del agua a presión durante un tiempo determinado y se registran los daños causados. El segundo ensayo se denomina por caída de agua, en la que se libera una corriente de agua durante un tiempo determinado a una altura constante como se muestra en la figura 7. Al final se mide la profundidad del orificio generado por el agua (Cid, 2012).



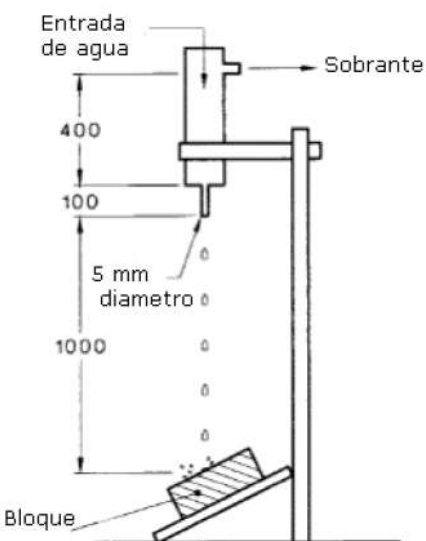


Figura 7. Esquema del ensayo de erosión por caída de agua (dimensiones en mm.)

Fuente: Cid Falceto, 2012, *Durabilidad de los bloques de tierra comprimida. Evaluación y recomendaciones para la normalización de los ensayos de erosión y absorción*. p. 59

**2.3.3.7 Ensayo de resistencia a la compresión seca.** Con este ensayo se determina la carga máxima que puede ser aplicada a los bloques antes de que presenten roturas. El procedimiento consiste en secar los bloques a ensayar en un horno. Pasado el tiempo necesario se sacan del horno y se dejan secar mínimo por 2 horas. Se pesan y miden sus dimensiones, y finalmente se les aplican cargas en las prensas destinadas para tal fin (Mejía, 2018).

## 2.4 Marco conceptual

**2.4.1 Durabilidad.** Hace referencia a la capacidad que presenta ciertos elementos para resistir las condiciones físicas y químicas a las cuales serán expuestas durante su puesta en servicio. La durabilidad puede referirse a términos físicos, químicos y biológicos. En el primer

caso hace referencia a la exposición de fenómenos físicos ocasionados por la lluvia y la abrasión. En la segunda el deterioro se debe a reacciones químicas, y en el biológico a la acción de agentes orgánicos (Cid, 2012).

#### ***2.4.1.1 Factores que afectan la durabilidad de los materiales utilizados para BTC***

Son muchas los factores que pueden ocasionar un efecto negativo en la durabilidad de los BTC, pero entre ellos destacan: las propiedades del material, los estabilizantes usados, la compactación, las condiciones de congelación y ataques químicos por sales, la superficie o textura del material, los revestimientos o acabados, deterioros estructurales, y los ciclos de humectación y secado (Cid, 2012).

**2.4.2 Succión.** Indica la velocidad con la que el bloque absorberá cierto líquido, generalmente agua (Cid, 2012).

**2.4.3 Estabilizadores.** Son materiales con los que se busca modificar ciertas propiedades del suelo (tierra) para mejorar su durabilidad. Su uso está determinado en gran parte por el contenido de arcilla presente en el suelo. Los estabilizantes pueden ser naturales, como el caso de estiércoles, aceites y extractos de plantas, o químicos como en el caso del cemento, la cal y materiales bituminosos. (Mejía, 2018).

**2.4.4 Suelo.** Este término designa a la superficie de la corteza terrestre que compone un sustrato para el desarrollo de la vida y los procesos que se desencadenan en ella. Los fenómenos físicos, químicos y biológicos que se presentan generan una diversidad de materiales con características determinadas que brindan una heterogeneidad en las propiedades resultantes (Yepes & Bedoya, 2012).

**2.4.5 Diseño de mezclas.** Se refieren al proceso establecido para llevar a cabo el mezclado de distintos materiales con el fin de obtener un nuevo material con unas propiedades determinadas para su uso en construcción (Yepes & Bedoya, 2012).

**2.4.6 Vivienda sostenible.** Las viviendas sostenibles son aquellas donde se han implementado alternativas de nuevos materiales y que representan un saldo positivo para el medio ambiente, al reducir el consumo de agua, energía y reducción la emisión de agentes contaminantes (Molina, 2016).

## **2.5 Marco legal**

La continuidad de esta investigación dependió de la congruencia que se mantuvo con respecto a los requisitos legales y normativos mencionados a continuación:

Norma Técnica Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-10), creada por la ley 400 de 1997 (Modificada Ley 1229 de 2008/ modificada ley 945 de 2017).

Ley 603 de 2000, sobre la legalización del software para proteger la propiedad intelectual y evitar el incremento de piratería en Colombia.

Ley 1796 de 2016 o Ley de vivienda segura, en la cual se establecen medidas enfocadas a la protección del comprado de vivienda.

NTC-5324, donde se definen las características generales que deben cumplir los bloques macizos de suelo cemento para muros y divisiones. Describe los ensayos propios para determinar dichas características.

NTC-3495, donde se indica el método y los procedimientos para la elaboración y ensayo de muretes de mampostería y los procedimientos para determinar la resistencia a la compresión de la mampostería.

- Normas del Instituto Nacional de Vías (I.N.V):

I.N.V. E – 102 – 13, Descripción e identificación de suelos (procedimiento visual y manual).

I.N.V. E – 122 – 13, Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado.

I.N.V. E – 123 – 07, Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos.

I.N.V. E – 125 – 13, Determinación del límite líquido de los suelos.

I.N.V. E – 126 – 13, Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos.

I.N.V. E – 128 – 13, Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y del llenante mineral, empleando un picnómetro con agua.

Norma Técnica Colombiana NTC 5324: Bloques de suelo cemento para muros y divisiones. Definiciones. Especificaciones. Métodos de ensayo. Condiciones de entrega.

## **Capítulo 3. Diseño metodológico**

### **3.1 Tipo de investigación**

El presente documento correspondió a una investigación cuantitativa de tipo experimental, donde se realizaron ensayos de campo y laboratorio que permitieron la fabricación de los bloques de tierra comprimida BTC, con el fin de comparar su comportamiento y los costos de su ejecución respecto al ladrillo común utilizados en las obras de la ciudad de Ocaña.

### **3.2 Población**

La población consistió en los bloques de tierra comprimida (BTC) de dimensiones 15x10x30 cm impermeabilizados con brea asfáltica triturada en su estado sólido.

### **3.3 Muestra**

Se trabajó con un muestreo intencional u opinático, seleccionando los materiales que permitieron la fabricación de los bloques de tierra comprimida (BTC) del sector de la ciudad donde la composición del suelo (tierra) cumplió con las características buscadas. Se estableció

para la investigación un número mínimo de 42 bloques de tierra comprimida para ser fabricados, y posteriormente fueron ensayados en laboratorio con el fin de determinar sus características físicas y mecánicas

### **3.4 Instrumentos para la recolección de información**

Las técnicas de recolección de información utilizadas en el desarrollo de este proyecto se realizaron mediante el uso de fuentes primarias, como lo es el uso de internet y los formatos de toma de datos y análisis disponibles en los laboratorios donde se efectuaron los ensayos a los bloques de tierra comprimida (BTC). Este proceso se hizo acorde a los lineamientos establecidos por la Norma Sismo Resistente del 2010 (NSR-10), las Normas Técnicas Colombianas (NTC) y el Instituto Nacional de Vías (INVIAS).-

### **3.5 Análisis de información**

El objetivo principal de este proyecto estuvo enfocado en el análisis de las características físico-mecánicas y de absorción del bloque de tierra comprimida con dimensiones 15x10x30 cm impermeabilizado con brea asfáltica triturada en su estado sólido.

Para lograr tal propósito se plantearon 6 etapas:

La primera etapa consistió en caracterizar los materiales a emplear en la fabricación de los bloques de tierra comprimida, para ello se realizaron muestreos de suelos en dos sectores del municipio de Ocaña donde actualmente se extrae material para la fabricación de ladrillos. Estas muestras se llevaron al laboratorio, donde se efectuaron los ensayos granulométricos y de plasticidad, acorde a las normas del Instituto Nacional de Vías, que permitieron determinar si cumplían con las características necesarias para fabricar bloques de tierra comprimida según lo recomendado por las investigaciones llevadas hasta la fecha con este tipo de bloques.

En la segunda etapa, se realizó el diseño de mezcla que permitió determinar las dosificaciones de los materiales para la realización de los bloques de tierra comprimida. Se utilizaron tres porcentajes de brea asfáltica triturada: 3%, 6% y 9% respecto al peso total del bloque. Realizado el diseño de mezcla, se fabricaron 45 bloques de tierra comprimida con dimensiones 15x10x30 cm y 7 cm de diámetro cada uno en la cinva ram ubicada en el barrio el Llanito de la ciudad de Ocaña. Estos bloques fueron almacenados a temperatura ambiente y protegidos bajo una cubierta o techo durante un período mayor a 15 días y se mantuvieron roseándoles agua para ser posteriormente sometidos a ensayos de laboratorio.

En la tercera etapa, se sometieron 9 bloques de tierra comprimida al ensayo de absorción, 3 por cada porcentaje de brea asfáltica triturada, de esta forma se obtuvo el coeficiente de absorción de cada bloque y si cumplía o no con los parámetros exigidos en la NTC-5324, donde se indican las características generales que deben cumplir este tipo de bloques.

En la cuarta etapa se realizaron ensayos de compresión a 9 bloques de tierra comprimida, tres por cada porcentaje de brea asfáltica triturada, basados en la NTC 5324, la cual indica el método y los procedimientos para obtener la resistencia a la compresión.



En la quinta etapa se realizaron dos ensayos diferentes para determinar la durabilidad y/o erosión de los bloques. El primero de ellos fue el ensayo de abrasión establecido en la NTC 5324. El segundo fue un ensayo de erosión a la sombra y a la intemperie para observar la variación de humedad que presentan los bloques al estar expuestos a estas condiciones. Los resultados se compararon con lo exigido en la NTC-5324.

Por último, en la sexta etapa, se compararon las características y los costos de ejecución de los bloques de tierra comprimida BTC fabricados respecto al ladrillo común utilizado en la ciudad de Ocaña, Norte de Santander.

## Capítulo 4. Resultados

### **4.1 Análisis de las características físico-mecánicas y de absorción del bloque de tierra comprimida con dimensiones 15x10x30 cm impermeabilizado con brea asfáltica triturada en su estado sólido**

Los Bloques de Tierra Comprimida BTC son considerados como una alternativa de construcción sostenible, ya que permiten el aprovechamiento de materiales con un menor impacto sobre el medio ambiente al no producir contaminantes en ninguna de las fases para su fabricación.

Con el fin de mejorar las características de estos bloques, es común agregar cemento para aumentar su resistencia, obteniéndose así un bloque que mucho más resistente, sin embargo, y como se indicó en los antecedentes de esta investigación, en las últimas décadas se han incorporado otros materiales en los bloques, entre ellos materiales bituminosos, como la brea asfáltica.

Esta investigación se realizó con el propósito de analizar las características físico-mecánicas y de absorción de bloques de tierra comprimida obtenidas al adicionar brea asfáltica triturada en su estado sólido, para lo cual fue necesario el desarrollo de los objetivos específicos descritos a continuación:

#### 4.1.1 Caracterizar cada uno de los materiales utilizados para la realización de los BTC con dimensiones 15x10x30 cm y 7 cm de diámetro.

Para iniciar la selección del material a utilizar en la investigación, se tomó como referente las recomendaciones dadas por diversos estudios referentes al uso de Bloques de Tierra Comprimida, en las que sugieren emplear suelos con las siguientes proporciones: 30-55% de agregados finos (limos y arcillas), 40-65% de arenas, y menos del 15% de gravas. También sugieren utilizar suelos con límite líquido menor al 45% y un índice de plasticidad menor al 18%, ya que esto facilita su estabilización (Yuste, 2018; Vallés, 2014; Neves & Borges, 2011).

Con el fin de facilitar la extracción del material, se decidió tomar muestras de suelos en dos sectores del municipio de Ocaña donde actualmente se extrae material para la fabricación de ladrillos. Estos sectores son El Limonal (coordenadas: 1405991.5m N 1079712.8m E) y El Hatillo (coordenadas: 1404928.1m N 1080201.4m E), ambos cercanos al casco urbano de la ciudad de Ocaña, Norte de Santander.



Figura 8. Ubicación de sitios de obtención de material

Fuente: Google Earth modificado.

Las muestras de suelo fueron debidamente extraídas en campo, por medio de un apique del cual se obtuvo material inalterado y alterado siguiendo las indicaciones establecidas en la I.N.V. E-103: Conservación y transporte de muestras de suelos, y la I.N.V. E-105: Toma de muestras inalteradas de suelo en superficie (Ver Apéndice A).

Las muestras de suelo obtenidas fueron ensayadas en el laboratorio de Suelos y Pavimentos de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña con sede en INVIAS. Los ensayos desarrollados se efectuaron de acuerdo a las normas del Instituto Nacional de Vías. En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 1

*Resultados de ensayos de laboratorio efectuados en las muestras de suelo*

Sector	Descripción	Límite líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice de plasticidad (%)	Peso unitario Seco	Gravedad específica	Clasificación SUCS	Agregados finos (%)	Arena (%)	Gravas (%)
Limonal	Arena limosa de plasticidad media con Tamaño Máximo de Partícula de 1/2"	32,15	26,04	6,11	1,47	2,64	SM	47,27	50,7	2,03
Hatillo	Limo arenoso de plasticidad media con Tamaño Máximo de Partícula de 3/8"	45,68	22,98	22,71	1,67	2,65	ML	51,11	48,43	0,47

Nota: Ensayos realizados por los investigadores. Autores, 2020.

Como se observa en la tabla 1, los dos sectores presentan unas distribuciones granulométricas que cumplen con lo recomendado para la elaboración de bloques de tierra comprimida, sin embargo, en los valores de plasticidad, solo las muestras del sector de El Limonal (coordenadas: 1405991.5m N 1079712.8m E) cumplen con lo recomendado, al presentar un límite líquido menor a 45% y un índice de plasticidad menor al 18%, por lo que se determinó extraer de este sector el material para la fabricación de los bloques.

En el Apéndice A se muestran los formatos y resultados de los ensayos de laboratorio desarrollados en este objetivo, así como su respectivo registro fotográfico.

#### **4.1.2 Realizar el diseño de mezcla para la obtención e identificación de la dosificación de los materiales necesarios para la realización de los BTC con dimensiones 15x10x30 cm y 7 cm de diámetro**

El diseño de mezcla estuvo basado en lo recomendado en los trabajos de investigación titulados: Técnicas de construcción con tierra, y Bloque de tierra comprimida como material constructivo, en los cuales recomiendan emplear cemento para garantizar la integridad de los bloques en un porcentaje superior al 8%. Bajo esta recomendación se decidió utilizar un porcentaje de cemento del 10% en cada bloque (Neves & Borges, 2011; Cid, 2012).

Para evitar la presencia de materiales con tamaños superiores a los sugeridos para estos bloques, se tamizó el suelo por una malla de diámetro aproximado de 4,75 mm (No.4). Por otra parte, la brea asfáltica empleada fue triturada manualmente y posteriormente cernida por una malla de 1 mm de diámetro.

Para determinar el porcentaje de brea asfáltica triturada a emplear en los bloques de tierra comprimida, se siguieron las sugerencias dadas en la investigación titulada: Bloques de tierra comprimida (BTC) con aditivos bituminosos. Aunque en esta se utilizan emulsiones asfálticas en los bloques, se tomó la indicación de calcular el porcentaje de adición de acuerdo al peso promedio de los bloques sin ningún tipo de material añadido (cemento o brea).

Para ello, se realizó la fabricación de 3 bloques de tierra comprimida sin cemento y sin brea, obteniéndose un valor promedio de 5,8 kilos. Este peso sirvió de base para calcular las cantidades de cemento, brea asfáltica triturada, suelo y agua necesarios para conformar el bloque.

En las tabla de 2 a 4 se muestra la proporción de los materiales utilizados en cada mezcla para los bloques de tierra comprimida BTC, así como la cantidad de materiales utilizados por mezcla (por cada porcentaje de brea asfáltica triturada), y por bloque de tierra comprimida.

Tabla 2

*Porcentaje de los materiales constituyentes de los bloques de tierra comprimida BTC*

<b>Material</b>	<b>Mezcla 1</b>	<b>Mezcla 2</b>	<b>Mezcla 3</b>
Cemento (%)	10%	10%	10%
Brea asfáltica triturada (%)	3%	6%	9%
Tierra (%)	74%	71%	68%
Agua (%)	13%	13%	13%

Nota. Autores, 2020.

Tabla 3

*Cantidad total de materiales en cada mezcla*

<b>Material</b>	<b>Mezcla 1</b>	<b>Mezcla 2</b>	<b>Mezcla 3</b>	<b>Total</b>
Cemento (kg)	8,7	8,7	8,7	26,1
Brea asfáltica triturada (kg)	2,61	5,22	7,83	15,66
Tierra (kg)	64,38	61,77	59,16	185,31
Agua (litros)	11,31	11,31	11,31	33,93

Nota. Autores, 2020.

Tabla 4

*Cantidad total de materiales en cada bloque de tierra comprimida BTC*

<b>Material</b>	<b>Mezcla 1</b>	<b>Mezcla 2</b>	<b>Mezcla 3</b>
Cemento (kg)	0,58	0,58	0,58
Brea asfáltica triturada (kg)	0,174	0,348	0,522
Tierra (kg)	4,292	4,118	3,944
Agua (litros)	0,754	0,754	0,754
Peso promedio	5,8	5,8	5,8

Nota. Autores, 2020.

Bajo este diseño de mezcla se fabricaron 45 bloques de tierra comprimida BTC, 15 bloques por cada porcentaje de brea asfáltica triturada, para ser sometidos en los ensayos detallados en los siguientes objetivos específicos. Los ladrillos fueron curados durante 30 días adicionando agua mediante aspersores manuales.

En el Apéndice B se muestra el formato de cálculo realizado en el diseño de mezcla, y el registro fotográfico del proceso de fabricación de los bloques de tierra comprimida BTC.

Dado que en Colombia no existe una normativa específica para los bloques de tierra comprimida BTC, se hizo necesario realizar los ensayos descritos en la NTC 5324: Bloques de suelo cementos para muros y divisiones, definiciones, especificaciones, métodos de ensayos, condiciones de entrega. Lo establecido en esta norma se considera válido para bloques de tierra comprimida.

De acuerdo a la NTC 5324, existen cinco categorías de bloques, los cuales se describen en la tabla 5.

Tabla 5

*Clasificación de los bloques de suelo*

Categoría	Descripción
O	Bloques ordinarios destinados a estar recubiertos por una protección cualquiera
P	Bloques de paramento destinados a quedar expuestos
S	Bloques destinados a ser utilizados en medio seco
H	Bloques destinados a ser utilizados en medio húmedo
A	Bloques aptos a ser expuestos a riesgos de abrasión resultantes de la actividad humana

Nota. Autores, 2020.

Debido a que la clasificación de los bloques está condicionada al medio en el cual serán utilizados, se supondrán como bloques de categoría O, ya que en Colombia es común recubrir los bloques con morteros u otros materiales.



#### **4.1.3 Realizar ensayos de absorción que permitan identificar el grado de impermeabilidad del BTC con dimensiones 15x10x30 cm y 7 cm de diámetro**

Este ensayo fue ejecutado según lo establecido en la NTC 5324 Bloques de Suelo Cemento para muros y divisiones, definiciones, especificaciones, métodos de ensayo, condiciones de entrega. Para realizar este ensayo fue necesario disponer de los siguientes equipos e instrumentos:

- Balanza de 0,01 gramos.
- Horno.
- Recipientes para agua potable.
- Frasco de 250 ml para puesta de nivel de agua constante.
- Soportes de igual altura para sostener los bloques de tierra comprimida.
- Regla.
- Cronómetro.

Dada la imposibilidad de utilizar los equipos e implementos de los laboratorios de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, a causa de la emergencia sanitaria ocasionada por el Covid-19, se hizo necesario realizar el secado de los bloques y su posterior ensayo en el laboratorio Geociviles S.A.S, el costo del ensayo fue asumido por los estudiantes.

El procedimiento efectuado fue el siguiente:

- Se pesaron los bloques en la balanza y se enumeró a cada uno de ellos (Ver figura 9).



Figura 9. Peso de los bloques en su condición natural

Fuente: Autores, 2020.

- Se secaron los bloques en el horno durante 24 horas (Ver figura 10).



Figura 10. Secado de los bloques en el horno

Fuente: Autores, 2020.

- Retirados del horno, los bloques se dejaron enfriar por 6 horas (Ver figura 11).



Figura 11. Tiempo de enfriamiento de los bloques

Fuente: Autores, 2020.

- Transcurrido el tiempo para el enfriamiento de los bloques, se pesaron nuevamente ( $P_0$ ) (Ver figura 12).



Figura 12. Registro del peso seco de los bloques

Fuente: Autores, 2020.

- Después se llenó el recipiente con agua, de tal manera que los soportes colocados en el recipiente permitieran sumergir una cara del bloque a una altura de 5 mm. Se marcó este nivel de agua en los bloques (Ver figura 13).



Figura 13. Inmersión parcial de los bloques en el agua

Fuente: Autores, 2020.

- A medida que transcurría el tiempo del ensayo se fue adicionando agua para mantener el mismo nivel de agua en el recipiente (Ver figura 14).



Figura 14. Adición de agua durante el ensayo para mantener el nivel de agua

Fuente: Autores, 2020.

- Cada ensayo para cada bloque tuvo una duración de 10 minutos. Transcurrido este tiempo se retiraron los bloques, se limpiaron con un trapo húmedo, y fueron pesados en la balanza ( $P_1$ ) (Ver figura 15).



Figura 15. Registro del peso final de los bloques

Fuente: Autores, 2020.

Se ensayaron un total de 9 bloques de tierra comprimida BTC, 3 por cada porcentaje de brea asfáltica triturada. Con los datos:  $P_0$  y  $P_1$ , se calculó el coeficiente de absorción de cada bloque aplicando la ecuación 1, los resultados se muestran en la tabla 6.

$$C_b = \frac{100(M)}{S\sqrt{t}} \quad \text{Ecuación 1.}$$

Donde:  $M$ , es la masa del agua en gramos absorbida por el bloque durante el ensayo (diferencia de  $P_1$  y  $P_0$ );  $S$ , es la superficie de la cara del bloque sumergida en centímetros cuadrados; y  $t$ , es la duración de inmersión del bloque en minutos.

Tabla 6

*Resultados ensayo de absorción en los bloques de tierra comprimida BTC*

Brea asfáltica triturada (%)	N° Bloque	Peso natural de los bloques (kg)	Peso seco de los bloques P <sub>0</sub> (kg)	Peso de los bloques después del ensayo P <sub>1</sub> (kg)	Masa de agua absorbida (gr)	Tiempo inmersión (min)	Área superficie sumergida (cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de absorción
3	1	6035	5704,1	5851,3	147,2	10	300	15,5
3	2	5875	5419,3	5559,7	140,4	10	300	14,8
3	3	5855	5417,4	5554,4	137	10	300	14,4
6	1	5840	5396,5	5542,3	145,8	10	300	15,4
6	2	5790	5350,8	5498,3	147,5	10	300	15,5
6	3	5840	5435,6	5603	167,4	10	300	17,6
9	1	5825	5389,3	5527,6	138,3	10	300	14,6
9	2	5810	5436,4	5561,4	125	10	300	13,2
9	3	5685	5288,2	5417	128,8	10	300	13,6

Nota. Autores, 2020.

Dado que el coeficiente de absorción indica la capacidad del bloque de absorber humedad, se busca que este valor sea lo más bajo posible para garantizar su peso y estabilidad, por tanto, los resultados de la tabla 6 muestran que los bloques que presentan mejor comportamiento ante el agua son los que tienen una adición del 9% de brea asfáltica triturada.

La NTC 5324 define la clasificación mostrada en la tabla 7 de acuerdo al coeficiente de absorción obtenido en los bloques:

Tabla 7

*Clasificación de los bloques de acuerdo al coeficiente de absorción*

Coefficiente de absorción	Descripción
$C_b \leq 20$	Bloques débilmente capilares
$20 > C_b \leq 40$	Bloques poco capilares

Nota. Autores, 2020.

En base a la clasificación de la tabla 7, los bloques de tierra comprimida BTC ensayados corresponden en su totalidad a la descripción de bloques débilmente capilares. En el Apéndice C se muestra el formato entregado por el laboratorio Geociviles S.A.S.

#### **4.1.4 Determinar la capacidad de carga según los ensayos físicos mecánicos del BTC impermeabilizado**

El ensayo de compresión fue ejecutado según lo establecido en la NTC 5324: Bloques de Suelo Cemento para muros y divisiones, definiciones, especificaciones, métodos de ensayo, condiciones de entrega. Para realizar este ensayo fue necesario disponer de los siguientes equipos e instrumentos:

- Prensa Hidráulica para ensayos de compresión
- Balanza con capacidad de 20 kg.
- Regla graduada.

Dada la imposibilidad de utilizar los equipos e implementos de los laboratorios de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, a causa de la emergencia sanitaria ocasionada por el Covid-19, se hizo necesario realizar este ensayo en el laboratorio GEOTEC, ubicado en la ciudad de Ocaña, Norte de Santander. El costo de los ensayos fue asumido por los estudiantes.

El procedimiento efectuado fue el siguiente:

- Se preparó la mezcla de mortero de proporción 1:5 (cemento:arena), ver figura 16.





Figura 16. Elaboración de mezcla mortero

Fuente: Autores, 2020.

- La mezcla de mortero fue esparcida en una capa de 5 mm sobre dos caras de los bloques en la posición en la que se recomienda utilizar en obra. Para garantizar el endurecimiento de la mezcla se dejaron almacenados en el laboratorio por un período de 48 horas, ver figuras 17 y 18.



Figura 17. Conformación de capa de mortero en los bloques de tierra comprimida

Fuente: Autores, 2020.



Figura 18. Almacenamiento de los bloques con el mortero antes del ensayo de compresión

Fuente: Autores, 2020.

- Transcurrido este tiempo, los bloques fueron ubicados en la prensa hidráulica aplicando una velocidad de carga de 0,02 mm/s hasta su rotura, ver figura 19.



Figura 19. Realización del ensayo de compresión

Fuente: Autores, 2020.

En la tabla 8 se muestran los resultados obtenidos en el ensayo de compresión para cada uno de los bloques de tierra comprimida:

Tabla 8

*Resultados ensayo de compresión*

Brea asfáltica triturada (%)	N° Bloque	Edad bloque (días)	Resistencia (MPa)
3	1	75	0,668
3	2	75	0,609
3	3	75	0,612
6	1	75	0,731
6	2	75	0,759
6	3	75	0,688
9	1	75	0,644
9	2	75	0,562
9	3	75	0,699

Nota. Autores, 2020.

En la NTC 5324 se establece una clasificación de los bloques suelo cemento de acuerdo a su resistencia mínima a la compresión, como se muestra en la tabla 9. Se tomará esta clasificación por ser la norma base de los ensayos.

Tabla 9

*Clasificación de los bloques de acuerdo a su resistencia a la compresión*

Bloque	BSC 20	BSC 40	BSC 60
Resistencia mínima a la compresión, en Mpa	2	4	6

Nota. Autores, 2020.

De acuerdo a los resultados de la tabla 8, y la clasificación de la tabla 9, se evidencia que ninguno de los bloques ensayados cumple con los mínimos requerimientos de resistencia a la compresión. Aunque la función de estos bloques es servir de elementos divisorios no estructurales, el cumplir con los requerimientos establecidos en la NTC 5324 es indispensable para ser considerados como adecuados para su uso en construcciones.

En el Apéndice D se muestran los resultados de laboratorio entregados por la empresa GEOTEC.

#### **4.1.5 Efectuar ensayos de durabilidad y/o erosión que permita determinar la vida útil del BTC impermeabilizado con dimensiones 15x10x30 cm y 7 cm de diámetro**

Este objetivo estaba planteado para realizar ensayos de erosión por pulverizado de agua a presión y ensayos de erosión por caída de agua en el Centro de Investigación de la Cerámica de la Universidad Francisco de Paula Santander, en la ciudad de Cúcuta, para establecer las características de durabilidad y/o erosión de los bloques, sin embargo, ante la emergencia sanitaria presentada por el Covid-19 no fue posible disponer de los laboratorios de esta Universidad.

Por tal motivo, se decidió realizar dos ensayos diferentes para determinar la durabilidad y/o erosión de los bloques. El primero de ellos fue el ensayo de abrasión establecido en la NTC 5324. El segundo fue un ensayo de erosión a la sombra y a la intemperie para observar la variación de humedad que presentan los bloques al estar expuestos a estas condiciones.

##### ***4.1.5.1 Ensayo de abrasión***

Este ensayo se encuentra descrito en la NTC 5324: Bloques de suelo cemento para muros y divisiones, definiciones, especificaciones, métodos de ensayo, condiciones de entrega. Para su realización fue necesario disponer de los siguientes implementos:

- Báscula para 20 kg y precisión de lectura de 5 gramos.
- Un cepillo metálico en acero con una carga de 3 kg.

El procedimiento efectuado en el ensayo fue el siguiente:

- Se pesaron y enumeraron cada uno de los bloques a ensayar, nueve en total, ver figura 20.



Figura 20. Bloques utilizados en el ensayo de abrasión

Fuente: Autores, 2020.

- Cada bloque se ubicó sobre una superficie horizontal. Se colocaba el cepillo sobre el bloque y se realizaban un cepillado a razón de una ida y venida por segundo durante 60 segundos (1 minuto), sin aplicar fuerzas verticales sobre el cepillo. El ancho del cepillado consistía en el ancho del cepillo, ver figura 21.



Figura 21. Realización del ensayo de abrasión

Fuente: Autores, 2020.

- Se registró el peso final de los bloques después del ensayo, ver figura 22.



Figura 22. Registro del peso final de los bloques

Fuente: Autores, 2020.

El procedimiento efectuado permitió calcular el coeficiente de abrasión de los bloques a partir de la ecuación 2.

$$C_a = \frac{s}{m_0 - m_1}$$

Ecuación 2.

Donde  $C_a$  es el coeficiente de abrasión expresado en  $\text{cm}^2/\text{g}$ ,  $m_o$  es la masa inicial de los bloques,  $m_1$  es la masa final de los bloques, y  $S$ , es el área cepillada de los bloques, en este caso corresponde a 30 cm de longitud de los bloques por 2,6 cm de ancho del cepillo para un total de  $78 \text{ cm}^2$ .

En la tabla 10 se muestran los resultados obtenidos:

Tabla 10

*Resultados ensayo de abrasión*

Brea asfáltica triturada (%)	Nº Bloque	Peso natural de los bloques $m_o$ (kg)	Peso de los bloques después del ensayo $m_1$ (kg)	Masa removida (gr)	Área cepillada ( $\text{cm}^2$ )	Coefficiente de abrasión
3	1	5730	5715	15	78	5,2
3	2	5620	5595	25	78	3,1
3	3	5655	5635	20	78	3,9
6	1	5730	5715	15	78	5,2
6	2	5510	5495	15	78	5,2
6	3	5370	5350	20	78	3,9
9	1	5590	5578	12	78	6,5
9	2	5465	5454	11	78	7,1
9	3	5515	5505	10	78	7,8

Nota. Autores, 2020.

La abrasión indica el desgaste que produce en los bloques el rozamiento mecánico, dado que un mayor coeficiente de abrasión indica una mayor resistencia del material para ser removido por fuerzas actuantes en el medio, se evidencia que los bloques que presentan mejor comportamiento son aquellos con 9% de brea asfáltica triturada.

En el Apéndice E se muestra el registro fotográfico adicional de este ensayo.



#### ***4.1.5.2 Ensayo de erosión a la sombra y a la intemperie***

Con el fin de observar el comportamiento de los bloques al estar expuestos a condiciones ambientales diferentes, se ubicaron 3 bloques a la sombra (ver figura 23), uno por cada porcentaje de brea asfáltica triturada, y al mismo tiempo, se colocaron 6 bloques a la intemperie (ver figura 24), dos por cada porcentaje de brea asfáltica triturada, en un lugar donde recibían la luz del sol, lluvias y demás condiciones del ambiente.



Figura 23. Bloques a la sombra

Fuente: Autores, 2020.



Figura 24. Bloques ubicados a la intemperie

Fuente: Autores, 2020.

De cada conjunto de bloques, a la sombra y a la intemperie, se registró el peso inicial de cada bloque. Fueron sometidos a las condiciones de estudio durante 30 días. Transcurrido este período se registraron los pesos finales de cada bloque, como se observa en la figura 25.



Figura 25. Registro del peso final de los bloques al finalizar el ensayo de erosión

Fuente: Autores, 2020.

En las tablas 11 y 12 se muestran las variaciones de humedad presentadas en el ensayo de erosión a la sombra y a la intemperie, respectivamente.

Tabla 11

*Resultados ensayo de erosión a la sombra*

Brea asfáltica triturada (%)	Peso inicial de los bloques (gr)	Peso final de los bloques (gr)	Humedad absorbida (gr)	Variación de humedad (%)
3	5545	5705	160	2,89%
6	5600	5700	100	1,79%
9	5420	5485	65	1,20%

Nota. Autores, 2020.

Tabla 12

*Resultados ensayo de erosión a la intemperie*

Brea asfáltica triturada (%)	Peso inicial de los bloques (gr)	Peso final de los bloques (gr)	Humedad absorbida (gr)	Variación de humedad (%)
3	5530	5730	200	3,62%
3	5545	5785	240	4,33%
6	5535	5695	160	2,89%
6	5495	5845	350	6,37%
9	5520	5670	150	2,72%
9	5555	5725	170	3,06%

Nota. Autores, 2020.

Observando las tablas 11 y 12, se evidencia que los bloques de tierra comprimida son susceptibles a las variaciones de humedad del ambiente, ya que expuestos a la intemperie tienden a absorber la humedad presente, siendo los bloques con 9% de brea asfáltica triturada los que presentan menor variación en peso.

Respecto al desgaste, los bloques no presentaron alteraciones al estar expuestos a la intemperie. Tampoco se observó cambios en cuanto a su forma, textura o color, siendo el cambio de peso, debido a la absorción de aguas lluvias, la única diferencia entre los bloques a la sombra y aquellos expuestos a la intemperie.

En el Apéndice E se muestra el registro fotográfico adicional de este ensayo.

#### **4.1.6 Comparar los costos de ejecución de un BTC con dimensiones 15x10x30 cm impermeabilizado respecto a un ladrillo común de la zona**

En la ciudad de Ocaña, Norte de Santander, es común la utilización de ladrillos de arcilla como elementos de mampostería de las edificaciones, siendo los ladrillos huecos, como el ilustrado en la figura 26, los más demandados.



Figura 26. Bloque de arcilla hueco

Fuente: Homecenter, 2020.

Con el fin de analizar las diferencias en el costo directo de producción de los bloques de tierra comprimida BTC, respecto a los ladrillos convencionales, como el de la figura 26, a continuación se presenta la siguiente comparación económica.

##### ***4.1.6.1 Costo de los bloques de tierra comprimida***

En la tabla 13 se presenta el valor de cada uno de los materiales utilizados para la fabricación de los bloques de tierra comprimida BTC:

Tabla 13

*Valor unitario de los materiales*

Material	Unidad	Valor (pesos)
Cemento	kg	\$600
Brea asfáltica	kg	\$5.000
Tierra	kg	\$100
Agua	litro	\$3

Nota. Autores, 2020.

En base a los precios de la tabla 13, y de acuerdo a las cantidades utilizadas por bloque para cada uno de los porcentajes de brea asfáltica triturada, se obtuvo los precios por bloque mostrados en las tablas 14-16.

Tabla 14.

*Valor unitario BTC con 3% de brea asfáltica triturada*

Material	Unidad	Cantidad empleada	Valor unitario	Total
Cemento	kg	0,58	\$600	\$348
Brea asfáltica	kg	0,174	\$5.000	\$870
Tierra	kg	4,292	\$100	\$429
Agua	litro	0,754	\$3	\$2
<b>Precio unitario</b>				<b>\$1.649</b>

Nota. Autores, 2020.

Tabla 15.

*Valor unitario BTC con 6% de brea asfáltica triturada*

Material	Unidad	Cantidad empleada	Valor unitario	Total
Cemento	kg	0,58	\$600	\$348
Brea asfáltica	kg	0,348	\$5.000	\$1.740
Tierra	kg	4,118	\$100	\$412
Agua	litro	0,754	\$3	\$2
<b>Precio unitario</b>				<b>\$2.502</b>

Nota. Autores, 2020.

Tabla 16

*Valor unitario BTC con 9% de brea asfáltica triturada*

Material	Unidad	Cantidad empleada	Valor unitario	Total
Cemento	kg	0,58	\$600	\$348
Brea	kg	0,522	\$5.000	\$2.610
Tierra	kg	3,944	\$100	\$394
Agua	litro	0,754	\$3	\$2
<b>Precio</b>				<b>\$3.355</b>

Nota. Autores, 2020.

De las tablas 14-15, se observa que la brea asfáltica triturada BAT representa el material con el mayor costo económico en la fabricación de los bloques. En la tabla 17 se resume el precio de cada bloque.

Tabla 17

*Valor unitario de los bloques de tierra comprimida*

Bloque	Dimensiones	Precio unitario
BTC - 3% BAT	15x10x30 cm	\$1.649
BTC - 6% BAT	15x10x30 cm	\$2.502
BTC - 9% BAT	15x10x30 cm	\$3.355

Nota. Autores, 2020.

#### **4.1.6.2 Bloques comerciales**

En la tabla 18 se muestran las dimensiones y los precios comerciales de los 3 bloques de arcilla más empleados en la ciudad de Ocaña:

Tabla 18

*Precio comercial de bloques de arcilla*

Bloque comercial	Dimensiones	Precio unitario
Bloque H10	10x20x30 cm	\$800
Ladrillo grande de arcilla	9x15x28 cm	\$600
Ladrillo normal de arcilla cocida	7x12x25 cm	\$300

Nota. Los precios fueron consultados en el mes de julio. Autores, 2020.

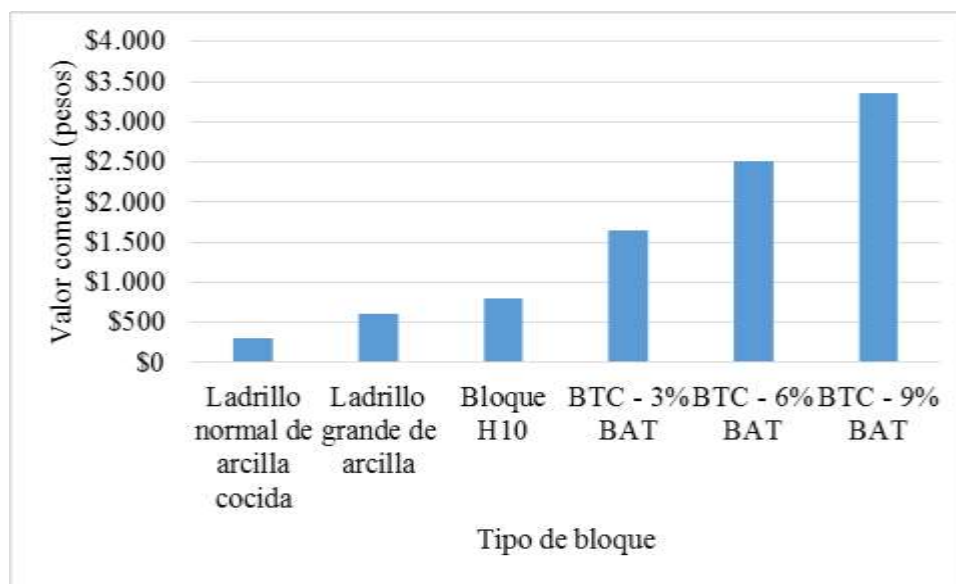


#### 4.1.6.3 Comparación económica

Comparando los precios de los bloques de tierra comprimida (ver tabla 17) respecto a los precios de los bloques comerciales más demandados en la ciudad de Ocaña (ver tabla 18), se observa que todos los BTC fabricados tienen un mayor costo. En el gráfico 1 se observa mejor la variación de precios de los bloques.

Gráfico 1

*Precio de los bloques estudiados*



Nota. Autores, 2020.

En caso de ser puestos a la venta, los bloques de tierra comprimida BTC representarían un sobrecosto en la construcción. En la tabla 19 se muestra el aumento porcentual de los BTC

comparados con los bloques comerciales, y en la tabla 20 el valor unitario de los bloque por metro cuadrado de muro.

Tabla 19

*Sobrecostos de los bloques de tierra comprimida BTC*

Bloque comercial	BTC - 3%	BTC - 6%	BTC - 9%
	BAT	BAT	BAT
Bloque H10	206%	313%	419%
Ladrillo grande de arcilla	275%	417%	559%
Ladrillo normal de arcilla cocida	550%	834%	1118%

Nota. Autores, 2020.

Tabla 20

*Valor de los bloques por metro cuadrado*

Bloque	Dimensiones Bloque		Área bloque (m <sup>2</sup> )	Número de bloque en un 1 m <sup>2</sup>	Valor unitario bloque	Valor unitario de un m <sup>2</sup>
	Largo (cm)	Alto (cm)				
Bloque H10	30	10	0,030	33,3	\$800	\$26.667
Ladrillo grande de arcilla	28	9	0,025	39,7	\$600	\$23.810
Ladrillo normal de arcilla cocida	25	7	0,018	57,1	\$300	\$17.143
BTC - 3% BAT	30	10	0,030	33,3	\$1.649	\$54.967
BTC - 6% BAT	30	10	0,030	33,3	\$2.502	\$83.400
BTC - 9% BAT	30	10	0,030	33,3	\$3.355	\$111.833

Nota. Autores, 2020.

Se observa en las tablas 19 y 20, que los bloques de tierra comprimida BTC con adición de brea asfáltica triturada fabricados en esta investigación son de 2 a 11 veces más costosos que los

bloques de arcilla más comerciales en la ciudad de Ocaña, por lo que no representarían una competencia para los bloques comerciales.

Sin embargo, al ser ecológicos y no requerir la utilización de hornos, representan un ahorro indirecto, además de ser útiles en proyectos de autoconstrucción, no requerir de personal especializado y permitir la reutilización del suelo.

## **4.2 Resumen de resultados**

En la tabla 21 se muestra un resumen de los objetivos, actividades y resultados obtenidos en esta investigación:

Tabla 21

*Resumen de resultados por cada objetivo específico*

Objetivo	Actividades	Resultados
Caracterizar cada uno de los materiales utilizados para la realización de los BTC con dimensiones 15x10x30 cm y 7 cm de diámetro	Extracción de muestras de suelo en Campo. Ensayos de laboratorio: Granulometría, límites de consistencia, peso unitario y Gravedad Específica	Las muestras del Sector de El Limonal cumplen con lo recomendado para la fabricación de Bloques de Tierra Comprimida, por lo cual se extrajo de este sector el material para fabricar los bloques.
Realizar el diseño de mezcla para la obtención e identificación de la dosificación de los materiales necesarios para la realización de los BTC con dimensiones 15x10x30 cm y 7 cm de diámetro	Trituración manual de la brea asfáltica. Se tamizo el material por una malla de 1 mm de diámetro. Tamizame de la tierra por una malla de diámetro aproximado de 4,75 mm (No.4). Determinación de los porcentajes de brea asfáltica a emplear en los BTC: 3, 6 y 9 por ciento. Mezcla manual de los materiales: tierra, brea asfáltica, cemento y agua. Fabricación de los bloques de tierra comprimida BTC en la cinva ram	Fabricación de 45 bloques de tierra comprimida BTC. 15 bloques por cada porcentaje de brea asfáltica triturada.
Realizar ensayos de absorción que permitan identificar el grado de impermeabilidad del BTC con dimensiones 15x10x30 cm y 7 cm de diámetro	Realización de ensayo de absorción descrito en la NTC 5324	Los bloques con mejor comportamiento ante el agua son aquellos con una adición del 9% de brea asfáltica triturada.
Determinar la capacidad de carga según los ensayos físicos mecánicos del BTC impermeabilizado	Realización de ensayo de compresión descrito en la NTC 5324	Los bloques no cumplen con los mínimos requerimientos de resistencia a la compresión.
Efectuar ensayos de durabilidad y/o erosión que permita determinar la vida útil del BTC impermeabilizado con dimensiones 15x10x30 cm y 7 cm de diámetro	Realización del ensayo de abrasión de acuerdo a lo establecido en la NTC 5324 Realización del ensayo de erosión a la sombra y a la intemperie	Los bloques con mejor comportamiento ante la abrasión y el agua son aquellos con 9% de brea asfáltica triturada.
Comparar los costos de ejecución de un BTC con dimensiones 15x10x30 cm impermeabilizado respecto a un ladrillo común de la zona	Averiguar valor unitario de bloques comerciales. Calcular valor unitario de bloque de tierra comprimida Calcular valor unitario por metro cuadrado de cada uno de los bloques (comerciales y BTC)	Los bloques BTC resultan más costosos que los bloques comerciales.

Nota. Autores, 2020.

## Conclusiones

Como resultado del proceso de investigación efectuado en el presente trabajo, se concluye lo siguiente:

En la ciudad de Ocaña, Norte de Santander, existen suelos (tierra) con las características de granulometría necesarias para ser utilizados para la fabricación de bloques de tierra comprimida BTC. Sin embargo, se presentan variaciones en cuanto a lo recomendado para los límites de consistencia o plasticidad, siendo esta característica decisiva para seleccionar el material a emplear.

En Colombia no existe una normativa específica para los bloques de tierra comprimida BTC, por lo que se hace necesario realizar los ensayos descritos en la NTC 5324: Bloques de suelo cementos para muros y divisiones, definiciones, especificaciones, métodos de ensayos, condiciones de entrega. Lo establecido en esta norma se considera válido para bloques de tierra comprimida. El diseño de mezclas estuvo basado en experiencias particulares llevadas a cabo con otras investigaciones.

Los bloques de tierra comprimida con adición del 9% de brea asfáltica triturada presentaron el mejor coeficiente de absorción, es decir, absorben menor cantidad de agua por lo que son más estables ante condiciones en las que se presenten cambios considerables de humedad en el ambiente. Todos los bloques estudiados correspondieron según la clasificación de la NTC 5324, a bloques débilmente capilares.

Ninguno de los bloques de tierra comprimida cumplió con los mínimos requerimientos de resistencia a la compresión, por lo que no corresponden a las clasificaciones dadas en la NTC 5324, sin embargo, al ser elementos netamente divisorios, pueden ser considerados en proyectos que promuevan la sostenibilidad en el sector de la construcción.

En lo referente a durabilidad y erosión, los dos aspectos estudiados: abrasión y erosión a la sombra y a la intemperie indican que los bloques con 9% de brea asfáltica triturada presentan los mejores resultados, ya que son más resistentes a la abrasión con un coeficiente entre 6,5 y 7,8, por lo que se requiere mayor fuerza en el medio para remover sus partículas, a la vez que absorben la menor cantidad de agua del ambiente (entre el 2,72% y 3,06% de su peso seco).

El análisis económico muestra que los bloques de tierra comprimida BTC con adición de brea asfáltica triturada fabricados en esta investigación son de 2 a 11 veces más costosos que los bloques de arcilla más comerciales en la ciudad de Ocaña, por lo que no representarían una competencia para los bloques comerciales, siendo los bloques con 9% de brea asfáltica triturada los más costosos.

De forma general se concluye que los bloques de tierra comprimida BTC con adición de brea asfáltica triturada fabricados en esta investigación, aunque resultan más costosos y están por debajo de la resistencia mínima exigida, permiten reducir costos al no requerir equipos avanzados ni personal especializado, además de no generar emisiones de gases por la quema en los hornos, ayudando de esta forma al medio ambiente, y convirtiéndose así en una alternativa sostenible. Por otra parte, al ser débilmente capilares resultan más resistentes contra los cambios de temperatura y humedad.

## Recomendaciones

Basados en la experiencia y los conocimientos obtenidos en el desarrollo de esta investigación, se recomienda considerar los siguientes aspectos en futuras investigaciones:

- Utilizar brea asfáltica pulverizada para observar las diferencias que se presentan en los bloques al reducir el tamaño máximo nominal de la brea, ya que esto puede conducir a que se reduzcan los espacios vacíos entre partículas, generando como resultado un aumento en la resistencia a la compresión, además de disminuir la absorción de agua, de tal manera que se logre obtener un bloque que además de cumplir con los requerimientos normativos, se convierta en una opción que promueva la sostenibilidad
- Incluir la resistencia a la compresión como criterio o parámetro de estudio en los ensayos de durabilidad para observar las variaciones presentadas entre los bloques a la sombra y los bloques a la intemperie.

## Referencias

- Arteaga, J., & Loja, L. (2018). *Diseño de adobes estabilizados con emulsión asfáltica*. Universidad de Cuenca, Facultad de arquitectura y urbanismo, Cuenca, Ecuador.
- Arteaga, K., Humberto, O., & Gutiérrez, O. (2011). *Bloque de Tierra Comprimida como material constructivo*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Grupo de Investigación en Construcción Antisísmica.
- Berlingieri, R. R. (2017). *Caracterización de bloques de suelo cemento como mampuesto*. Universidad Nacional de Cordoba, Facultad de ciencia exactas físicas y naturales.
- Cañola, H., Builes, A., Medina, C., & González, G. (2018). Bloques de Tierra Comprimida (BTC) con aditivos bituminosos. *TecnoLógicas*, 21(43), 135-145.
- Cid, J. (2012). *Durabilidad de los bloques de tierra comprimida. Evaluación y recomendaciones para la normalización de los ensayos de erosión y absorción*. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos.
- Das, B. M. (2005). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. México D.F.: Cengage Learning.
- Galíndez, F. (2007). *Bloques de Tierra Comprimida (BTC) sin adición de cemento*. Universidad Católica de Salta, Facultad de Arquitectura y Urbanismo.
- Hernández, J. (2016). *Construcción con tierra: Análisis, conservación y mejora. Un caso práctico en Senegal*. Departamento de Tecnología de la Arquitectura, Barcelona, España.
- Macías, A. (s.f.). *Evolución del comportamiento mecánico de bloques y baldosas de tierra comprimida estabilizada sometidas a helicidad*.
- Mejía, P. (2018). *Bloques de tierra comprimida con agregados de residuos de construcción y demolición como sustitución de los agregados tradicionales en la ciudad de Saraguro, Loja, Ecuador*. Universidad de Cuenca, Facultad de Arquitectura y Urbanismo.
- Molina, G. (2016). *Bloques de tierra comprimida con adición de residuos de concreto y cemento como solución sostenible para la construcción de muros no estructurales*. Universidad Libre de Pereira Sede Belmonte, Facultad de Ingeniería Civil, Pereira.
- Neves, C., & Borges, O. (2011). *Técnicas de construcción con tierra*. Universidad de Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Bauru, Brasil.



- Roux, R., & Espuna, J. (2012). *Bloques de tierra comprimida adicionados con fibras naturales*. Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Tampico, Tamaulipas.
- Seisdedos, J. (2010). Unidad de producción de bloques de tierra comprimida - BTC. *Arquitectura construida en tierra, Tradición e Innovación*, 289-294. Obtenido de [http://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2010/2010\\_9788469345542\\_p289-294\\_seisdedos.pdf](http://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2010/2010_9788469345542_p289-294_seisdedos.pdf)
- Sowers, G. B., & Sowers, G. F. (1972). *Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones*. México. D.F.: Limusa.
- Tolrac, J. (Octubre-diciembre de 2008). El suelo-cemento como material de construcción. *Ciencia y Sociedad*, 520-571. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87012672003>
- Uribe, C. (2012). *Materiales y prácticas de construcción sostenible*. Universidad EAFIT, Ingeniería Civil, Medellín, Antioquia.
- Vallés, R. (2014). *Arquitectura con tierra: Bioconstrucción en cooperativas de viviendas por ayuda mútua*. Instituto de Arte Americano, Centro de Investigación Habitat y Energía, Buenos Aires, Argentina.
- Vásquez, A., Botero, L., & Carvajal, A. (2014). *Fabricación de bloques de tierra comprimida con adición de residuos de construcción y demolición como reemplazo del agregado pétreo convencional*. Universidad EAFIT, Medellín, Colombia.
- Yepes, O., & Bedoya, C. (2012). *El bloque de suelo cementos (BSC) al bloque de suelo geopolimerizado (BSG)*. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Construcción, Medellín.
- Yuste, B. (2018). *Arquitectura de tierra: Caracterización de los tipos edificatorios*. Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de construcciones arquitectónicas.

# APÉNDICES

## Apéndice A. Resultados de laboratorio y registro fotográfico

Extracción de muestras de suelo en los sectores de El Limonal (coordenadas: 1405991.5 N 1079712.8m E) y El Hatillo (coordenadas: 1404928.1m N 1080201.4m E).



Fuente: Autores, 2020.

**El Limonal, resultados de ensayos de laboratorio:**

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS																																											
RESULTADOS ENSAYOS DE SUELOS																																											
<b>Localización:</b>	Limal																																										
<b>Descripción:</b>	Formación Ígnea																																										
<b>Profundidad (m):</b>	0,5	<b>Fecha:</b>	28 de febrero del 2020																																								
<table border="1" style="width: 80%; margin: auto;"> <tr> <td style="width: 30%;">Descripción:</td> <td colspan="3">Arena limosa de plasticidad media con Tamaño Máximo de Partícula de 1/2"</td> </tr> <tr> <td>Clasificación SUCS:</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">SM</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Ensayos de acuerdo al I.N.V.</td> </tr> <tr> <td>Contenido de humedad</td> <td style="text-align: center;">(%)</td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="text-align: center;">13,06</td> </tr> <tr> <td>Peso Unitario Húmedo</td> <td style="text-align: center;">g/cm<sup>3</sup></td> <td></td> <td style="text-align: center;">1,64</td> </tr> <tr> <td>Peso Unitario Seco</td> <td style="text-align: center;">g/cm<sup>3</sup></td> <td></td> <td style="text-align: center;">1,47</td> </tr> <tr> <td>Límite Líquido</td> <td style="text-align: center;">(%)</td> <td></td> <td style="text-align: center;">32,15</td> </tr> <tr> <td>Límite Plástico</td> <td style="text-align: center;">(%)</td> <td></td> <td style="text-align: center;">26,04</td> </tr> <tr> <td>Índice de plasticidad</td> <td style="text-align: center;">(%)</td> <td></td> <td style="text-align: center;">6,11</td> </tr> <tr> <td>Gravedad específica</td> <td style="text-align: center;">(Adim)</td> <td></td> <td style="text-align: center;">2,64</td> </tr> </table>				Descripción:	Arena limosa de plasticidad media con Tamaño Máximo de Partícula de 1/2"			Clasificación SUCS:	SM			Ensayos de acuerdo al I.N.V.				Contenido de humedad	(%)		13,06	Peso Unitario Húmedo	g/cm <sup>3</sup>		1,64	Peso Unitario Seco	g/cm <sup>3</sup>		1,47	Límite Líquido	(%)		32,15	Límite Plástico	(%)		26,04	Índice de plasticidad	(%)		6,11	Gravedad específica	(Adim)		2,64
Descripción:	Arena limosa de plasticidad media con Tamaño Máximo de Partícula de 1/2"																																										
Clasificación SUCS:	SM																																										
Ensayos de acuerdo al I.N.V.																																											
Contenido de humedad	(%)		13,06																																								
Peso Unitario Húmedo	g/cm <sup>3</sup>		1,64																																								
Peso Unitario Seco	g/cm <sup>3</sup>		1,47																																								
Límite Líquido	(%)		32,15																																								
Límite Plástico	(%)		26,04																																								
Índice de plasticidad	(%)		6,11																																								
Gravedad específica	(Adim)		2,64																																								
<p><b>Observaciones:</b> _____</p> <p>_____</p> <p><b>Recomendaciones:</b> _____</p> <p>_____</p>																																											
<b>Realizó:</b> Oscar Leonardo García Castro Brayan Camilo Quintero Sarabia		<b>Aprobó</b> MSc. Haidee Yulady Jaramillo Ingeniera Civil																																									
Ocaña - Colombia																																											

Fuente: Autores, 2020.

<b>LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b>				
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD - I.N.V. E - 122-13</b>				
<b>Localización:</b>	Limonal			
<b>Descripción:</b>	Formación Ígnea			
<b>Profundidad (m):</b>	0,5	<b>Tipo de muestra:</b>	Inalterada	
<b>Fecha:</b>	17 de febrero del 2020			
<b>Prueba</b>	<b>N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso del recipiente	(g)	73,91	72,04	76,23
Peso del recipiente + suelo húmedo	(g)	93,09	90,80	101,21
Peso del recipiente + suelo seco	(g)	90,92	88,51	98,43
Peso del suelo seco	(g)	17,01	16,47	22,2
Peso del agua	(g)	2,17	2,29	2,78
Contenido de humedad	(%)	12,76	13,90	12,52
Humedad del suelo	(%)	<b>13,06</b>		
<b>Observaciones:</b>	<u>Humedades determinadas en horno</u> _____			
<b>Recomendaciones:</b>	_____ _____			
<b>Realizó:</b> Oscar Leonardo García Castro Brayan Camilo Quintero Sarabia	<b>Aprobó</b> MSc. Haidee Yulady Jaramillo Ingeniera Civil			
Ocaña - Colombia				

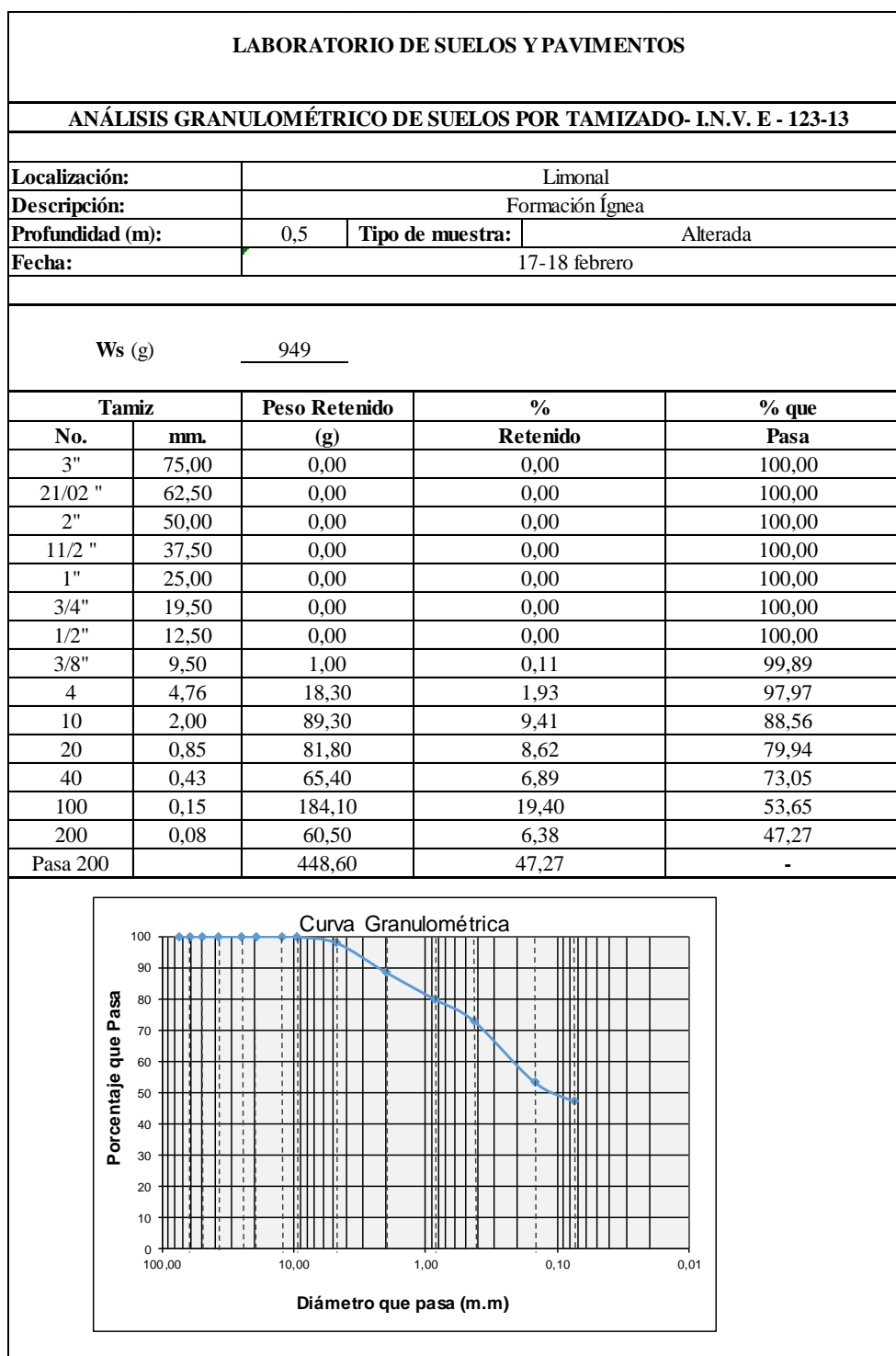
Fuente: Autores, 2020.

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS				
PESO UNITARIO				
<b>Localización:</b>	Limonal			
<b>Descripción:</b>	Formación Ígnea			
<b>Profundidad (m):</b>	0,5	<b>Tipo de muestra:</b>	Inalterada	
<b>Fecha:</b>	18 de febrero del 2020			
<b>Prueba</b>	<b>N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso muestra	(g)	149,26	201,87	128,17
Peso muestra + parafina	(g)	160,96	221,87	142,29
Peso muestra + parafina en el agua	(g)	55,99	77,00	48,79
Peso parafina	(g)	11,70	20,00	14,12
Volumen parafina	cm <sup>3</sup>	13,12	22,43	15,84
Volumen muestra + parafina	cm <sup>3</sup>	104,97	144,87	93,50
Volumen muestra	cm <sup>3</sup>	91,85	122,44	77,66
Contenido de Humedad	(%)	12,04	12,28	11,30
Peso Unitario Humedo	g/cm <sup>3</sup>	1,63	1,65	1,65
Peso Unitario Humedo Promedio		1,64		
Peso Unitario Seco	g/cm <sup>3</sup>	1,45	1,47	1,48
Peso Unitario Seco Promedio	g/cm <sup>3</sup>	1,47		
Densidad Parafina (gr/cm <sup>3</sup> ) <u>0,8915</u>				
<b>Contenido de humedad</b>	<b>N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso del recipiente	(g)	73,99	72,07	76,25
Peso del recipiente + suelo húmedo	(g)	105,53	96,94	99,6
Peso del recipiente + suelo seco	(g)	102,14	94,22	97,23
Peso del suelo seco	(g)	28,15	22,15	20,98
Peso del agua	(g)	3,39	2,72	2,37
Contenido de humedad	(%)	12,04	12,28	11,30
Humedad del suelo	(%)	<b>11,87</b>		
<b>Observaciones:</b>	<u>Humedades determinadas en horno</u>			
<b>Recomendaciones:</b>	_____			
<b>Realizó:</b> Oscar Leonardo García Castro Brayan Camilo Quintero Sarabia	<b>Aprobó</b> MSc. Haidee Yulady Jaramillo Ingeniera Civil			
Ocaña - Colombia				

Fuente: Autores, 2020.

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS					
LÍMITES DE CONSISTENCIA - I.N.V. E - 125, 126-13					
<b>Localización:</b>	Limal				
<b>Descripción:</b>	Formación Ígnea				
<b>Profundidad (m):</b>	0,5	<b>Tipo de muestra:</b>	Alterada		
<b>Fecha:</b>	20 de febrero del 2020				
Límite líquido					
Prueba	N°	1	2	3	4
Peso del recipiente	(g)	18,21	21,00	18,96	
Peso del recipiente + suelo húmedo	(g)	36,26	36,73	39,65	
Peso del recipiente + suelo seco	(g)	31,91	32,83	34,20	
Peso del suelo seco	(g)	13,70	11,83	15,24	
Peso del agua	(g)	4,35	3,90	5,45	
Contenido de humedad	(%)	31,75	32,97	35,76	
Golpes	N°	28	20	13	
Límite líquido	(%)	<b>32,15</b>			
Límite plástico					
Prueba	N°	1	2	3	
Peso del recipiente	(g)	17,41	7,13		
Peso del recipiente + suelo húmedo	(g)	19,46	10,49		
Peso del recipiente + suelo seco	(g)	19,04	9,79		
Peso del suelo seco	(g)	1,63	2,66		
Peso del agua	(g)	0,42	0,70		
Contenido de humedad	(%)	25,77	26,32		
Límite plástico	(%)	<b>26,04</b>			
Índice de plasticidad					
Índice de Plasticidad	(%)	<b>6,11</b>			
<b>Observaciones:</b>	Humedades determinadas en horno				
<b>Recomendaciones:</b>					
<b>Realizó:</b> Oscar Leonardo García Castro Brayan Camilo Quintero Sarabia	<b>Aprobó</b> MSc. Haidee Yulady Jaramillo Ingeniera Civil				
Ocaña - Colombia					

Fuente: Autores, 2020.





Continuación:

% Grava	<u>2,03</u>	D10:	<u>-</u>
% Arena	<u>50,70</u>	D30:	<u>-</u>
% Finos	<u>47,27</u>	D60:	<u>0,09 mm</u>
		Cc:	<u>-</u>
		Cu:	<u>-</u>
Límite Líquido (%)	<u>32,15</u>		
Límite plástico (%)	<u>26,04</u>		
Índice de Plasticidad (%)	<u>6,11</u>		
Clasificación S.U.C.S.	<u>SM</u>		
Descripción: <u>Arena limosa de plasticidad media con Tamaño Máximo de Partícula de 1/2"</u>			
<b>Observaciones:</b> <u>Clasificación de acuerdo al Sistema</u> <u>Unificado de Clasificación de Suelos</u>			
<b>Recomendaciones:</b> _____ _____			
<b>Realizó:</b> Oscar Leonardo García Castro Brayan Camilo Quintero Sarabia		<b>Aprobó</b> MSc. Haidee Yulady Jaramillo Ingeniera Civil	
Ocaña - Colombia			

Fuente: Autores, 2020.

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS				
GRAVEDAD ESPECÍFICA FRACCIÓN FINA I.N.V. E - 128-13				
<b>Localización:</b>	Limonal			
<b>Descripción:</b>	Formación Ígnea			
<b>Profundidad (m):</b>	0,5	<b>Tipo de muestra:</b>	Alterada	
<b>Fecha:</b>	24-26 de febrero del 2020			
<b>Prueba</b>	<b>N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso del Picnómetro	(g)	141,31	157,16	153,20
Peso picnómetro + agua + suelo	(g)	685,09	707,51	697,26
Peso picnómetro + agua	(g)	644,85	667,84	657,27
Peso Tara	(g)	188,06	183,15	183,81
Peso Tara + Muestra seca	(g)	252,80	246,89	248,06
Peso suelo Seco en el horno	(g)	64,74	63,74	64,25
Volumen Picnómetro	cm <sup>3</sup>	500,00	500,00	500,00
Temperatura agua en el ensayo	°C	24,00	24,00	24,00
Factor de corrección de Temperatura		1,00	1,00	1,00
Gravedad específica Ss		2,64	2,65	2,65
Gravedad Especifica Promedio Ss prom.		2,64		
<b>Observaciones:</b>	Ensayo realizado por el Método de ebullición			
<b>Recomendaciones:</b>				
<b>Realizó:</b> Oscar Leonardo García Castro Brayan Camilo Quintero Sarabia	<b>Aprobó</b> MSc. Haidee Yulady Jaramillo Ingeniera Civil			
Ocaña - Colombia				

Fuente: Autores, 2020.

### El Limonal, registro fotográfico de ensayos de laboratorio:

- Contenido de humedad



- Peso unitario



- Límites de consistencia



- Granulometría



- Gravedad específica



**El Hatillo, resultados de ensayos de laboratorio:**

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS																																											
RESULTADOS ENSAYOS DE SUELOS																																											
<b>Localización:</b>	Hatillo																																										
<b>Descripción:</b>	Formación Ígnea																																										
<b>Profundidad (m):</b>	0,5	<b>Fecha:</b>	28 de febrero del 2020																																								
<table border="1" style="margin: 10px auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;"><b>Descripción:</b></td> <td colspan="3">Limo arenoso de plasticidad media con Tamaño Máximo de Partícula de 3/8"</td> </tr> <tr> <td><b>Clasificación SUCS:</b></td> <td colspan="3" style="text-align: center;">ML</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Ensayos de acuerdo al I.N.V.</td> </tr> <tr> <td>Contenido de humedad</td> <td style="text-align: center;">(%)</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">9,84</td> </tr> <tr> <td>Peso Unitario Húmedo</td> <td style="text-align: center;">g/cm<sup>3</sup></td> <td colspan="2" style="text-align: center;">1,84</td> </tr> <tr> <td>Peso Unitario Seco</td> <td style="text-align: center;">g/cm<sup>3</sup></td> <td colspan="2" style="text-align: center;">1,67</td> </tr> <tr> <td>Límite Líquido</td> <td style="text-align: center;">(%)</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">45,68</td> </tr> <tr> <td>Límite Plástico</td> <td style="text-align: center;">(%)</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">22,98</td> </tr> <tr> <td>Índice de plasticidad</td> <td style="text-align: center;">(%)</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">22,71</td> </tr> <tr> <td>Gravedad específica</td> <td style="text-align: center;">(Adim)</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">2,65</td> </tr> </table>				<b>Descripción:</b>	Limo arenoso de plasticidad media con Tamaño Máximo de Partícula de 3/8"			<b>Clasificación SUCS:</b>	ML			Ensayos de acuerdo al I.N.V.				Contenido de humedad	(%)	9,84		Peso Unitario Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1,84		Peso Unitario Seco	g/cm <sup>3</sup>	1,67		Límite Líquido	(%)	45,68		Límite Plástico	(%)	22,98		Índice de plasticidad	(%)	22,71		Gravedad específica	(Adim)	2,65	
<b>Descripción:</b>	Limo arenoso de plasticidad media con Tamaño Máximo de Partícula de 3/8"																																										
<b>Clasificación SUCS:</b>	ML																																										
Ensayos de acuerdo al I.N.V.																																											
Contenido de humedad	(%)	9,84																																									
Peso Unitario Húmedo	g/cm <sup>3</sup>	1,84																																									
Peso Unitario Seco	g/cm <sup>3</sup>	1,67																																									
Límite Líquido	(%)	45,68																																									
Límite Plástico	(%)	22,98																																									
Índice de plasticidad	(%)	22,71																																									
Gravedad específica	(Adim)	2,65																																									
<p><b>Observaciones:</b> _____ _____</p> <p><b>Recomendaciones:</b> _____ _____</p>																																											
<b>Realizó:</b> Oscar Leonardo García Castro Brayan Camilo Quintero Sarabia		<b>Aprobó</b> MSc. Haidee Yulady Jaramillo Ingeniera Civil																																									
Ocaña - Colombia																																											

Fuente: Autores, 2020.

<b>LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b>				
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD - I.N.V. E - 122-13</b>				
<b>Localización:</b>		Hatillo		
<b>Descripción:</b>		Formación Ígnea		
<b>Profundidad (m):</b>	0,5	<b>Tipo de muestra:</b>	Inalterada	
<b>Fecha:</b>		17 de febrero del 2020		
<b>Prueba</b>	<b>N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso del recipiente	(g)	75,05	76,22	72,45
Peso del recipiente + suelo húmedo	(g)	114,13	114,72	98,27
Peso del recipiente + suelo seco	(g)	110,70	111,23	95,94
Peso del suelo seco	(g)	35,65	35,01	23,49
Peso del agua	(g)	3,43	3,49	2,33
Contenido de humedad	(%)	9,62	9,97	9,92
Humedad del suelo	(%)	<b>9,84</b>		
<b>Observaciones:</b>		<u>Humedades determinadas en horno</u>		
<b>Recomendaciones:</b>		_____		
<b>Realizó:</b>		<b>Aprobó</b>		
Oscar Leonardo García Castro Brayan Camilo Quintero Sarabia		MSc. Haidee Yulady Jaramillo Ingeniera Civil		
Ocaña - Colombia				

Fuente: Autores, 2020.

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS				
PESO UNITARIO				
<b>Localización:</b>	Hatillo			
<b>Descripción:</b>	Formación Ígnea			
<b>Profundidad (m):</b>	0,5	<b>Tipo de muestra:</b>	Inalterada	
<b>Fecha:</b>	18 de febrero del 2020			
<b>Prueba</b>	<b>N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso muestra	(g)	133,11	173,18	116,36
Peso muestra + parafina	(g)	146,56	191,79	129,35
Peso muestra + parafina en el agua	(g)	59,79	76,01	51,99
Peso parafina	(g)	13,45	18,61	12,99
Volumen parafina	cm <sup>3</sup>	15,09	20,87	14,57
Volumen muestra + parafina	cm <sup>3</sup>	86,77	115,78	77,36
Volumen muestra	cm <sup>3</sup>	71,68	94,91	62,79
Contenido de Humedad	(%)	10,89	10,77	10,42
Peso Unitario Humedo	g/cm <sup>3</sup>	1,86	1,82	1,85
Peso Unitario Humedo Promedio		1,84		
Peso Unitario Seco	g/cm <sup>3</sup>	1,67	1,65	1,68
Peso Unitario Seco Promedio	g/cm <sup>3</sup>	1,67		
Densidad Parafina (gr/cm <sup>3</sup> ) <u>0,8915</u>				
<b>Contenido de humedad</b>	<b>N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso del recipiente	(g)	75,05	76,22	72,46
Peso del recipiente + suelo húmedo	(g)	87,57	100,29	93,87
Peso del recipiente + suelo seco	(g)	86,34	97,95	91,85
Peso del suelo seco	(g)	11,29	21,73	19,39
Peso del agua	(g)	1,23	2,34	2,02
Contenido de humedad	(%)	10,89	10,77	10,42
Humedad del suelo	(%)	<b>10,69</b>		
<b>Observaciones:</b>	<u>Humedades determinadas en horno</u>			
<b>Recomendaciones:</b>	_____			
<b>Realizó:</b> Oscar Leonardo García Castro Brayan Camilo Quintero Sarabia	<b>Aprobó</b> MSc. Haidee Yulady Jaramillo Ingeniera Civil			
Ocaña - Colombia				

Fuente: Autores, 2020.



LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS					
LÍMITES DE CONSISTENCIA - I.N.V. E - 125, 126-13					
<b>Localización:</b>	Hatillo				
<b>Descripción:</b>	Formación Ígnea				
<b>Profundidad (m):</b>	0,5	<b>Tipo de muestra:</b>	Alterada		
<b>Fecha:</b>	20 de febrero del 2020				
<b>Límite líquido</b>					
<b>Prueba</b>	<b>N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Peso del recipiente	(g)	18,00	20,92	20,11	18,18
Peso del recipiente + suelo húmedo	(g)	31,21	37,46	32,18	34,93
Peso del recipiente + suelo seco	(g)	27,33	32,23	28,11	29,00
Peso del suelo seco	(g)	9,33	11,31	8,00	10,82
Peso del agua	(g)	3,88	5,23	4,07	5,93
Contenido de humedad	(%)	41,59	46,24	50,88	54,81
Golpes	N°	34	27	15	9
Límite líquido	(%)	<b>45,68</b>			
<b>Límite plástico</b>					
<b>Prueba</b>	<b>N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	
Peso del recipiente	(g)	7,12	7,12		
Peso del recipiente + suelo húmedo	(g)	11,46	11,24		
Peso del recipiente + suelo seco	(g)	10,66	10,46		
Peso del suelo seco	(g)	3,54	3,34		
Peso del agua	(g)	0,80	0,78		
Contenido de humedad	(%)	22,60	23,35		
Límite plástico	(%)	<b>22,98</b>			
<b>Índice de plasticidad</b>					
Índice de Plasticidad	(%)	<b>22,71</b>			
<b>Observaciones:</b>	Humedades determinadas en horno _____				
<b>Recomendaciones:</b>	_____ _____				
<b>Realizó:</b> Oscar Leonardo García Castro Brayan Camilo Quintero Sarabia	<b>Aprobó</b> MSc. Haidee Yulady Jaramillo Ingeniera Civil				
Ocaña - Colombia					

Fuente: Autores, 2020.

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS				
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO- I.N.V. E - 123-13				
<b>Localización:</b>		Hatillo		
<b>Descripción:</b>		Formación Ígnea		
<b>Profundidad (m):</b>		0,5	<b>Tipo de muestra:</b>	Alterada
<b>Fecha:</b>		17-18 febrero		
<b>Ws (g)</b>		473		
Tamiz		Peso Retenido	%	% que
No.	mm.	(g)	Retenido	Pasa
3"	75,00	0,00	0,00	100,00
21/02 "	62,50	0,00	0,00	100,00
2"	50,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2 "	37,50	0,00	0,00	100,00
1"	25,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,50	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,50	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,50	0,00	0,00	100,00
4	4,76	2,20	0,47	99,53
10	2,00	21,10	4,46	95,07
20	0,85	64,20	13,57	81,50
40	0,43	79,20	16,74	64,76
100	0,15	52,12	11,02	53,74
200	0,08	12,45	2,63	51,11
Pasa 200		241,73	51,11	-

**Curva Granulométrica**

El gráfico muestra una curva granulométrica con el eje vertical etiquetado como 'Porcentaje que Pasa' (rango 0-100) y el eje horizontal etiquetado como 'Diámetro que pasa (m.m.)' (rango logarítmico de 100,00 a 0,01). La curva permanece en 100% hasta aproximadamente 1 mm, luego desciende gradualmente, cruzando el 50% de pasaje a un diámetro de aproximadamente 0,25 mm, y finalmente nivelándose en 51,11% para un diámetro de 0,075 mm.



LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS				
GRAVEDAD ESPECÍFICA FRACCIÓN FINA I.N.V. E - 128-13				
<b>Localización:</b>	Hatillo			
<b>Descripción:</b>	Formación Ígnea			
<b>Profundidad (m):</b>	0,5	<b>Tipo de muestra:</b>	Alterada	
<b>Fecha:</b>	24-26 de febrero del 2020			
<b>Prueba</b>	<b>N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso del Picnómetro	(g)	149,99	148,32	155,93
Peso picnómetro + agua + suelo	(g)	705,00	699,87	717,36
Peso picnómetro + agua	(g)	664,58	660,13	676,80
Peso Tara	(g)	175,15	185,46	105,15
Peso Tara + Muestra seca	(g)	239,82	249,30	170,44
Peso suelo Seco en el horno	(g)	64,67	63,84	65,29
Volumen Picnómetro	cm <sup>3</sup>	500,00	500,00	500,00
Temperatura agua en el ensayo	°C	24,00	24,00	24,00
Factor de corrección de Temperatura		1,00	1,00	1,00
Gravedad específica Ss		2,66	2,65	2,64
Gravedad Especifica Promedio Ss prom.		2,65		
<b>Observaciones:</b>	Ensayo realizado por el Método de ebullición			
<b>Recomendaciones:</b>				
<b>Realizó:</b> Oscar Leonardo García Castro Brayan Camilo Quintero Sarabia	<b>Aprobó</b> MSc. Haidee Yulady Jaramillo Ingeniera Civil			
Ocaña - Colombia				

Fuente: Autores, 2020.

## El Limonal, registro fotográfico de ensayos de laboratorio:

- Contenido de humedad



Fuente: Autores, 2020.

- Peso unitario



Fuente: Autores, 2020.

- Límites de consistencia



Fuente: Autores, 2020.

- Granulometría



Fuente: Autores, 2020.

- Gravedad específica



Fuente: Autores, 2020.

## Apéndice B. Diseño de mezcla de los bloques de tierra comprimida BTC

Diseño de mezclas				
<b>Consideraciones para la realización de los bloques</b>				
La tierra debe ser tamizada antes de usarse por una malla de diámetro aproximado a 4,75 mm correspondiente al tamiz No.4				
Tamizar el triturado de breas asfálticas por una malla de diámetro cercano al tamiz No. 20 o al No.40 (o menos de 1 mm de diámetro)				
Se estima que un BTC puede pesar entre 5 y 8 kg.				
El porcentaje de agua puede variar según la humedad del suelo				
Se fabricaran 15 ladrillos para cada porcentaje de breas asfálticas trituradas				
Se puede considerar 1 kg = 1 litro				
<b>Estimativos</b>				
Peso estimado de cada bloque (kg)	5,8			
No. de bloques por mezcla (% de breas asfálticas trituradas)	15	Total bloques fabricados	45	
Peso estimado de 15 bloques (kg)	87			
<b>Proporción de los materiales en cada mezcla</b>				
	<b>Mezcla 1</b>	<b>Mezcla 2</b>	<b>Mezcla 3</b>	
<b>Material</b>				
Cemento (%)	10%	10%	10%	
Brea triturada (%)	3%	6%	9%	
Tierra (%)	74%	71%	68%	
Agua (%)	13%	13%	13%	
<b>Cantidad total de materiales en cada mezcla</b>				
	<b>Mezcla 1</b>	<b>Mezcla 2</b>	<b>Mezcla 3</b>	<b>Total</b>
<b>Material</b>				
Cemento (kg)	8,7	8,7	8,7	26,1
Brea triturada (kg)	2,61	5,22	7,83	15,66
Tierra (kg)	64,38	61,77	59,16	185,31
Agua (litros)	11,31	11,31	11,31	33,93
<b>Cantidad de materiales en cada bloque</b>				
	<b>Mezcla 1</b>	<b>Mezcla 2</b>	<b>Mezcla 3</b>	
<b>Material</b>				
Cemento (kg)	0,58	0,58	0,58	
Brea triturada (kg)	0,174	0,348	0,522	
Tierra (kg)	4,292	4,118	3,944	
Agua (litros)	0,754	0,754	0,754	
Peso promedio	5,8	5,8	5,8	
<b>Realizó:</b> Oscar Leonardo García Castro Brayan Camilo Quintero Sarabia		<b>Aprobó</b> MSc. Haidee Yulady Jaramillo Ingeniera Civil		
Ocaña - Colombia				

Fuente: Autores, 2020.



**Registro fotográfico del diseño de mezcla:**

- El suelo o tierra a emplear fue debidamente tamizado por una malla de tamaño No. 4 (4,75 mm):



Fuente: Autores, 2020.

- Se realizó la trituración de la breca asfáltica modificada de forma manual:



Fuente: Autores, 2020.

- La breá triturada fue tamizada por una malla de diámetro de 1 mm:



Fuente: Autores, 2020.

- Dispuestos los materiales a emplear, se realizaba el mezclado de estos mediante palas. El proceso se realizó para cada porcentaje de brea asfáltica triturada:



Fuente: Autores, 2020.

- Mezclado el material, se procedía a adicionar la cantidad de agua calculada para cada mezcla.



Fuente: Autores, 2020.

- Se mezclaba nuevamente el material con el agua, y después este era transportado a la cinva ram:



Fuente: Autores, 2020.

- Después se procedía a realizar el moldeo de los bloques en la cinva ram:



Fuente: Autores, 2020.

- Los bloques no sufrieron ningún tipo de alteración durante su fabricación:



Fuente: Autores, 2020.

- Los bloques elaborados eran debidamente ubicados para evitar su alteración por golpes, humedad, o agentes contaminantes:



Fuente: Autores, 2020.

- Se realizó el curado de los bloques rociando agua mediante aspersores manuales por un período de 30 días:



Fuente: Autores, 2020.

### Apéndice C. Formato ensayo de absorción

		<b>ENSAYO DE ABSORCION</b> <b>NORMA NTC 5324</b>						
<b>Proyecto</b>	ANALISIS DE LAS CARACTERISTICAS FISICO - MECANICAS Y DE ABSORCIÓN DEL BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDA CON DIMENSIONES 15X10X30 cm IMPERMEABILIZADO CON BREA ASFALTICA TRITURADA EN SU ESTADO SOLIDO							
<b>Fecha</b>	19 y 20 de Junio del 2020							
<b>Integrantes</b>	BRAYAN CAMILO QUINTERO CODIGO: 172714, OSCAR LEONARDO GARCIA CASTRO CODIGO 172371							
Brea asfáltica triturada (%)	N° Bloque	Peso natural de los bloques (kg)	Peso seco de los bloques P <sub>0</sub> (kg)	Peso de los bloques después del ensayo P <sub>1</sub> (kg)	Masa de agua absorbida (gr)	Tiempo inmersión (min)	Área superficie sumergida (cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de absorción
3	1	6035	5851.3	5704.1	147.2	10	300	15.5
3	2	5875	5559.7	5419.3	140.4	10	300	14.8
3	3	5855	5554.4	5417.4	137	10	300	14.4
6	1	5840	5542.3	5396.5	145.8	10	300	15.4
6	2	5790	5498.3	5350.8	147.5	10	300	15.5
6	3	5840	5603	5435.6	167.4	10	300	17.6
9	1	5825	5527.6	5389.3	138.3	10	300	14.6
9	2	5810	5561.4	5436.4	125	10	300	13.2
9	3	5685	5417	5288.2	128.8	10	300	13.6
  Ing. Victor Alfonso Florez Duran MP: 54202-251799 NTS								
<b>LABORATORIO DE MATERIALES</b> CALLE 20C NO.141-02 URB. VILLAS DEL ROSARIO - OCAÑA N.S CEL. 3146684953								



## Apéndice D. Resultados de ensayos de compresión

**Geotec** DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA  
Y LABORATORIO DE MATERIALES

RESULTADO DE ENSAYOS DE LABORATORIO  
RESISTENCIA A LA COMPRESION INCONFINADA  
BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA

**Geotec**

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA  
Y LABORATORIO DE MATERIALES

Barrio Villa Paraiso Ocaña/Colombia  
Tel: 3177269240 - 3164527422  
laboratorio@geotec.com.co  
administrativa@geotec.com.co

ISO 9001  
ENVI  
UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ

Fuente: Geotec, 2020.





DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA  
Y LABORATORIO DE MATERIALES

RESULTADO DE ENSAYOS DE LABORATORIO  
RESISTENCIA A LA COMPRESION INCONFINADA  
BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA

Ocaña, Mayo 20 de 2020

SEÑORES

**BRAYAN CAMILO QUINTERO SARABIA**  
**OSCAR LEONARDO GARCIA CASTRO**

**PROYECTO:** ANALISIS DE LAS CARACTERISTICAS FISICO-MECANICAS Y DE ABSORCION DEL BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDA CON DIMENSIONES 15X10X30 cm IMPERMEABILIZADO CON BREA ASFALTICA TRITURADA EN ESTADO SOLIDO

**REFERENCIA:** ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION INCONFINADA BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDA

**REMISION:** BTC-001 – BTC-002 - BTC-003  
RESULTADOS A 75 DIAS DE CURADO

Cordial saludo,

Con la presente me es grato reportar los resultados de los ensayos de Resistencia a la compresión de (9) Nueve Bloques de tierra comprimida (BTC), los cuales fueron fabricados por los estudiantes Brayan Camilo Quintero Sarabia y Oscar Leonardo García Castro y traídos al laboratorio el día 20 de Mayo de 2020, para ser fallados a 75 días de curado.

Con gusto atenderé cualquier ampliación o aclaración relacionada con los términos de este informe.

Atentamente,

**ALDEMAR SALCEDO TORRES**  
INGENIERO EN MINAS/MSC EN GEOTECNIA  
**Matrícula Profesional No.** 15217-091719 de Boyacá



Barrio Villa Paraiso Ocaña/Colombia

Tel: 3177269240 - 3164527622

laboratorio@geotec.com.co

administrativa@geotec.com.co

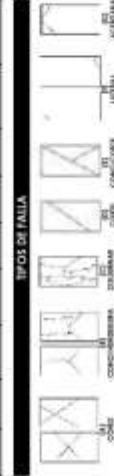


DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA  
Y LABORATORIO DE MATERIALES

RESULTADO DE ENSAYOS DE LABORATORIO  
RESISTENCIA A LA COMPRESION INCONFINADA  
BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION INCONFINADA - BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA																					
PROYECTO: MANEJO DE LAS CAMARAS DE BARRIO DE LA AMBROSIEN EN BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDA CON DIMENSIONES DE 300x300x300mm RELACIONADO CON BREA ASFALTICA, RESISTENCIA EN ESTADO SATURO																					
LOCALIDAD: ESTACION DEL TRONCAL CAMERO QUINIENTOS Y CINCUENTA Y CINCO																					
FECHA DE ELABORACION: ABRIL 20 DE 2020																					
FECHA DE RECEPCION: ABRIL 20 DE 2020																					
NORMA: NTC 4017																					
REVISION: BFC-001																					
ELEMENTO	BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDA 181x180x300 cm			RESISTENCIA TC	2.0 MPa	DOMINACION	SUITE DE BREA			ESQUEMA	PRUEBA DOBLE RANDO PCI-602 / MARCA PINSALE										
SOLICITACION	BOQUE	MUESTRA	SOLICITACION	MUESTRA	TOMA	TOMA	TOMA	TOMA	TOMA	TOMA	DATOS DE BLOQUE			RESISTENCIA COMPRESION RES A LA TIRTA - JARRA B	RESISTENCIA RES A LA TIRTA - JARRA B	RESISTENCIA RES A LA TIRTA - JARRA B					
											LONGITUD	ANCHO	ESPESOR				AREA	VOLUMEN	ESQUEMA	AREA	ESQUEMA
	1	181x180x300	181x180x300	181x180x300	181x180x300	181x180x300	181x180x300	181x180x300	181x180x300	181x180x300	300	180	300	40000	1.4700	29.50	4.48	0.445	15.4	35.47%	OTRO Y SIN DEFINIR
	2	181x180x300	181x180x300	181x180x300	181x180x300	181x180x300	181x180x300	181x180x300	181x180x300	181x180x300	300	180	300	40000	1.3372	24.80	4.09	0.409	12.0	30.40%	OTRO Y SIN DEFINIR
	3	181x180x300	181x180x300	181x180x300	181x180x300	181x180x300	181x180x300	181x180x300	181x180x300	181x180x300	300	180	300	40000	1.3300	27.00	4.12	0.412	12.4	30.59%	OTRO Y SIN DEFINIR
BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDA 181x180x300 cm																					
TOMA: 181x180x300																					
RESISTENCIA ESTIMADA EN % DE FC																					
ESQUEMA: 181x180x300																					
RESISTENCIA TC: 40%																					
RESISTENCIA ESTIMADA EN % DE FC																					
ESQUEMA: 181x180x300																					
RESISTENCIA TC: 40%																					

FACTOR DE CORRECCION POR ESQUEMA (L/D)	
L/D	1.00
L/D	1.25
L/D	1.50
L/D	1.75
L/D	2.00



NOTA: LOS RESULTADOS DEBEJAN SER CORREGIDOS DE ACUERDO A LA NORMA NTC 4017

LABORATORIO DE MATERIALES Y CONCRETOS  
INSTRUMENTADO A LA COMPRESION INCONFINADA, RESISTENCIA A LA TIRTA, COMPRESION

ING. ALVARO TORRES  
CALLE 100 - 10117

ING. EDWIN ALONSO CARRASCAL  
CALLE 100 - 10117

Fuente: Geotec, 2020.







## Apéndice E. Registro fotográfico del ensayo de abrasión y erosión

### Ensayo de abrasión:



Fuente: Autores, 2020.

**Ensayo de erosión:****A la sombra:****A la intemperie**

Fuente: Autores, 2020.