



Neiva, 16 de agosto 2023

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Wilman Fabián López Salinas, con C.C. No. 1077870226,

Iván Andres Romero Colorado, con C.C. No. 1075303398,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado, titulado “Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño”. Presentado y aprobado en el año 2023 como requisito para optar al título de INGENIERO CIVIL;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores” , los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

EL AUTOR/ESTUDIANTE: Wilman Fabián López Salinas.

Firma:

EL AUTOR/ESTUDIANTE: Iván Andres Romero Colorado.

Ivan Andres Romero C.

Firma:



CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 3

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.

AUTOR O AUTORES:

| Primero y Segundo Apellido | Primero y Segundo Nombre |
|----------------------------|--------------------------|
| López Salinas | Wilman Fabián |
| Romero Colorado | Iván Andres |

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

| Primero y Segundo Apellido | Primero y Segundo Nombre |
|----------------------------|--------------------------|
| Duarte Toro | Mauricio |

ASESOR (ES):

| Primero y Segundo Apellido | Primero y Segundo Nombre |
|----------------------------|--------------------------|
| Rosero | Luis Eduardo |
| Mosquera | Efrén |

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERO CIVIL

FACULTAD: INGENIERIA

PROGRAMA O POSGRADO: INGENIERIA CIVIL

CIUDAD: Neiva AÑO DE PRESENTACIÓN: 2023 NÚMERO DE PÁGINAS: 99

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas Fotografías Grabaciones en discos Ilustraciones en general Grabados
Láminas Litografías Mapas Música impresa Planos Retratos Sin ilustraciones Tablas
o Cuadros

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: ADOBE READER

MATERIAL ANEXO: CD

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

| <u>Español</u> | <u>Inglés</u> |
|------------------------------|-----------------------|
| 1. probetas en suelo cemento | Soil-Cement Specimens |
| 2. compresion | Compression |
| 3. absorcion | Absorption |
| 4. erosión acelerada | Accelerated Erosion |
| 5. costo de produccion | Cost of Production. |

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

se valoraron técnicamente tres tratamientos de mezcla empleados en la fabricación de ladrillos artesanales a base de suelo cemento en la vereda San Antonio del municipio de Consacá Nariño, los tratamientos están etiquetados así: T1:6:2 (1 cemento, 6 Subsuelo, 2 de Ripio), T1:4:1 (1 cemento, 4 Subsuelo, 1 de Ripio) y T1:8:3 (1 cemento, 8 Subsuelo, 3 de Ripio) según su dosificación. La evaluación se llevó a cabo mediante la fabricación de probetas, se les realizaron pruebas a compresión y absorción según lo recomiendan las normas vigentes en Colombia, principalmente NTC 5324, NTC 4017, I.N.V-E 614-13, entre otras. Y para el ensayo de erosión acelerada, se utilizó como guía la norma 41410 de España. Con el fin de determinar sus propiedades físico-mecánicas y establecer cual tratamiento es el más apropiado técnica y económicamente. Las probetas fueron fabricadas en el laboratorio de Construcciones de la universidad Surcolombiana, Neiva. Por cada tratamiento; se emplearon 12 unidades para ensayo a compresión, 9 para ensayo de absorción y 4 para ensayo de erosión acelerada. Todas las probetas cumplen con la resistencia mínima a compresión exigida en la NTC 5324, sin embargo, gracias al análisis estadístico descriptivo e inferencial, se concluye que el tratamiento T1:6:2 es el más apropiado técnica y económicamente, pues, su resistencia final a compresión es de 7,53Mpa, y su costo de producción es más bajo por \$138,89 con respecto al tratamiento T1:4:1 que resiste a compresión 7,89Mpa y es más costoso de producir ya que requiere más cemento en su dosificación.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

Three mixture treatments used in the manufacture of artisanal bricks based on soil cement were technically valued in the village of San Antonio in the municipality of Consacá Nariño, the treatments are labeled as follows: T1:6:2 (1 cement, 6 Subsoil, 2 of Gravel), T1:4:1 (1 cement, 4 Subsoil, 1 Gravel) and T1:8:3 (1 cement, 8 Subsoil, 3 Gravel) according to their dosage. The evaluation was carried out through the manufacture of test tubes, compression and absorption tests were carried out as recommended by the standards in force in Colombia, mainly NTC 5324, NTC 4017, I.N.V-E 614-13, among others. And for the accelerated erosion test, the Spanish standard 41410 was used as a guide. In order to determine its physical-mechanical properties and establish which treatment is the most technically and economically appropriate. The specimens were manufactured in the Construction Laboratory of the Surcolombiana University, Neiva. For each treatment; 12 units were used for the compression test, 9 for the absorption test and 4 for the accelerated erosion test. All the test pieces comply with the minimum compression resistance required in NTC 5324, however, thanks to the descriptive and inferential statistical analysis, it is concluded that the T1:6:2 treatment is the most technically and economically appropriate, since its final resistance compression is 7.53Mpa, and its production cost is lower by \$138.89 compared to the T1:4:1 treatment that resists compression 7.89Mpa and is more expensive to produce since it requires more cement in its dosage.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado: Jackson Andres Gil Hernandez

Firma:

Nombre Jurado: Henry Mauricio Castillo Salgado

Firma:

Nombre Jurado: Hernán Javier Castillo Cerón

Firma:

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.

Wilman Fabian Lopez Salinas

Iván Andrés Romero Colorado

Universidad Surcolombiana de Colombia
Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Civil
Neiva, Colombia

2023

Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.

Wilman Fabian Lopez Salinas

Iván Andrés Romero Colorado

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Civil

Director (a):

ING. Mauricio Duarte Toro

Línea de Investigación:

Suelo Cemento

Grupo de Investigación:

Materiales de Construcción

Universidad Surcolombiana de Colombia

Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Civil

Neiva, Colombia

2023

Dedicatoria

A mi madre Elizabeth Salinas, todo lo que soy y lo que puedo llegar a ser, es gracias a ti, por darme la vida, brindarme la oportunidad de educarme, por el amor y el apoyo incondicional en cada paso que doy, a mi padre y hermanos, a mi novia Has, que con el paso de los años se convirtió en el sentido de mi vida y siempre estuvo dispuesta a ayudarme cuando más la necesite, a mi abuela Justina, lamento profundamente que ya no estes entre nosotros, para entregarte feliz mi título como ING. Y lo pongas al lado de mis banderillas izadas en el colegio las cuales guardaste con tanto orgullo, a todos los amo.

Wilman Fabian Lopez Salinas

Esta tesis se la dedico ante todo a Dios, quien me ha acompañado y guiado durante todo el camino, derramando bendiciones, fortaleza y valor hacia mí, para permitirme llegar hasta este punto de mi carrera universitaria. A mis padres por su confianza y apoyo incondicional, por los valores que me inculcaron, sus consejos y por brindarme la oportunidad de tener una buena educación para superarme a mí mismo. A mis hermanos, mi novia, mis familiares, amigos y compañeros que han creído en mí desde siempre, y me han dado ánimo y motivación para llegar hasta aquí.

Iván Andrés Romero Colorado

Agradecimientos

Primeramente, a Dios, quien nos ha dado la vida, quien con su gracia nos permite seguir firmes ante las dificultades, que con su amor nos cobija en cada paso que damos.

A nuestras familias, quienes siempre nos brindaron la confianza, apoyo económico y motivación cuando las cosas no siempre salían como esperábamos.

A la universidad Surcolombiana que, como institución educativa, nos ha permitido formar nuestras competencias académicas, brindando los espacios y equipos necesarios para llevar a cabo cada ensayo de laboratorio requerido y con la ayuda de los distintos maestros que hemos tenido a lo largo de esta bonita experiencia, tenemos las herramientas para afrontar la vida profesional.

A nuestro director de tesis, el profesor Mauricio Duarte, quien nos brindó su ayuda desde el primer día, aceptando ser nuestro guía en esta etapa de nuestras vidas, confiando en nosotros y la tesis que deseábamos desarrollar, aportando ideas, asesoramientos, bibliografías y demás herramientas que, con su acompañamiento, nos permitieron desarrollar este proyecto de grado.

Al personal de laboratorio, el laboratorista Efren Mosquera y al ING. Maurio Castillo, quienes siempre nos brindaron un apoyo constante, aportando su conocimiento y experiencia el cual nos permitió aclarar dudas que surgían en cada etapa de este proyecto.

Al señor Luis E. Rosero, en la vereda San Antonio en Consacá Nariño, por su constante colaboración, ayudándonos a obtener las muestras de suelo realizando los envíos de material que fueran necesarios y sus conocimientos técnicos, que fueron el punto de partida.

Resumen

En el presente proyecto de grado se valoraron técnicamente tres tratamientos de mezcla empleados en la fabricación de ladrillos artesanales a base de suelo cemento en la vereda San Antonio del municipio de Consacá Nariño, los tratamientos están etiquetados así: T1:6:2 (1 cemento, 6 Subsuelo, 2 de Ripio), T1:4:1 (1 cemento, 4 Subsuelo, 1 de Ripio) y T1:8:3 (1 cemento, 8 Subsuelo, 3 de Ripio) según su dosificación. La evaluación se llevó a cabo mediante la fabricación de probetas, a los cuales se les realizaron pruebas a compresión y absorción según lo recomiendan las normas vigentes en Colombia, principalmente NTC 5324, NTC 4017, I.N.V-E 614-13, entre otras. Y para el ensayo de erosión acelerada, se utilizó como guía la norma 41410 de España. Esto con el fin de determinar sus propiedades físico-mecánicas y establecer cual tratamiento es el más apropiado técnica y económicamente.

Los ensayos de granulometría, textura de suelo y Proctor modificado. Las probetas fueron fabricadas en el laboratorio de Construcciones de la universidad Surcolombiana, Neiva. Por cada tratamiento; se emplearon 12 unidades para ensayo a compresión, 9 para ensayo de absorción y 4 para ensayo de erosión acelerada, evaluando en total 75 unidades entre los tres tratamientos.

Todas las probetas evaluadas cumplen con la resistencia mínima a compresión exigida en la NTC 5324, sin embargo, gracias al análisis estadístico descriptivo e inferencial realizado, se puede concluir que el tratamiento T1:6:2 es el más apropiado técnica y económicamente ya que su resistencia final a compresión es de 7,53Mpa, y su costo de producción es más bajo por \$138,89 con respecto al tratamiento T1:4:1 que resiste a compresión 7,89Mpa y es más costoso de producir ya que requiere más cemento en su dosificación.

Palabras clave: Probetas en Suelo-Cemento, Compresión, Absorción, Erosión Acelerada, Costo de Producción.

Abstract

In this degree project, three mixing treatments used in the manufacture of artisan bricks based on soil cement were technically evaluated in the village of San Antonio in the municipality of Consacá Nariño, the treatments are labeled as follows: T1:6:2 (1 cement , 6 Subsoil, 2 Gravel), T1:4:1 (1 cement, 4 Subsoil, 1 Gravel) and T1:8:3 (1 cement, 8 Subsoil, 3 Gravel) according to their dosage. The evaluation was carried out through the manufacture of test tubes, to which compression and absorption tests were carried out as recommended by the standards in force in Colombia, mainly NTC 5324, NTC 4017, I.N.V-E 614-13, among others. And for the accelerated erosion test, the Spanish standard 41410 was obtained as a guide. This in order to determine its physical-mechanical properties and establish which treatment is the most technically and economically appropriate.

The granulometry, soil texture and modified Proctor tests. The specimens were manufactured in the Construction Laboratory of the Surcolombiana University, Neiva. For each treatment; 12 units were used for the compression test, 9 for the absorption test and 4 for the accelerated erosion test, evaluating a total of 75 units between the three treatments.

All the tested specimens comply with the minimum compression resistance required in NTC 5324, however, thanks to the descriptive and inferential statistical analysis carried out, it can be concluded that the T1:6:2 treatment is the most technically and economically appropriate since its final compressive strength is 7,53Mpa, and its production cost is \$138,89 lower compared to the T1:4:1 treatment, which resists compression 7,89Mpa and is more expensive to produce since it requires more cement in its dosage.

Keywords: Soil-Cement Specimens, Compression, Absorption, Accelerated Erosion, Cost of Production.

Contenido

| | Pág. |
|--|-------------|
| Resumen | VIII |
| Lista de figuras | XIII |
| Lista de tablas..... | XV |
| Lista de Símbolos y abreviaturas | XVII |
| Capítulo 1 | 20 |
| 1. Introducción | 20 |
| 1.1 Antecedentes..... | 22 |
| 1.2 Justificación | 26 |
| 1.3 Objetivos | 28 |
| 1.3.1 Objetivos específicos..... | 28 |
| Capítulo 2 | 29 |
| 2. Marco teórico | 29 |
| 2.1 Suelo | 29 |
| 2.2 Propiedades Físicas del Suelo..... | 29 |
| 2.2.1 Granulometría..... | 29 |
| 2.2.2 Textura del Suelo Según el Método de Bouyoucos..... | 30 |
| 2.3 Tipos de Suelos Empleados en la Fabricación de Bloques en Suelo-Cemento..... | 30 |
| 2.3.1 Arenas..... | 30 |
| 2.3.2 Limos | 31 |
| 2.3.3 Arcillas | 31 |
| 2.4 Cemento..... | 31 |
| 2.5 Tipo de Cemento Empleado en la Fabricación de Bloques en Suelo-Cemento..... | 31 |
| 2.5.1 Cemento Portland..... | 31 |
| 2.6 Mezcla de Suelo-Cemento..... | 32 |
| 2.7 Ensayos de Laboratorio Para Evaluar las propiedades físico-mecánicas a probetas de suelo-cemento | 33 |
| 2.7.1 Ensayo Proctor Modificado | 33 |
| 2.7.2 Ensayo a la Compresión..... | 33 |
| 2.7.3 Ensayo Absorción de Agua..... | 33 |

| | | |
|--|--|-----------|
| 2.7.4 | Ensayo de Erosión Acelerada por Goteo | 34 |
| Capítulo 3 | | 35 |
| 3. Metodología | | 35 |
| 3.1 | Recolección de Información | 35 |
| 3.1.1 | Revisión Bibliográfica | 35 |
| 3.2 | Normatividad..... | 35 |
| 3.2.1 | Normatividad Internacional..... | 35 |
| 3.2.2 | Normatividad Nacional..... | 36 |
| 3.3 | Trabajo en Campo y Laboratorio | 37 |
| 3.3.1 | Selección y Caracterización del Suelo | 38 |
| 3.3.2 | Granulometría..... | 39 |
| 3.3.3 | Límites de Atterberg..... | 45 |
| 3.3.4 | Clasificación del Suelo Según S.U.C.S | 46 |
| 3.3.5 | Naturaleza de los materiales según NTC 5324 | 50 |
| 3.3.6 | Textura del Suelo | 51 |
| 3.3.7 | Determinación de la Densidad y Humedad Óptima de los Suelos Utilizados (Proctor Modificado) | 57 |
| 3.3.8 | Ensayo Compresión..... | 64 |
| 3.3.9 | Ensayo de Erosión Acelerada..... | 67 |
| 3.3.10 | Ensayo de Absorción | 68 |
| 3.4 | Costo de Producción | 71 |
| 3.5 | Análisis Estadístico..... | 72 |
| Capítulo 4 | | 73 |
| 4. Análisis de resultados | | 73 |
| 4.1 | Clasificación de los Suelos que Componen cada Tratamiento | 73 |
| 4.1.1 | Según SUCS..... | 73 |
| 4.1.2 | Según su Naturaleza..... | 73 |
| 4.1.3 | Según su textura | 74 |
| 4.2 | Comparación mecánica de las probetas de cada tratamiento | 74 |
| 4.2.1 | Ensayo Proctor modificado..... | 74 |
| 4.2.2 | Ensayo compresión | 74 |
| 4.2.3 | Ensayo de Absorción | 76 |
| 4.2.4 | Ensayo erosión acelerada por goteo..... | 77 |
| 4.3 | Costo de Producción | 77 |
| 4.4 | Análisis Estadístico..... | 78 |
| 4.5 | Análisis Comparativo con Otras Fuentes de Investigación..... | 83 |
| Capítulo 5 | | 87 |
| 5. Conclusiones y recomendaciones | | 87 |
| 5.1 | Conclusiones..... | 87 |
| 5.2 | Recomendaciones..... | 88 |

Bibliografía..... 99

Lista de figuras

| | Pág. |
|---|-------------|
| Figura 2-1: usos del cemento portland según su tipo, tomado de (Matallana,2006). | 32 |
| Figura 3-1: ubicación finca el paraíso. (fuente: Google Earth Pro)..... | 39 |
| Figura 3-2: proceso de recolección de subsuelo de manera manual. | 39 |
| Figura 3-3: Proceso de zarandeo por malla acerada armada de manera cilíndrica. | 40 |
| Figura 3-4: Proceso de pulverizado. | 40 |
| Figura 3-5: Muestras de subsuelo y ripio antes de secado en horno. | 41 |
| Figura 3-6: Muestras de subsuelo y ripio ingresadas al horno. | 41 |
| Figura 3-7: Proceso de tamizado de las muestras. | 42 |
| Figura 3-8: Curva granulométrica resultante del Ripio. | 43 |
| Figura 3-9: Curva Granulométrica resultante del subsuelo. | 45 |
| Figura 3-10: ensayo para determinar la plasticidad en el subsuelo..... | 46 |
| Figura 3-11: Clasificación del material, modificado de (NTC 5324-04, (Anexo4)). | 51 |
| Figura 3-12: Aplicación de agente dispersante y agitación de muestras de Subsuelo en la copa de dispersión. | 52 |
| Figura 3-13: vaciado de muestras (Subsuelo y Ripio) a cilindros de suspensión. | 52 |
| Figura 3-14: toma de temperatura y densidad de suspensión a las muestras de Subsuelo y Ripio. | 53 |
| Figura 3-15: Triangulo textural de USDA. | 56 |
| Figura 3-16: proceso de mezcla y compactación en el ensayo Proctor modificado..... | 59 |
| Figura 3-17: Grafica resultante del ensayo Proctor modificado para tratamiento T1:6:2. 63 | |
| Figura 3-18: Grafica resultante del ensayo Proctor modificado para tratamiento T1:4:1. 63 | |
| Figura 3-19: Grafica resultante del ensayo Proctor modificado para tratamiento T1:8:3. 64 | |
| Figura 3-20: proceso de fabricación de las probetas de los tres tratamientos. | 65 |
| Figura 3-21: ensayo de compresión maquina universal. | 66 |
| Figura 3-22: esquema del montaje requerido para ensayo de erosión acelerada, tomada de: (UNE 41410, 2008)..... | 67 |
| Figura 3-23: Ensayo de erosión acelerada. | 68 |
| Figura 3-24: ingreso de probetas al horno para secado por 24 horas. | 69 |
| Figura 3-25: probetas sumergidas en agua. | 70 |
| Figura 4-1: Grafica de resultados ensayo a compresión de todas las probetas por cada tratamiento. | 75 |
| Figura 4-2: Grafica de resultados ensayo de absorción de todas las probetas por cada tratamiento. | 76 |

| | |
|---|----|
| Figura 4-3: Diagrama de caja de bigotes resultante del análisis estadístico de los resultados de ensayo a compresión a probetas con edad de 28 días. | 79 |
| Figura 4-4: Grafica resultante del análisis de varianzas implementado en el modelo estadístico. | 81 |
| Figura 4-5: Grafica resultante del supuesto estadístico de independencia. | 82 |

Lista de tablas

| | Pág. |
|---|-------------|
| Tabla 3-1: resultados ensayo de granulometría para el ripio. | 42 |
| Tabla 3-1(continuación): resultados ensayo de granulometría para el ripio. | 43 |
| Tabla 3-2: resultados ensayo de granulometría para el subsuelo. | 44 |
| Tabla 3-3: Clasificación de Suelos según S.U.C.S, tomado de: (NTC 1504) | 47 |
| Tabla 3-4: interpolación para hallar la apertura nominal por donde pasa el 60% del Ripio. | 48 |
| Tabla 3-5: interpolación para hallar la apertura nominal por donde pasa el 30% del Subsuelo. | 49 |
| Tabla 3-6: interpolación para hallar la apertura nominal por donde pasa el 60% del Subsuelo. | 49 |
| Tabla 3-7: Resultados Densidad y Temperatura Ensayo de Bouyoucos, Subsuelo. | 53 |
| Tabla 3-8: Corrección de lecturas del hidrómetro según la ecuación de sedimentación de Fischer-Oden..... | 53 |
| Tabla 3-8 (Continuación): Corrección de lecturas del hidrómetro según la ecuación de sedimentación de Fischer-Oden. | 54 |
| Tabla 3-9: Resultados Densidad y Temperatura Ensayo de Bouyoucos, Ripio..... | 55 |
| Tabla 3-10: porcentaje de composición de cada tipo de tratamiento. | 58 |
| Tabla 3-11: cantidad de material requerido para cada tratamiento. | 58 |
| Tabla 3-12: Resultados ensayo Proctor modificado para tratamiento T1:6:2 (Modificado de: (guía de laboratorio de mecánica de suelos, USCO))..... | 60 |
| Tabla 3-13: Resultados ensayo Proctor modificado para tratamiento T1:4:1 (Modificado de: (guía de laboratorio de mecánica de suelos, USCO))..... | 61 |
| Tabla 3-14: Resultados ensayo Proctor modificado para tratamiento T1:8:3 (Modificado de: (guía de laboratorio de mecánica de suelos, USCO))..... | 62 |
| Tabla 3-15: Tabla resumen de los resultados obtenidos del ensayo a compresión..... | 66 |
| Tabla 3-16: Resistencia a la erosión, criterios de aceptación o rechazo, modificado de: (UNE 41410,2008). | 68 |
| Tabla 3-17: porcentaje de absorción de las probetas por cada tratamiento. | 71 |
| Tabla 3-18: costo de producción unidad de adobe en pesos colombianos. | 71 |
| Tabla 4-1: Análisis de estadística descriptiva de los resultados de compresión de probetas a los 28 días. | 78 |
| Tabla 4-2: Resultados análisis de varianza de la resistencia a compresión a probetas con edad de 28 días..... | 80 |

| | |
|---|----|
| Tabla 4-3: Resultados análisis de varianza de la resistencia a compresión a probetas con edad de 28 días..... | 80 |
| Tabla 4-4: Resultados supuesto de normalidad..... | 81 |
| Tabla 4-5: Resultados supuesto de varianza constante..... | 81 |
| Tabla 4-6: Resultados supuesto de independencia. | 82 |
| Tabla 4-7: Comparación de resultados con otras tesis. | 83 |
| Tabla 4-7 (continuación): Comparación de resultados con otras tesis. | 84 |

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

| Símbolo | Término | Unidad SI | Definición |
|----------------------|----------------------------|------------------------------------|------------|
| <i>W</i> | Peso retenido | gr | Tabla 3-1 |
| °C | Grado Celsius | | Tabla 3-6 |
| <i>C_u</i> | Coeficiente de uniformidad | | Tabla 3-4 |
| <i>C_c</i> | Coeficiente de curvatura | | Tabla 3-4 |
| <i>Mpa</i> | Megapascal | 10 ⁶ *N/mm ² | Tabla 3-14 |
| <i>D</i> | Diámetro | m | |
| <i>L</i> | Altura | m | |

Símbolos con letras griegas

| Símbolo | Término | Unidad SI | Definición |
|---------|---------|-----------|----------------|
| μ | Micrón | | Capítulo 2.3.1 |

Subíndices

| Subíndice | Término |
|-----------------------|--|
| <i>D₁₀</i> | Abertura nominal del tamiz por el cual pasa el 10% del suelo |
| <i>D₃₀</i> | Abertura nominal del tamiz por el cual pasa el 30% del suelo |
| <i>D₆₀</i> | Abertura nominal del tamiz por el cual pasa el 60% del suelo |
| <i>F_c</i> | Factor de corrección |

| Subíndice | Término |
|-----------|---|
| L_{c1} | Lectura hidrómetro corregida a los 40 segundos |
| L_{c2} | Lectura hidrómetro corregida a las 2 horas |
| L_h | Lectura hidrómetro a los 40 segundos |
| L_{h2} | Lectura hidrómetro a las 2 horas |
| P_m | Peso muestra en gramos |
| | Masa sumergida en agua del espécimen |
| W_{ss} | Peso cilindro saturado luego de inmersión en agua fría, en gramos |
| W_s | Masa seca del espécimen antes de inmersión, en gramos |

Abreviaturas

| Abreviatura | Término |
|----------------|--|
| <i>ASTM</i> | American Society for Testing and Materials |
| <i>HRB</i> | Highway Research Board |
| <i>ICONTEC</i> | Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación |
| <i>IDU</i> | Instituto de Desarrollo Urbano |
| <i>INVÍAS</i> | Instituto Nacional de Vías |
| <i>NRS-10</i> | Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente |
| <i>NP</i> | No Plástico |
| <i>NTC</i> | Norma Técnica Colombiana |
| <i>S.U.C.S</i> | Sistema Unificado de Clasificación del Suelo |
| <i>SW</i> | Arena bien gradada |
| <i>T1:6:2</i> | Tratamiento con la dosificación 1:6:2 (1: cemento, 6: subsuelo y 2: ripio) |
| <i>T1:4:1</i> | Tratamiento con la dosificación 1:4:1 (1: cemento, 4: subsuelo y 1: ripio) |
| <i>T1:8:3</i> | Tratamiento con la dosificación 1:8:3 (1: cemento, 8: subsuelo y 3: ripio) |
| <i>UNE</i> | Asociación Española de Normalización |

| Símbolo | Término | Unidad SI | Definición |
|------------|----------------------------|------------------------------------|------------|
| <i>W</i> | Peso retenido | gr | Tabla 3-1 |
| °C | Grado Celsius | | Tabla 3-6 |
| <i>Cu</i> | Coeficiente de uniformidad | | Tabla 3-4 |
| <i>Cc</i> | Coeficiente de curvatura | | Tabla 3-4 |
| <i>Mpa</i> | Mega pascal | 10 ⁶ *N/mm ² | Tabla 3-14 |
| <i>D</i> | Diámetro | m | |
| <i>L</i> | Altura | m | |

Capítulo 1

1. Introducción

El suelo-cemento es un material alternativo que ha sido tema de estudio a nivel mundial en el campo de la ingeniería civil, que se define como una técnica de estabilización de suelos para mejorar sus propiedades físicas. La mezcla suelo-cemento se ha venido utilizando desde hace varios años en la fabricación de bloques, dando lugar a investigaciones internacionales en países como Perú, Argentina, España, etc., e investigaciones nacionales, en algunas ciudades de Colombia como, Villavicencio y Bucaramanga. Todas estas investigaciones han surgido generalmente con el fin de aprovechar la materia prima (suelos) local de cada país, reducir costos de producción y reducir el impacto negativo al medio ambiente.

En Colombia, debido a la escasez de recursos y, a la falta de vías y transporte en las zonas rurales, se genera una gran dificultad para la construcción de viviendas, ya que, generalmente es complicado para las personas de dichas zonas comprar o colocar en obra los materiales de construcción. Por ésta razón, se hace necesario realizar estudios e investigaciones sobre la fabricación de bloques con suelo-cemento, con el fin de brindar a las comunidades un producto alternativo, sustentable y más económico para construir; incentivándolos a su vez, al aprovechamiento de la diversidad de suelos locales para extraer la materia prima y ayudar directamente al medio ambiente, reduciendo los impactos negativos que producen los procesos de fabricación de otros tipos de bloques, como los mampuestos de arcilla cocida.

Esta investigación parte de un interés emprendedor, académico y profesional, donde, a través de estudios y pruebas de laboratorio, se busca evaluar mediante los ensayos de resistencia a compresión, erosión y absorción tres dosificaciones distintas, que para la investigación se nombraron según las proporciones de sus componentes como: Tratamiento T1:6:2 (1 cemento, 6 Subsuelo, 2 de Ripio), tratamiento T1:4:1 (1 cemento, 4 Subsuelo, 1 de Ripio) y tratamiento T1:8:3 (1 cemento, 8 subsuelo, 3 de Ripio) los cuales son empleados en la fabricación de ladrillos ecológicos artesanales en la empresa “Ladrillos ecológicos Nariño” del señor Luis Eduardo Rosero, en la vereda de San Antonio.

Cabe mencionar que, para cada tratamiento de mezcla se elaboraron (25) probetas de suelo estabilizadas con cemento distribuyéndose de la siguiente manera: (4) probetas para el ensayo de erosión acelerada, (9) para el ensayo de absorción y (12) probetas para fallar durante la prueba de resistencia a la compresión seca, obteniendo así, un total de (75) probetas de suelo-cemento entre los 3 tratamientos, las cuales, una vez elaboradas, se resguardaron en un lugar a temperatura ambiente, donde se les realizó su respectivo curado y se conservaron allí hasta los 28 días para alcanzar la máxima resistencia mecánica de cada muestra y proceder a la aplicación de los ensayos ya mencionados.

Para llevar a cabo el desarrollo y la estructura de la investigación, fue necesario hacer una distribución de los diversos temas tratados por capítulos. A continuación, se muestra una breve descripción del contenido de desarrollo en cada capítulo.

El capítulo I recopila todos los antecedentes e información de investigación relacionada con bloques y/o probetas de suelo-cemento a nivel internacional, nacional y local, donde fue necesario hacer referencia a artículos, revistas, tesis, libros, documentos y otras fuentes para obtener un conocimiento trascendental del tema y enfatizar el desarrollo de la investigación. Además, esta sección, describe la justificación y los objetivos de la investigación, así como los estándares nacionales e internacionales aplicados durante todo el proyecto.

El capítulo II cubre todo el marco teórico que define el suelo-cemento y sus componentes, incluyendo sus propiedades físico-mecánicas, sus características y clasificación, todo esto con el fin de encontrar una buena base teórica que permitiera la conceptualización de los temas de estudio dentro de la investigación. Así mismo, se definen los conceptos de los ensayos que fueron aplicados a las probetas de suelo-cemento para establecer cuál de los tres tratamientos evaluados en el presente proyecto de grado es más óptimo técnica y económicamente.

El capítulo III presenta el desarrollo de la metodología de la investigación, donde, se realizó principalmente, una recolección de información y revisión bibliográfica acerca de los procesos de fabricación de los bloques y probetas de suelo-cemento, los equipos utilizados, la caracterización de los materiales, los ensayos aplicados, etc. Además, se describe el trabajo en campo, en donde se realiza la extracción del suelo en la cantera Boquerón, Consacá-Nariño, el proceso de pulverización, la selección y caracterización del suelo, para alcanzar las condiciones ideales.

Posteriormente éstos materiales fueron llevados al laboratorio de construcciones de la facultad de ingeniería de la Universidad Surcolombiana, para fabricar probetas de suelo-cemento teniendo en cuenta los tres tratamientos empleados en la producción de los bloques ecológicos de suelo-cemento, y finalmente, se evalúan mediante ensayos para determinar el tratamiento más óptimo técnica y económicamente, los cuales son aplicados según los requisitos estipulados en las normas nacionales e internacionales.

Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.

Los ensayos que se realizaron a las probetas de suelo-cemento en el laboratorio fueron los siguientes: Granulometría, textura del suelo, Proctor modificado, ensayo a la compresión seca, ensayo de erosión acelerada y ensayo de absorción.

El capítulo IV se ocupa de los análisis de resultados de la investigación, allí se procesaron todos los datos y resultados obtenidos, con el fin de presentarlos de forma ordenada, comprensible y conclusiva, desde un punto de vista profesional. Este capítulo es muy importante, porque en base al análisis, se comprueba si los resultados fueron los esperados.

El capítulo V contiene las conclusiones y recomendaciones, en el que se concluye que los objetivos de la investigación fueron alcanzados, según los resultados obtenidos.

1.1 Antecedentes

Antes de hablar de la mezcla de suelo-cemento o tierra-cemento, es importante destacar que, desde siglos pasados se ha venido utilizando la tierra (suelo) como un material alternativo para construcción de viviendas y que a lo largo del tiempo se ha estudiado más profundamente sobre los tipos de suelos, las características, la clasificación y sus diferentes propiedades físicas o mecánicas. De tal manera, no todos los suelos son útiles para usar como material alternativo de construcción, puesto que, hay que tener en cuenta la resistencia que estos puedan ofrecer, la cual es muy variable según las características y propiedades que contenga el suelo. Por la misma razón, también se han venido utilizando estabilizantes para los suelos, obteniendo una mezcla uniforme y homogénea para aumentar las condiciones de resistencia y durabilidad, entre ellos se usa: el cemento, la cal, la ceniza, etcétera.

En ese sentido, Toirac Corral (2008), realizó una investigación en Santo Domingo, República Dominicana, con el objetivo encontrar qué suelos de Santo Domingo y demás regiones del país, eran aptos para el diseño de mezcla de suelo cemento, para ello, aplicó principalmente un sistema de clasificación de suelos llamada HRB (Highway Research Borad, Inglaterra). Seguidamente, aplicó el ensayo de proctor modificado para los diferentes suelos que quiso investigar, para hallar la humedad óptima de cada uno y así obtener la máxima densidad del suelo. Posteriormente, se procedió a la fabricación de nuevas probetas con porcentajes de cemento que variaban entre 5 y 10% y en algunos ensayos, se emplearon 10 y 14% de cemento; a todas las probetas se les hizo un proceso de curado durante 4 días y 3 veces al día, y se ensayaron a los 7 días después desde el día su fabricación.

La resistencia a la compresión no debe ser menor a 20kg/cm^2 teniendo una absorción igual o menor al 20%; algunos suelos se ensayaron entre los 15 y 30 días debido a que el proceso de endurecimiento en dichos suelos suele ser más lento. En conclusión, la factibilidad tanto técnica como económica del uso del suelo como materia prima para la producción y uso de diversos materiales y elementos para ser usados en el desarrollo de proyectos para la construcción de viviendas y sus servicios dirigida a los sectores poblacionales de medianos y bajos recursos, permitirá sin dudas racionalizar al máximo el empleo de los medios disponibles, constituyendo esto una verdadera alternativa de solución para reducir el déficit de viviendas y mejorar las condiciones del hábitat de estos sectores.

Seguidamente, se encuentra la investigación de Cid Falseto (2012), la cual fue realizada en la Universidad Politécnica de Madrid, España, teniendo como objetivos dos grandes bloques. Principalmente, con el fin de conocer el ámbito normativo de los materiales de tierra, estudiando los ensayos de durabilidad aplicados a aquellos materiales que se han fabricado a base de tierra cruda usando normativas internacionales y aplicarle los ensayos de erosión y absorción a los bloques de tierra comprimida (BTC) fabricados en España; y aportar nuevos procedimientos de ensayos o mejorar, los que se encuentran descritos en la norma española UNE 41410.

Para esto, el autor se basó tanto a normas internacionales como a normas locales (UNE) para aplicar los ensayos de absorción y erosión, para aplicar a los bloques de tierra comprimida (BTC) fabricados en España. Por lo tanto, utilizó dos ensayos de aplicación para la erosión (Ensayo de erosión por pulverizado de agua a presión y ensayo de erosión por caída libre) y dos ensayos de aplicación para la absorción (Ensayo de absorción por capilaridad y ensayo de absorción de agua por inmersión total). A su vez, para estos mismos ensayos, utilizó procedimientos diferentes de algunas normas internacionales y los procedimientos descritos en la norma española UNE 41410, con el fin de obtener un amplio conocimiento y encontrar el procedimiento más ajustado para los diferentes tipos de bloque de tierra comprimida de España.

De la investigación, se pudo concluir que los bloques de tierra comprimida es una técnica constructiva que cuenta con una gran normalización en el ámbito internacional para la caracterización del bloque, sus características geométricas y dimensionales, y sus características de aspecto y físico-químicas. De los ensayos realizados, se concluye que el ensayo de erosión por pulverizado de agua a presión, es un método aplicable sólo para los bloques de tierra comprimida con estabilizantes, al igual que el ensayo de absorción de agua por capilaridad; y el ensayo de absorción por caída de agua libre sólo es válido para los bloques de tierra comprimida sin estabilizar, ya que, al aplicarse en bloques de tierra con estabilizantes, no produciría ningún cambio en el elemento.

Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.

Holgado y Salinas (2015), realizaron una investigación en la Universidad Católica de Santa María, situada en la ciudad Arequipa-Perú, con el fin de aportar al desarrollo tecnológico para la fabricación de ladrillos de tierra comprimida como elementos no estructurales de albañilería y a su vez, que éstos puedan cumplir con los requisitos exigidos en la norma peruana. Los autores definieron 3 fases experimentales de laboratorio, con el fin de ir hallando las combinaciones óptimas y finalmente llegar al ladrillo definitivo. El principal criterio de selección entre las 3 fases experimentales fue la resistencia a la compresión después de los 7 días de curado.

De acuerdo a las 3 fases experimentales, se seleccionaron finalmente 3 diseños definitivos, con los cuales se fabricaron grandes cantidades de ladrillos para realizar los ensayos de laboratorio de unidades y prismas de albañilería según la norma para determinar sus propiedades físicas y mecánicas, donde, los mejores resultados entre los 3 diseños definitivos fueron 84,40 kg/cm² en cuanto a la resistencia a la compresión y 18,1% en cuanto a la absorción.

En conclusión, se obtiene que la dosificación más adecuada para la fabricación de los ladrillos suelo - cemento, comprende una composición entre 55% – 65 % arena, 10 – 20% limos y 25% arcillas y la cantidad de agua para llegar a la humedad óptima, debe estar entre el 14% y 15%. Por otro lado, se concluye que se cumplió con el objetivo general, ya que, con dicha investigación se logró corroborar y aportar al desarrollo del país, al elaborar un ladrillo de suelo-cemento no estructural de albañilería utilizando suelos locales para satisfacer la necesidad de los habitantes de Arequipa-Perú.

A nivel nacional se encuentran estudios tal como el de Pinto Lozano et al. (2016), el cual se hizo en la Universidad Cooperativa de Colombia, sede Villavicencio Meta, como proyecto de grado. El objetivo de este trabajo se basó en la elaboración de bloques estructurales con suelo-cemento para determinar las ventajas y desventajas que proporcionan. Para ello, se basaron en la Norma Técnica Colombiana (NTC 5324).

Los autores utilizaron un suelo arcilloso que extrajeron por sus medios de una cantera local, donde la dosificación establecida era 1kg de cemento por 8kg del suelo arcilloso según el diseño del proyecto, la cantidad de agua no tuvo dosificación, puesto que el proceso para humedecer la mezcla consistía en un proceso empírico, donde a medida que añadían agua, determinaban la consistencia de la mezcla agarrando un puñado en la mano y dejándola caer desde cierta altura.

Posteriormente, fabricaron los bloques de suelo cemento con perforación vertical en la máquina prensadora artesanal. Una vez transcurrido 7 días desde el día de la fabricación y de 7 días de curado, procedieron a fallar 3 bloques escogidos de todo el lote, para saber cuál era la resistencia

a la compresión promedio, obteniendo como resultado una resistencia a la compresión promedio de 13,6 MPa, el cual se comparó con la resistencia mínima a la compresión para bloques con perforaciones verticales que establece el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), donde se estipula que la resistencia mínima es 5 MPa. Por último, hicieron otra comparación entre los bloques de arcilla cocida y los bloques de suelo-cemento con perforaciones verticales obteniendo que, la resistencia mínima de los bloques de arcilla es de 24,7MPa, es decir, 55% mayor que la resistencia mínima de los bloques de suelo-cemento.

En conclusión, se define que los bloques de suelo-cemento son aptos para construcciones de un piso, que se requiere un proceso mecánico y artesanal a diferencia de los bloques de arcilla, los cuales son fabricados mediante un proceso largo e industrializado y que cumplen con los requisitos de las normas NSR-10 Y NTC 5324, para ser usados en muros y divisiones de viviendas de un piso.

Medina y Yancy (2019), llevaron a cabo una investigación en la Universidad Pontificia Bolivariana de la ciudad de Bucaramanga, Colombia y se titula como “Comparación de las Propiedades Mecánicas de Bloques de Suelo-cemento Modificados con Polvo de Cerámica” donde tuvieron como objetivo, hacer una comparación entre las características mecánicas de los bloques de suelo-cemento y los bloques con polvo de cerámica con cemento. Por lo tanto, inicialmente procedieron a realizar los debidos ensayos de granulometría, límite plástico y Proctor modificado tanto para los bloques de suelo-cemento como para los bloques de suelo-cerámica, basándose en las normas colombianas: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) y las normas del Instituto Nacional de Vías (INVÍAS),

En esta investigación se elaboraron 30 bloques por cada una de las tres dosificaciones establecidas para los bloques de suelo-cemento y 30 bloques de suelo-cerámica; y luego, aplicaron los ensayos de ruptura a los 7, 14 y 28 días, para hallar la resistencia a la compresión y el ensayo de capilaridad para hallar la absorción de los bloques.

Según los resultados, se pudo observar que el mejor promedio de esfuerzo de rotura para ambos tipos de bloques, se obtuvo con el 8% de cemento para los bloques de suelo-cemento; y el 8% de polvo de cerámica para los bloques de suelo-cerámica. Además, se pudo analizar con los resultados promedios de la resistencia a la compresión obtenida a los 28 días que, los bloques de suelo-cemento, presentan mejores resultados, ya que, para dichos bloques, la resistencia aumenta proporcionalmente cuando aumenta el tiempo; caso contrario ocurre con los bloques de suelo-cerámica, donde la resistencia disminuye a medida que transcurre el tiempo.

En conclusión, de acuerdo a las exigencias descritas por la NTC 5324, los bloques de suelo-cerámica no son aceptables como bloques de suelo comprimido, ya que no cumplen con la resistencia mínima requerida en la norma, aunque, es importante destacar que, ésta norma rige

Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.

para los bloques de suelo-cemento, por lo tanto, los criterios mínimos de aceptación no están ajustados para estudiar los bloques de suelo-cerámica. También se concluye, que las características halladas en los bloques de suelo-cemento muestra un mejor comportamiento en los ensayos de compresión seca y capilaridad que los bloques de suelo-cerámica.

1.2 Justificación

En la actualidad, existen muchas plantas artesanales e industriales dedicadas a la producción de unidades de ladrillos convencionales (arcilla cocida), por ejemplo, a nivel local se encuentran ladrilleras como la Andina en Neiva, el Cortijo en Campoalegre, Arcillas prensadas del Huila, situada en Garzón, etc; éstas plantas tienen como objetivo brindar un producto de construcción para satisfacer las necesidades locales de cada región del país, aunque, el proceso producción de dichos ladrillos trae como consecuencia impactos negativos al medio ambiente. Páez (2020) menciona que, el proceso de fabricación de los ladrillos de arcilla cocida implica un gran impacto ambiental y mayormente sobre el aire, ya que, los hornos empleados para los ladrillos de arcilla liberan a través de sus chimeneas, enormes cantidades de humos y vapores con gases tóxicos y material particulado, entre ellos: Óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y monóxido de carbono, debido a la combustión incompleta del combustible, los cuales pueden extenderse no solo sobre el entorno inmediato, sino que pueden llegar a lugares alejados, ya sea porque se propague por el aire o por el agua.

Durante el proceso, también se libera material particulado el cual se compone de polvo y cenizas del carbón, partículas de arcillas o combustible quemado, contaminantes que al ser inhalados por las personas pueden causar problemas de salud, como enfermedades pulmonares, cardiovasculares y cerebrovasculares. Sumado a esto, Páez (2020), también menciona el impacto que genera la fabricación tradicional de ladrillos sobre el suelo, donde expone que, la liberación de los gases nocivos en la atmósfera, logran llegar hasta el suelo, provocando en este, alteraciones que modifican su composición natural.

Desde el momento en que ocurre la excavación para la extracción de la arcilla, se lleva a cabo la tala y quema del manto vegetal, lo que paulatinamente va degradando el suelo hasta el punto en que es poco factible su recuperación. Un suelo en estas condiciones requiere entre 25 y 30 años para que recupere su fertilidad. Pero este lapso puede ser más largo, si el suelo estuvo expuesto a la concentración de desechos tóxicos como monóxido de carbono y óxido de azufre,

pues sus propiedades físicas, biológicas y químicas pueden verse alteradas, haciendo que el suelo no sea apto para el cultivo.

Por tal motivo, se ha implementado como alternativa a nivel mundial, la fabricación de ladrillos de tierra con cierto contenido de cemento para ofrecer un producto más económico en la industria ladrillera que sirva para cubrir las necesidades de la sociedad y fundamentalmente, favorecer el medio ambiente, disminuyendo las emisiones de gases contaminantes que se esparcen en el aire, puesto que, el proceso para la producción de estos ladrillos ecológicos no requiere de cocción. En Perú, Holgado (2015) realizó un proyecto sobre la fabricación de ladrillos de suelo-cemento para albañilería no estructural, esto lo hizo para brindar a la comunidad de la ciudad Arequipa, un material de construcción alternativo que pudiera cubrir la dificultad que tienen las personas de construir en sus zonas rurales y de la misma manera, disminuir la contaminación al medio ambiente.

El presente proyecto de grado, también guarda una estrecha relación con lo que se mencionó anteriormente, debido a que, el origen del proyecto parte de la idea emprendedora del señor Luis Eduardo Rosero, de la vereda San Antonio, Consacá-Nariño, quien investigó y analizó las diferentes ventajas que ofrecen los ladrillos ecológicos de suelo-cemento, y así, posteriormente formar la empresa **“Ladrillos ecológicos Nariño”** y brindar un producto alternativo de construcción de muros, a partir de un proceso de fabricación totalmente convencional, fácil y rápido donde se utiliza una máquina prensadora artesanal y de uso manual que no emite gases contaminantes que causen efectos negativos al medio ambiente; para favorecer principalmente a la población de las veredas y zonas rurales de Nariño.

El fabricante procedió inicialmente a la producción de los ladrillos ecológicos de suelo-cemento con tres dosificaciones diferentes, en las cuales variaba los contenidos porcentuales de cemento portland entre el 8% y 15% y el Ripio entre el 18% y 25%, mientras que, el contenido del Subsuelo siempre fue el mismo para todas las dosificaciones, cabe mencionar que el Subsuelo y el Ripio fueron los suelos extraídos y utilizados para la mezcla de suelo-cemento. Fue necesario realizar un estudio técnico en laboratorio a cada uno de los materiales que componen los diseños de mezcla empleadas en la producción de los ladrillos ecológicos, con el fin de determinar si son materiales aptos para ser empleados en la construcción, dentro de las instalaciones de la universidad Surcolombiana de Neiva-Huila, en el laboratorio de construcciones, se toman las tres dosificaciones utilizadas en la producción de bloques de suelo-por la empresa **“Ladrillos ecológicos Nariño”** y se etiquetan como tratamiento T1:6:2, tratamiento T1:4:1 y T1:8:3 con base en su dosificación, para luego, fabricar probetas cilíndricas y evaluar mediante los ensayos de absorción, erosión acelerada por goteo y compresión, el tratamiento más óptimo técnica y económicamente.

Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.

1.3 Objetivos

Evaluar la resistencia a compresión, absorción y erosión acelerada por goteo de tres diseños de mezcla de suelo cemento utilizado en la fabricación de ladrillos artesanales en la vereda San Antonio de Consacá Nariño.

1.3.1 Objetivos específicos

- Realizar la caracterización de los materiales que son utilizados para la fabricación de ladrillos ecológicos que son elaborados en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.
- Estimar la densidad y humedad óptima a los tres tratamientos mediante el ensayo de compactación Proctor modificado.
- Establecer un análisis estadístico para determinar cuál de los 3 diseños (tratamientos) de mezcla presenta el mejor desempeño en cuanto a la resistencia a la compresión, absorción y erosión y compararlos con los requerimientos mínimos exigidos por la NTC 5324.

Capítulo 2

2. Marco teórico

2.1 Suelo

El suelo tiene varias definiciones desde el punto de vista que se esté estudiando. Siendo así, desde el campo de ingeniería civil, el suelo es definido como:

Un agregado natural no cementado de granos minerales y materia orgánica en descomposición, con líquido y gas en los espacios vacíos entre las partículas que lo constituyen. El ingeniero, compara al suelo como un material de construcción que tienen una importante influencia en el diseño y construcción de una obra de ingeniería. (Das, 1999)

Según Duque (2016), el suelo en ingeniería civil, son los sedimentos no consolidados de partículas sólidas fruto de la alteración de las rocas, o los suelos transportados por agentes como el agua, el hielo o el viento, con la contribución de la gravedad como fuerza direccional selectiva y que puede tener, o no materia orgánica. El suelo es un cuerpo natural heterogéneo.

2.2 Propiedades Físicas del Suelo

2.2.1 Granulometría

La granulometría o análisis granulométrico es el proceso de laboratorio que permite determinar la proporción en que participan los granos del suelo, en función de sus tamaños. Esa proporción se llama gradación del suelo.

La separación de un suelo en diferentes fracciones, según sus tamaños, resulta necesaria para la conocer su competencia y eficiencia, desde la perspectiva geotécnica. Esta acción comprende dos tipos de ensayos: por tamizado para las partículas grueso-granulares (gravas y arenas) y el de sedimentación para la fracción fina del suelo (limos y arcillas); estos últimos, dado su comportamiento plástico, no son discriminables por tamizado. (Duque y Escobar, 2016, p. 58)

2.2.2 Textura del Suelo Según el Método de Bouyoucos

Se define la textura del suelo como: La proporción (en porcentaje de peso) de las partículas menores a 2 mm de diámetro (arena, arcilla y limo) existentes en los horizontes del suelo. La textura del suelo, varía de unos horizontes a otros, siendo una característica propia de cada uno de ellos por lo que es tan importante el análisis de los diferentes horizontes del suelo uno a uno. La determinación de la textura de cada uno de los horizontes del suelo, es un procedimiento que puede realizarse en la fase de descripción de perfil, o bien en la fase de laboratorio. (Moreno et. al, s.f)

El ensayo de Bouyoucos, es un método que consiste determinar la cantidad de sólidos en suspensión por medio de un hidrómetro. Esto es posible debido a que la profundidad del centro de flotación del hidrómetro varía con la cantidad de sólidos en suspensión, por lo tanto, se sumergirá en mayor extensión cuanto menor sea la densidad de la suspensión. Se deben controlar todos los parámetros que influyen en la velocidad de sedimentación, especialmente la temperatura de la suspensión. (Norma Técnica Colombiana (NTC 62999), 2018, p. 2)

2.3 Tipos de Suelos Empleados en la Fabricación de Bloques en Suelo-Cemento

2.3.1 Arenas

Las arenas son fragmentos de rocas sedimentarias, no cementados, cuyos tamaños oscilan entre 0,06 y 2,0 mm. Las arenas pueden encontrarse en estado suelto o densamente compactadas o pueden estar mezcladas con granos o cantos, con lo cual conforman una mezcla conocida como cascajo. También pueden estar mezcladas con limos o arcillas cuyas partículas son lo suficientemente pequeñas como para ocupar solamente los espacios intersticiales entre los granos individuales de arena.

Los granos de arena pueden ser angulosos, subangulosos, redondeados o subredondeados, según el grado de desgaste por abrasión. Como se expuso anteriormente, los granos angulosos indican que la arena ha estado expuesta al desgaste por un corto periodo o sin ninguno, como lo presentan las arenas residuales. (Eugenia, 1987, p. 85-86).

2.3.2 Limos

Corresponde a la fracción fina de los suelos y se originan también por la meteorización de rocas sedimentarias, cuyas partículas microscópicas tienen un tamaño que oscila entre los 0,002 y 0,06 mm (2,0 a 60,0 μ). Los limos pueden ser orgánicos e inorgánicos.

Los limos inorgánicos pueden ser de mucha o ninguna plasticidad, o sea, aquella propiedad que tienen de ser moldeados o remodelados de acuerdo con el contenido de agua y que les da esa consistencia plástica. Los limos orgánicos son de mediana plasticidad y sus partículas están mezcladas con otras de materia orgánica finamente dividida; en ocasiones, ese material orgánico está constituido por partículas muy finas, visibles y en estado parcial de descomposición. Son además muy compresibles y de permeabilidad baja. (Eugenia, 1987, p. 86).

2.3.3 Arcillas

Es el producto de la meteorización de las rocas por alteración química y orgánica; son las partículas más abundantes de grano muy fino, microscópico y submicroscópico, cuyo tamaño está comprendido entre aquellas partículas menores de 0,0002 mm (0,2 μ) para las más finas y 0,002 mm (2,0 μ) para las más grandes.

Las arcillas son más plásticas cuando poseen un alto contenido de humedad; en cambio, cuando están secas, son duras, sin que de ellas pueda desprenderse polvo cuando son frotadas con los dedos. Son además prácticamente impermeables, muy compresibles si están saturadas y de alta resistencia cuando están secas. (Eugenia, 1987, p. 86-87).

2.4 Cemento

Es un material pulverizado que además de óxido de calcio contiene sílice, alúmina y óxido de hierro y que forma, por adición de una cantidad apropiada de agua, una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto en el agua como en el aire. Se excluyen las cales hidráulicas, las cales aéreas y los yesos. (NTC 31, 2020)

2.5 Tipo de Cemento Empleado en la Fabricación de Bloques en Suelo-Cemento

2.5.1 Cemento Portland

El cemento Portland es un cemento hidráulico producido mediante la pulverización de clínker, compuesto esencialmente de silicatos de calcio hidráulico cristalino y que usualmente contiene

Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.

uno o más de los siguientes elementos: agua, sulfato de calcio, hasta el 5% de caliza y de adiciones de proceso. (NTC 31, 2020)

Gomá (1979), define el cemento Portland como un conglomerante o un cemento hidráulico que, cuando se mezcla con áridos, agua y fibras de acero discontinuas y discretas tiene la propiedad de conformar una masa pétreo resistente y duradera denominado hormigón. Es el más usual en la construcción y es utilizado como conglomerante para la preparación del hormigón (llamado concreto en varias partes de Hispanoamérica). Como cemento hidráulico tiene la propiedad de fraguar y endurecer en presencia de agua, al reaccionar químicamente con ella para formar un material de buenas propiedades aglutinantes.

La Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales (ASTM) clasifica a los cementos Portland en 8 tipos enumerándolos del I al V, tal como lo muestra la Figura 2-1, incluyendo los cementos Portland Tipo I-A, II-A y III-A, que son los mismos Tipo I, II y III, excepto que durante el proceso de pulverización del Clínter se le adiciona un incorporador de aire, que le da al concreto propiedades especiales. (Matallana, 2019, p. 42)

| Tipo de cemento | Uso | Ejemplo de uso |
|-----------------|--|---|
| I | Cuando no es requerida ninguna de las propiedades especiales de los otros cementos | Estructuras de concreto en general como vigas, columnas, losas y muros, entre otras, donde no son requeridas propiedades especiales de los demás cementos. |
| II | Cuando precisa moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación | Estructuras de drenaje, donde las concentraciones de sulfatos en aguas subterráneas son moderadas. Estructuras de masa considerable, como en muros de contención o cimentaciones masivas. Aguas freáticas o de infiltración, con moderadas concentraciones de sulfatos. |
| III | Cuando se requieren altas resistencias iniciales | En estructuras donde hay que desformaletar pronto, como estructuras industrializadas, o cuando la estructura debe ponerse al servicio rápidamente. |
| IV | Cuando es necesario bajo calor de hidratación | Para estructuras de concreto masivo, como grandes presas, donde existen altas diferencias de temperatura entre el interior y la parte externa de la estructura. |
| V | Cuando necesita alta resistencia a los sulfatos | Para estructuras en contacto con suelos o aguas con alto contenido de sulfatos. |

Figura 2-1: usos del cemento portland según su tipo, tomado de (Matallana, 2006).

2.6 Mezcla de Suelo-Cemento

La mezcla de suelo con cemento es considerada como una técnica de estabilización de suelos granulares, que conlleva un proceso de hidratación en el cual se desarrolla una red de enlaces

entre las partículas del suelo, esto acarrea un aumento en la capacidad portante y un notable incremento en la resistencia mecánica del terreno. Dicha técnica se encuentra establecida en las normas del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) y el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) en el artículo 350 de las especificaciones generales de construcción de carreteras. (García, 2019)

2.7 Ensayos de Laboratorio Para Evaluar las propiedades físico-mecánicas a probetas de suelo-cemento

2.7.1 Ensayo Proctor Modificado

Es un ensayo que permite determinar la relación entre el contenido de humedad óptimo y el peso unitario seco del suelo, mediante un proceso de compactación como se define en la norma colombiana I.N.V-E 142-13 (INVIAS, 2013)

El objetivo de este ensayo es encontrar la densidad máxima del suelo, con la cual se garantiza la mejor compactación y, en consecuencia, se obtiene la mayor resistencia del material; pero, para lograr esto, se debe determinar la humedad óptima.

2.7.2 Ensayo a la Compresión

Es un método que se realiza con el fin de determinar las propiedades de un material sometido a cargas de compresión en aumento continuo, donde la probeta se comprime hasta el punto de falla o agrietamiento, y en base a esto, se determina la resistencia a la compresión del material.

En Colombia, la norma I.N.V-E 614 establece los requisitos para aplicar el ensayo de la resistencia a la compresión para cilindros preparados de suelo-cemento. En la norma se proporcionan dos procedimientos alternos; método A y método B, en donde la principal diferencia entre estos, son las dimensiones del cilindro a emplear para cada procedimiento.

2.7.3 Ensayo Absorción de Agua

“La capacidad de absorción de agua de un ladrillo se define como el cociente entre el peso de agua que absorbe y su propio peso cuando está seco. Se expresa en tantos por cientos” (García, 1975).

Según esta definición, el porcentaje de absorción se determina a través de la ecuación (2,1):

$$\% \text{ absorcion} = \frac{100 * (W_{SS} - WS)}{WS} = \quad (2,1)$$

Donde:

Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.

W_{ss} = masa sumergida en agua del espécimen saturado luego de inmersión en agua fría, en g.

W_s = masa seca del espécimen antes de inmersión, en g.

En Colombia, la norma colombiana (NTC 4017, 2018), establece los requisitos y el procedimiento del ensayo de absorción de agua para unidades de mampostería y otros materiales de arcilla, para la determinación del coeficiente de absorción de un bloque.

2.7.4 Ensayo de Erosión Acelerada por Goteo

Consiste en liberar una pequeña corriente de agua durante 10min a través de un tubo de 5mm de diámetro interior, desde un depósito cuyo nivel se mantiene de forma constante a 1500mm de altura del espécimen, que se encuentra inclinado 27° (Middleton 1987, como se citó en Cid Falseto, 2012). La profundidad de la oquedad producida por el goteo que cae sobre el bloque se mide con una varilla de 3mm de diámetro.

Para aplicar el ensayo de erosión acelerada a las probetas de suelo-cemento fue necesario acudir a una norma española (UNE 41410, 2008), ya que, las normas colombianas no contemplan este ensayo para bloques de suelo-cemento, ni para probetas de suelo-cemento.

Capítulo 3

3. Metodología

3.1 Recolección de Información

Siempre teniendo como guía las normas técnicas y demás reglamentaciones que rigen en el país, primeramente, se recolectó información necesaria para avanzar con el estudio en cuestión sobre la evaluación físico – mecánica de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillos para la construcción de edificaciones.

3.1.1 Revisión Bibliográfica: Se realizará principalmente empleando la base de datos de la biblioteca central “Rafael Cortés Murcia” de la Universidad Surcolombiana, como también de bibliotecas online u otros sitios web a través del navegador Google, donde se pueda encontrar otros documentos de tesis, artículos científicos y demás bibliografía que permita obtener información de los siguientes temas a consultar:

- Normas técnicas para caracterización de suelos.
- Norma técnica para resistencia de unidades de ladrillo en suelo cemento.
- Pruebas y ensayos de laboratorio para obtención de propiedades mecánicas aplicables a los cilindros elaborados en laboratorio a base de suelo-cemento.

3.2 Normatividad

3.2.1 Normatividad Internacional

Norma española UNE 41410 de diciembre de 2008: Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques, definiciones, especificaciones y métodos de ensayo.

Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.

3.2.2 Normatividad Nacional

Norma técnica colombiana 5324 de 01 de diciembre de 2004: Bloques de suelo cemento para muros y divisiones. Definiciones. Especificaciones. Métodos de ensayo. Condiciones de entrega.

Norma técnica colombiana 4017 de 23 de mayo de 2018: Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla.

Norma técnica colombiana 1522 de 28 de noviembre de 1979 reprobada el 24 de noviembre de 1999: Ensayo para determinar la granulometría por tamizado.

Norma técnica colombiana 1504 de 21 de junio de 2000: clasificación de suelos para propósitos de ingeniería (Sistema de Clasificación Unificada de Suelos).

Manual de Normas para Ensayo de Materiales para Carreteras I.N.V-E. 614-13: Resistencia a la compresión de cilindros moldeados de suelo-cemento.

Manual de Normas para Ensayo de Materiales para Carreteras I.N.V-E. 410-12: Resistencia a la compresión de concretos.

Manual de Normas para Ensayo de Materiales para Carreteras I.N.V-E. 125-13: Determinación del límite líquido de los suelos.

Manual de Normas para Ensayo de Materiales para Carreteras I.N.V-E. 126-13: Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos.

Manual de Normas para Ensayo de Materiales para Carreteras I.N.V-E. 142-13: Relaciones de humedad, peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado de compactación).

Manual de Normas para Ensayo de Materiales para Carreteras I.N.V-E. 106-13: preparación de muestras de suelo por vía seca para análisis granulométrico y determinación de las constantes físicas

Manual de Normas para Ensayo de Materiales para Carreteras I.N.V-E. 107-13: preparación de muestras de suelo por vía húmeda para análisis granulométrico y determinación de las constantes físicas.

3.3 Trabajo en Campo y Laboratorio

Se recaudó toda la información necesaria que permitió realizar una caracterización adecuada de los materiales empleados en la fabricación de estas unidades de ladrillo y un paso a paso de la forma en la que se obtendrán resultados que dejen en evidencias las propiedades técnicas de los elementos en estudio, de la siguiente manera:

- **Recolección de muestras:** el subsuelo como materia prima de la mezcla que compone cada tratamiento a evaluar se extrajo de manera manual retirando la capa vegetal y posteriormente realizando apiques en el subsuelo de la finca donde se fabrican los bloques ecológicos de manera artesanal, el ripio se obtuvo comprándolo de un depósito de materiales para la construcción ubicado en la vereda Bombona en Nariño.

En campo, se procedió a tamizar las muestras para obtener partículas de tamaños no mayores a 10 mm y luego se pasó a una pulverizadora artesanal para reducir el tamaño los suelos a partículas de tamaño promedio de 3mm, obtenidas las condiciones ideales de las muestras, se llevaron al laboratorio para realizar la respectiva caracterización respetando lo exigido por la NTC 1522 (para determinar la granulometría por tamizado).

Se realizó la clasificación de estos suelos según su naturaleza como lo indica la NTC 5324 en el anexo A, determinando su textura empleando el método de Bouyoucos y una clasificación mas según el S.U.C.S (Sistema Unificado de Clasificación del Suelo), todo esto con el fin de comprender mejor el comportamiento que pueden presentar estos suelos al ser estabilizados con cemento y desde un comienzo, estimar si realmente son suelos indicados para trabajar constructivamente teniendo en cuenta las recomendaciones que dan las normativas anteriormente mencionadas.

- Si los agregados presentan una buena caracterización, indicando que sean suelos útiles para ser empleados en el área de la ingeniería civil, es necesario realizar otros ensayos de laboratorio que permitan obtener más datos sobre sus respectivas propiedades físicas, teniendo como guía la norma I.N.V-E 125-13, se determinó el límite plástico y con la norma I.N.V-E 126-13, se obtuvo el índice de plasticidad.
- Una vez culminados todos los ensayos de laboratorio a realizar en subsuelo y el ripio, se empleó el método A de la norma I.N.V-E 142-13 para determinar la densidad y humedad óptima requerida en cada tratamiento, con el fin de asegurar la mejor compresión posible en la cual las propiedades físicas y mecánicas de cada dosificación presentan mejores resultados.
- Se procede fabricar cilindros respetando los tres (3) diseños de mezcla empleados en la fabricación de unidades de ladrillo en suelo cemento, cada tratamiento se compone de

Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.

los dos suelos evaluados anteriormente, dosificados en distintos porcentajes; la mezcla de estos dos suelos se estabilizó empleando cemento portland de uso general.

Para simplificar el desarrollo de este capítulo, se asignó una nomenclatura para cada diseño de mezcla según su composición de la siguiente manera: el primer tratamiento se denominó T1:6:2 ya que su dosificación es 11,11% cemento, 66,66% Subsuelo y 22,23% de Ripio; el tratamiento dos se llamará T1:4:1 con 15% cemento, 66.66% de subsuelo y 18.33% de Ripio; finalmente el tratamiento tres, que adoptará el nombre T1:8:3 con 8% de cemento, 66.66% de subsuelo y 25,34% de Ripio.

Con el fin de determinar cuál tratamiento es el que mejor propiedad física presenta, fue necesario emplear la I.N.V-E-614-13; que nos presenta dos métodos para en ensayo a compresión de cilindros moldeados en suelo-cemento, características físicas, muestreo, calibración de equipos, entre otras cosas; para el proyecto se empleó el método A, ya que es el método más utilizado en la práctica.

Con los resultados obtenidos del ensayo de compresión, se realizó una comparación con la resistencia mínima exigida a los bloques de suelo cemento según la NTC 5324 (Bloque de Suelo Cemento) y con esto se verificó si son diseños de mezcla aptos o no y a su vez, determinar su clasificación según la resistencia mínima a compresión obtenida. También, se evaluó su capacidad de absorción aplicando los ensayos de la NTC 4017 (método para muestreo y ensayos de unidades de mampostería) y teniendo en cuenta otras normas internacionales como la UNE 41410:2008 para aplicar el ensayo de erosión acelerada por goteo.

3.3.1 Selección y Caracterización del Suelo

Los componentes utilizados en los tratamientos planteados inicialmente en este proyecto de grado, se obtuvieron quitando la capa vegetal y luego haciendo apiques de manera manual en el subsuelo de la finca el Paraíso ubicada en la de la vereda San Antonio de Consacá-Nariño Figura 3-1. Fue necesario el uso de herramientas manuales como pica, pala, paladraga, tal como se observa en la Figura 3-2. El ripio se obtuvo comprándolo en un depósito de materiales llamado "Surti Materiales Bombona" ubicado en la vereda Bombona de Consacá Nariño y estos lo adquieren de la mina de piedra ubicada en la vereda la Floresta del municipio de Ancuya, departamento de Nariño.



Figura 3-1: ubicación finca el paraíso. (fuente: Google Earth Pro)



Figura 3-2: proceso de recolección de subsuelo de manera manual.

3.3.2 Granulometría

Una vez se sustrae el subsuelo, estando aun en la planta artesanal ubicada en Consacá Nariño, el material pasa por una malla acerada armada de forma cilíndrica que permite eliminar rocas de gran tamaño o residuos vegetales tal como se muestra en la Figura 3-3. Posteriormente se deposita el subsuelo en una pulverizadora, obteniendo partículas más uniformes, cuyos tamaños varían entre 3mm y 10mm, véase Figura 3-4. Para el Ripio no es necesario aplicar el proceso anterior ya que es un material que cuenta con el tamaño uniforme deseado y con muy pocas impurezas.

Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.



Figura 3-3: Proceso de zarandeo por malla acerada armada de manera cilíndrica.



Figura 3-4: Proceso de pulverizado.

Después de que las muestras están libres de impurezas y tienen el tamaño de partícula deseado, ver Figura 3-5, las muestras de suelos son enviadas desde el departamento de Nariño a la Ciudad de Neiva-Huila para continuar con los ensayos en el laboratorio de Construcciones de la Universidad Surcolombiana. Una vez en el laboratorio, se procede a dejar secar las muestras en

el horno a una temperatura de 110°C durante un periodo de 24 horas, este proceso de secado también se realizó con el ripio de cantera como se puede apreciar en la Figura 3-6.



Figura 3-5: Muestras de subsuelo y ripio antes de secado en horno.



Figura 3-6: Muestras de subsuelo y ripio ingresadas al horno.

Con las muestras de suelo y ripio libres de humedad gracias al proceso de secado y listas para ser evaluadas, se procede a realizar el proceso de tamizado, pasando desde el tamiz 3/4" hasta el N° 200, según lo recomienda la NTC 1522. Ver Figura 3-7.

Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.



Figura 3-7: Proceso de tamizado de las muestras.

Los resultados del ensayo de granulometría para el ripio se pueden apreciar en la tabla 3-1 y su respectiva curva granulométrica en la Figura 3-8.

| Granulometría Ripio | | | | | |
|---------------------|---------------|----------------|------------|----------------------|--------------------|
| Tamiz | Abertura (mm) | W retenido(gr) | % Retenido | % Retenido Acumulado | % En peso que pasa |
| 3/8" | 10 | 0 | 0,00% | 0,00% | 100% |
| N° 4 | 4,76 | 37 | 1% | 1% | 99% |
| N°8 | 2,38 | 957,06 | 31% | 32% | 68% |
| N°10 | 2 | 206 | 7% | 39% | 61% |
| N°12 | 1,68 | 366 | 12% | 51% | 49% |
| N°16 | 1,19 | 186 | 6% | 57% | 43% |
| N°20 | 0,84 | 197 | 6% | 63% | 37% |
| N°30 | 0,59 | 221,5 | 7% | 70% | 30% |
| N°40 | 0,426 | 190 | 6% | 76% | 24% |

Tabla 3-1: resultados ensayo de granulometría para el ripio.

| Granulometría Ripio | | | | | |
|---------------------|---------------|----------------|------------|----------------------|--------------------|
| Tamiz | Abertura (mm) | W retenido(gr) | % Retenido | % Retenido Acumulado | % En peso que pasa |
| N°50 | 0,3 | 79,625 | 3% | 79% | 21% |
| N°100 | 0,15 | 336,07 | 11% | 90% | 10% |
| N°140 | 0,105 | 84 | 3% | 93% | 7% |
| N°200 | 0,075 | 69 | 2% | 95% | 5% |
| Fondo | | 162,7 | 5% | 100% | |
| Total | | 3092,0 | 100,00% | 0,00% | |
| Peso muestra (g) | 3092 | | | | |
| peso tara (g) | 16 | | | | |
| % perdidas | 0,00% | | | | |

Tabla 3-1(continuación): resultados ensayo de granulometría para el ripio.

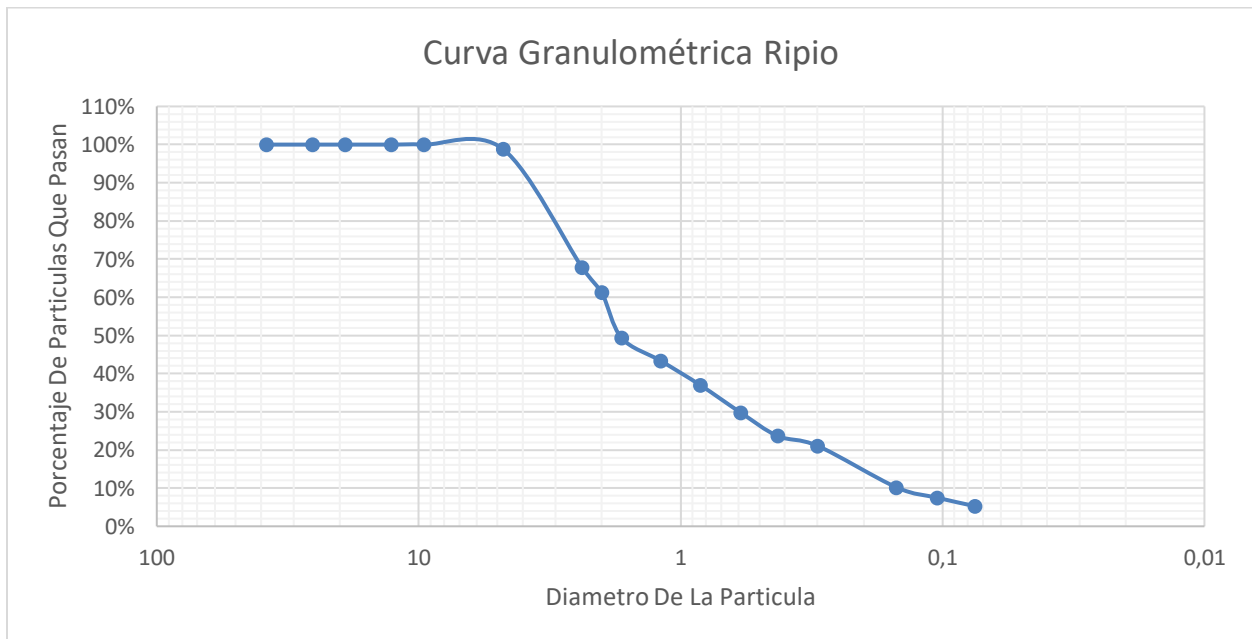


Figura 3-8: Curva granulométrica resultante del Ripio.

Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.

Los resultados del ensayo de granulometría para el subsuelo se pueden apreciar en la tabla 3-2 y su respectiva curva granulométrica en la Figura 3-9.

| Granulometría Subsuelo | | | | | |
|------------------------|---------------|----------------|------------|----------------------|--------------------|
| Tamiz | Abertura (mm) | W retenido(gr) | % Retenido | % Retenido Acumulado | % En peso que pasa |
| ¾" | 19,05 | 0 | 0,00% | 0,00% | 100% |
| ½" | 12,7 | 0 | 0,00% | 0,00% | 100% |
| 3/8" | 10 | 0 | 0,00% | 0,00% | 100% |
| N° 4 | 4,76 | 33,5 | 1% | 1% | 99% |
| N°8 | 2,38 | 492 | 16% | 17% | 83% |
| N°10 | 2 | 173 | 6% | 23% | 77% |
| N°12 | 1,68 | 235 | 8% | 30% | 70% |
| N°16 | 1,19 | 461 | 15% | 45% | 55% |
| N°20 | 0,84 | 312,5 | 10% | 55% | 45% |
| N°30 | 0,59 | 411,5 | 13% | 68% | 32% |
| N°40 | 0,426 | 280,5 | 9% | 77% | 23% |
| N°50 | 0,3 | 201 | 6% | 84% | 16% |
| N°100 | 0,15 | 193 | 6% | 90% | 10% |
| N°140 | 0,105 | 174 | 6% | 96% | 4% |
| N°200 | 0,075 | 53,5 | 2% | 98% | 2% |
| Fondo | | 75 | 2% | 100% | |
| Total | | 3095,5 | 99,98% | 0,02% | |
| Peso muestra (g) | 3096 | | | | |
| peso tara (g) | 16 | | | | |
| % perdidas | 0,02% | | | | |

Tabla 3-2: resultados ensayo de granulometría para el subsuelo.

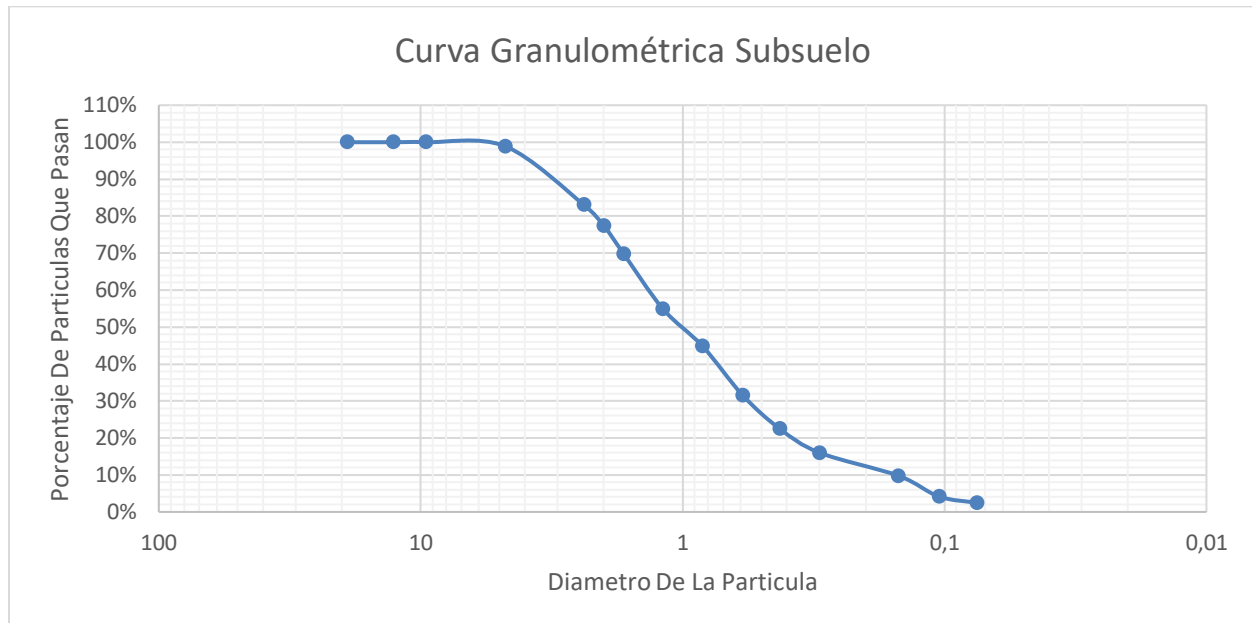


Figura 3-9: Curva Granulométrica resultante del subsuelo.

3.3.3 Límites de Atterberg

Para determinar el límite líquido de los suelos que componen los tres tipos de tratamientos que se van a evaluar en el presente proyecto de grado, es necesario emplear el procedimiento descrito en la norma I.N.V-E 125-13, para el límite plástico e índice de plasticidad se tomó como guía la norma I.N.V-E 126-13 y de igual manera, las normas I.N.V-E 106 Y 107 que especifican como se deben preparar las muestras por vía húmeda y seca para el análisis granulométrico y determinación de las constantes físicas de las muestras traídas al laboratorio (Subsuelo y Ripio).

Se tamizó el subsuelo usando el tamiz N° 40, posteriormente se tomaron 80g de muestra tamizada, para iniciar con el ensayo que nos permite obtener el límite plástico. Se adicionó agua según lo recomendado por la norma, hasta obtener una consistencia que permita formar esferas, una vez conformada la esfera, se divide en dos para formar una masa de figura elipsoidal de manera manual según el proceso descrito en el capítulo 8.2.1 de la I.N.V-E 126-13.

En el subsuelo no fue posible realizar figuras elipsoidales con el diámetro exigido (3,2 mm) ya que, a medida que se le iba dando forma a la masa, cuando alcanzaban un diámetro de aproximadamente 5mm, la muestra se desbarataba, por tal razón no fue posible realizar el ensayo completo, ver Figura 3-10.

Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.



Figura 3-10: ensayo para determinar la plasticidad en el subsuelo.

El proceso anterior fue efectuado en el Ripio, y se obtuvo el mismo comportamiento presentado en el subsuelo, no fue posible moldear la masa con forma elipsoidal respetando el diámetro exigido por la normativa para continuar con el ensayo y obtener datos que nos permitieran conocer el límite líquido de cada material.

Según la I.N.V-E 126-13 en el capítulo 9,3 especifica que tanto el límite líquido como el límite plástico son números enteros. Si el límite líquido o el plástico no se pueden determinar, o si el límite plástico es igual o mayor que el límite líquido, se concluirá que el suelo es no plástico (NP). En ambas muestras no fue posible realizar el ensayo completo, por ende, no hay datos para procesar, según la norma, ambos materiales, tanto Ripio como Subsuelo, deben ser considerados suelos no plásticos (NP).

3.3.4 Clasificación del Suelo Según S.U.C.S

Luego de realizar el ensayo de granulometría, se acudió al Sistema Unificado de Clasificación del Suelo (S.U.C.S), ya que este es el más empleado para clasificar suelo en la construcción, de acuerdo a la distribución granulométrica un suelo se considera granular si más del 50% es retenido en el tamiz N° 200 o es considerado cohesivo cuando más del 50% pasa por este mismo tamiz.

En el caso del Ripio. Según los resultados del ensayo en el capítulo (3.3.2) del presente documento, se puede apreciar que el 95% del material queda retenido en el tamiz N° 200 lo cual nos indica que es un suelo granular, ahora solo queda definir si es una grava o una arena.

Para determinar si el Ripio es una grava o una arena, se verifica el material retenido en el tamiz N°4, donde, si menos del 50% queda retenido, se considera una arena, de lo contrario es una grava. Para este material, según su granulometría, se determina que es una arena, ya que se retiene el 1%.

Según los criterios de la tabla 3-3 tomada de la NTC 1504, se debe tener en cuenta el porcentaje de material que pasa en el tamiz N°200, donde se tiene que, si el material que pasa es menor al 5%, la arena se clasifica únicamente entre, arena bien gradada (W) y arena mal gradada (P), si el porcentaje que pasa se encuentra entre el 5% y el 12% es necesario realizar una clasificación intermedia de símbolos dobles (W) ó (P) y arenas limosas (M) ó arenas arcillosas (C). Esta clasificación dependerá del índice de plasticidad (IP), el índice de uniformidad (C_u) y el índice de curvatura (C_c) y finalmente, si el porcentaje que pasa del tamiz N° 200 es mayor al 12% se clasifica como arena M ó C.

| Criterio para la asignación de símbolos y nombres de grupo usando ensayos de laboratorio ^A | | | | Clasificación de suelos | |
|---|---|--|--|-------------------------|---|
| | | | | Símbolo de grupo | Nombre de grupo ^B |
| SUELOS GRUESOGRANULARES Más del 50 % retenido en el tamiz No. 200 | Gravas Más del 50 % de la fracción gruesa retenida en el tamiz No. 4 | Gravas limpias Menos del 5 % de finos ^C | Cu ≥ 4 y 1 ≤ Cc ≤ 3 ^E Cu < 4 y/o 1 > Cc > 3 ^E | GW GP | Grava bien gradada ^F Grava mal gradada ^F |
| | | Gravas con finos Más del 12 % de finos ^C | Finos clasificados como ML o MH Finos clasificados como CL o CH | GM GC | Grava limosa ^{F, G, H} Grava arcillosa ^{F, G, H} |
| | Arenas 50 % o más de la fracción gruesa pasa el tamiz No. 4 | Arenas limpias Menos del 5 % de finos ^D | Cu ≥ 6 y 1 ≤ Cc ≤ 3 ^E Cu < 6 y/o 1 > Cc > 3 ^E | SW SP | Arena bien gradada ^I Arena mal gradada ^I |
| | | Arenas con finos Más del 12 % de finos ^D | Finos clasificados como ML o MH | SM | Arena limosa ^{I, R, T} |
| | | | Finos clasificados como CL o CH | SC | Arena arcillosa ^{I, R, T} |
| | | | | | |
| Suelos finogranulares 50 % o más pasan el tamiz No. 200 | Limos y Arcillas LL menor de 50 | Inorgánico | IP > 7 y sobre o por encima de la línea A IP < 4 o por debajo de la línea A | CL ML | Arcilla baja plasticidad ^{K, L, M} Limo ^{K, L, M} |
| | | Orgánico | LL (secado al horno) < 0,75 LL (sin secar al horno) | OL | Arcilla orgánica ^{K, L, M, N} Limo orgánico ^{K, L, M, O} |
| | Limos y Arcillas LL mayor o igual a 50 | Inorgánico | IP sobre o por encima de la línea A IP por debajo de la línea A | CH MH | Arcilla alta plasticidad ^{K, L, M} Limo elástico ^{K, L, M} |
| | | Orgánico | LL (secado al horno) < 0,75 | OH | Arcilla orgánica ^{K, L, M, P} |
| | | | LL (sin secar al horno) | | Limo orgánico ^{K, L, M, Q} |
| | | | | | |
| SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS | Predomina materia orgánica, de color oscuro y olor orgánico | | PT | Turba | |

Tabla 3-3: Clasificación de Suelos según S.U.C.S, tomado de: (NTC 1504)

El porcentaje de Ripio que pasa por el tamiz 200 está entre el 5 y el 12, por lo cual fue necesario realizar una clasificación intermedia, a continuación, se procede a sacar los coeficientes C_c y C_u mediante las siguientes ecuaciones:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (3,1)$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}} \quad (3,2)$$

Donde:

Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.

D10: Es la abertura nominal del tamiz por el cual pasa el 10% del suelo.

D30: Es la abertura nominal del tamiz por el cual pasa el 30% del suelo.

D60: Es la abertura nominal del tamiz por el cual pasa el 60% del suelo.

Según se puede apreciar en la tabla 3-1 que muestra la granulométrica del Ripio, para D10, la abertura nominal es de 0,149 mm ya que el 10% del material pasa por el tamiz N°100, para el D30, la abertura nominal es de 0,59 mm ya que el 30% del material pasa por el tamiz N°30, sin embargo, no hay una abertura nominal del tamiz por el cual pase el 60% del suelo con exactitud, ya que por el tamiz N°10 pasa el 61% y el tamiz N°12 pasa el 49%, por tal razón es necesario realizar una interpolación entre estos tamices para obtener el valor exacto de la abertura nominal donde pase exactamente el 60%. Ver tabla 3-4.

| Interpolación | | |
|---------------|------------|-----------------------|
| No. de Tamiz | % que pasa | apertura nominal (mm) |
| 12 | 49 | 1,68 |
| | 60 | 1,97 |
| 10 | 61 | 2 |

Tabla 3-4: interpolación para hallar la abertura nominal por donde pasa el 60% del Ripio.

Luego de la interpolación, se puede apreciar que la abertura nominal por donde pasa el 60% del material es de 1,97mm; los valores correspondientes para el Ripio son: D10= 0,149 mm, D30=0,595 mm, D60= 0,197 mm, se reemplazan estos valores en las ecuaciones 3,1 y 3,2 para hallar los coeficientes de la siguiente manera.

- $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{1,97mm}{0,149mm} = 13,22 > 6$
- $C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}} = \frac{0,595^2 mm}{0,15mm \cdot 1,97mm} = 1,2$ "esta entre 1 y 3"

Según la tabla 3-3 traída de la NTC 1504, para considerarse como una arena bien gradada, debe cumplir con dos requisitos, donde C_u , debe ser mayor a 6, y a su vez C_c , este entre el valor 1 y 3, de lo contrario, si no se cumple uno de los dos, pasa a ser una arena mal gradada. Con base a los resultados obtenidos, se puede decir que el Ripio es una arena bien gradada W.

En el caso del subsuelo, se debe realizar el mismo procedimiento para determinar su clasificación, según la granulometría realizada en el capítulo 3.2.2 del presente documento, se puede apreciar

que queda retenido el 98% de la muestra en el tamiz N°200, por tal razón se tiene que también es un suelo grueso, seguidamente se debe definir si es una grava o una arena.

Para determinar si el Subsuelo es una grava o arena, se debe tener en cuenta las indicaciones de la tabla 3-3 del presente documento, el porcentaje de suelo retenido en el tamiz N°4 es el 1%, menos del 50% de toda la muestra tamizada, por tal razón, el subsuelo también es una arena. Ahora queda definir si es una arena bien gradada o mal gradada; se chequea que el porcentaje que pasa por el tamiz N°200 es menor que el 5%, se debe calcular una vez más los coeficientes de uniformidad y curvatura.

Según se puede apreciar en la tabla 3-2 que muestra la granulométrica del Subsuelo, para D10, la apertura nominal es de 0,149 mm ya que el 10% del material pasa por el tamiz N°100, sin embargo, no hay una apertura nominal del tamiz por el cual pase el 30% del Subsuelo con exactitud, ya que por el tamiz N°40 pasa el 23% y el tamiz N°30 pasa el 32%, por tal razón es necesario realizar una interpolación entre estos tamices para obtener el valor exacto de la apertura nominal donde pase exactamente el 30%. Ver tabla 3-5.

| Interpolación | | |
|---------------|------------|-----------------------|
| No. de Tamiz | % que pasa | apertura nominal (mm) |
| 40 | 23 | 0,420 |
| | 30 | 0,556 |
| 30 | 32 | 0,595 |

Tabla 3-5: interpolación para hallar la apertura nominal por donde pasa el 30% del Subsuelo.

La apertura nominal donde pasa el 30% de la muestra es de 0,556 mm. De igual manera se debe realizar una interpolación para hallar la apertura nominal donde pase el 60% del Subsuelo con exactitud, ya que por el tamiz N°16 pasa el 55% y en el tamiz N°12 pasa el 70%, por tal razón es necesario realizar nuevamente una interpolación entre estos tamices para obtener el valor exacto de la apertura nominal donde pase exactamente el 60%. Ver tabla 3-6.

| Interpolación | | |
|---------------|------------|-----------------------|
| No. de Tamiz | % que pasa | apertura nominal (mm) |
| 16 | 55 | 1,19 |
| | 60 | 1,353 |
| 12 | 70 | 1,68 |

Tabla 3-6: interpolación para hallar la apertura nominal por donde pasa el 60% del Subsuelo.

Luego de la interpolación, se puede apreciar que la apertura nominal por donde pasa el 60% del material es de 1,353mm.

Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.

Finalmente, los valores correspondientes para el Subsuelo son: D10= 0,149 mm, D30=0,556 mm, D60= 1,353 mm, se reemplazan estos valores en las ecuaciones 3,1 y 3,2 para hallar los coeficientes de la siguiente manera.

- $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{1,353mm}{0,149mm} = 9,08 > 6$
- $C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}} = \frac{0,556^2mm}{0,149mm \cdot 1,353mm} = 1,53$ “esta entre 1 y 3”

Según la tabla 3-3 traída de la NTC 1504, para considerarse como una arena bien gradada, debe cumplir con dos requisitos, donde C_u , debe ser mayor a 6, y a su vez C_c , este entre el valor 1 y 3, de lo contrario, si no se cumple uno de los dos, pasa a ser una arena mal gradada. Con base a los resultados obtenidos, se puede decir que el Subsuelo, al igual que el Ripio, es una arena bien gradada W.

3.3.5 Naturaleza de los materiales según NTC 5324

En la NTC 5324, en su anexo A4, describe como se debe determinar la naturaleza de los suelos empleados en la fabricación de bloques en suelo-cemento y sus respectivas recomendaciones, según los valores obtenidos en el ensayo de granulometría, para el Subsuelo, el porcentaje de material que pasa por el tamiz N°200 que tiene la apertura de 80 micrones es de 2% y para el índice de plasticidad, según el ensayo realizado en laboratorio, descrito en el capítulo 3.2.3 del presente documento, el Subsuelo no presenta índice de plasticidad, los valores anteriormente mencionados se ven representados con el dibujo de un punto de color rojo dentro de la Figura 3-11. Para el Ripio, del ensayo de granulometría, el porcentaje que pasa por el tamiz N°200 es de 5% y según los resultados obtenidos en el capítulo 3.2.3 al igual que el subsuelo, tampoco presenta un índice de plasticidad, estos resultados se ven representados con el dibujo de un punto verde en la figura 3-11.

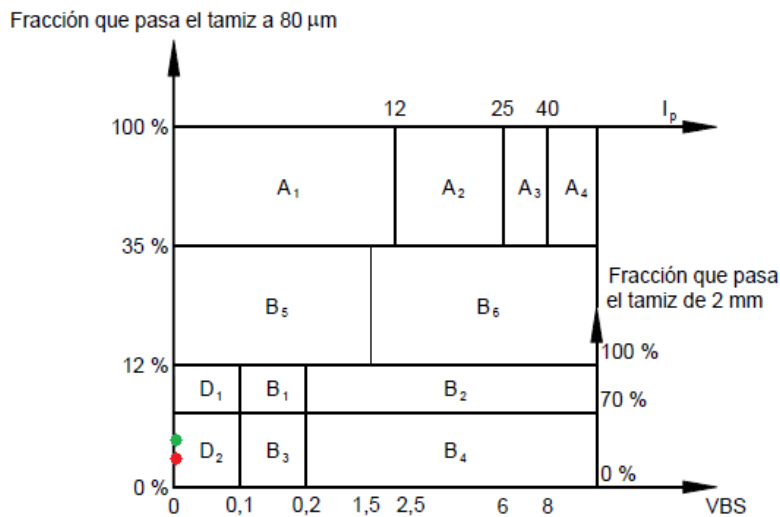


Figura 3-11: Clasificación del material, modificado de (NTC 5324-04, (Anexo4)).

Según la norma, ambos suelos entran en la clasificación D_2 , lo cual indica que es un material arenoso con necesidad de un aumento considerable de finos para ser aceptado.

3.3.6 Textura del Suelo

Para determinar la textura de los suelos que componen los tres tipos de tratamientos que se van a evaluar en el presente proyecto de grado, fue necesario emplear el método de Bouyoucos, que permite establecer la cantidad de sólidos en suspensión de las muestras traídas al laboratorio (Subsuelo y Ripio).

Primeramente, la muestra de subsuelo pasa por el tamiz de malla de 2mm para eliminar partículas que superen este tamaño o impurezas que puedan alterar los resultados del ensayo de laboratorio. Como el subsuelo presenta una composición arcillosa a primera vista (textura fina), en una tara metálica se depositan 50g del material ya tamizado anteriormente.

Entretanto, se preparan los reactivos a emplear como agentes dispersantes. En 1 litro de agua se procede a disolver 35,7g de hexametáfosfato de sodio (NaPO_3)₆ y 7,94g de carbonato de sodio (Na_2CO_3), seguidamente, la muestra de subsuelo se lleva a la copa de dispersión la cual se llenó con agua hasta 2" por debajo del borde de la copa, después, se agregaron 10ml del agente dispersante y se dejó reposar la mezcla por 5 min, como el sub suelo presenta una textura fina, durante un periodo de 10 min se agitó la muestra de suelo junto con los agentes dispersantes, ver Figura 3-12.

Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.



Figura 3-12: Aplicación de agente dispersante y agitación de muestras de Subsuelo en la copa de dispersión.

Pasado el tiempo requerido de agitación en la copa de dispersión, se procede a vaciar la mezcla en un cilindro de suspensión de 1000 ml, ver Figura 3-13, después se realizó una agitación durante 30 segundos dentro del cilindro, con la ayuda de un cronómetro, se contabilizaron 40 segundos para tomar las primeras lecturas de temperatura y densidad de suspensión utilizando un termómetro y un hidrómetro respectivamente, se dejó reposar la mezcla durante un periodo de 2 horas y así, se tomó nuevamente lectura de temperatura y densidad de suspensión. Ver Figura 3-14.



Figura 3-13: vaciado de muestras (Subsuelo y Ripio) a cilindros de suspensión.



Figura 3-14: toma de temperatura y densidad de suspensión a las muestras de Subsuelo y Ripio.

Las temperaturas y densidades tomadas para el Subsuelo se pueden apreciar en la tabla 3-7. Según lo indicado por el método, por cada °C de temperatura superior o inferior a 19,44°C se debe realizar la respectiva corrección de lectura del hidrómetro según la ecuación de sedimentación de Fischer – Oden. Los factores de corrección se pueden apreciar en la tabla 3-8.

| Densidad y Temperatura Ensayo de Bouyoucos Aplicado en el Subsuelo | | |
|--|-----------------------|-------------------|
| | Lectura a 40 segundos | Lectura a 2 horas |
| Temperatura °C | 25,9 | 25,2 |
| Densidad | 7,5 | 1 |

Tabla 3-7: Resultados Densidad y Temperatura Ensayo de Bouyoucos, Subsuelo.

| Temperatura °C | Factor de Corrección |
|----------------|----------------------|
| 14 | -1,46 |
| 16 | -0,98 |
| 18 | -0,44 |
| 19,44 | 0,00 |
| 20 | 0,18 |
| 22 | 0,86 |
| 24 | 1,61 |
| 25 | 2,01 |

Tabla 3-8: Corrección de lecturas del hidrómetro según la ecuación de sedimentación de Fischer-Oden.

Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.

| Temperatura °C | Factor de Corrección |
|----------------|----------------------|
| 26 | 2,41 |
| 27 | 2,85 |
| 28 | 3,28 |
| 29 | 3,74 |
| 30 | 4,20 |

Tabla 3-8 (Continuación): Corrección de lecturas del hidrómetro según la ecuación de sedimentación de Fischer-Oden.

Se calcularon los porcentajes de arena, limos y arcillas usando las siguientes ecuaciones:

- $\% \text{ arena total} = 100 - \frac{Lh+Fc}{Pm} * 100$ (3,3)

Donde:

Lh= lectura hidrómetro a los 40 segundos

Fc= factor de corrección

Pm= peso muestra en gramos

- $\% \text{ arcilla total} = \frac{Lh2+Fc}{Pm} * 100$ (3,4)

Donde:

Lh2= lectura hidrómetro a las 2 horas, Fc= factor de corrección, Pm= peso muestra en gramos

- $\% \text{ limos} = \frac{Lc1-Lc2}{Pm} * 100$ (3,5)

Donde:

Lc1= lectura hidrómetro corregida 40 segundos

Lc2= lectura hidrómetro corregida 2 horas

Pm= peso muestra en gramos

Teniendo toda la información necesaria para resolver las ecuaciones anteriormente planteadas, se calcularon los porcentajes de arenas, limos y arcillas presentes en la muestra de Subsuelo.

- $\% \text{ arena total} = 100 - \frac{Lh+Fc}{Pm} * 100$
 $\% \text{ arena total} = 100 - \frac{7,5+2,41}{50} * 100 = 80,18 \%$

- $\% \text{ arcilla total} = \frac{Lh2+Fc}{Pm} * 100$
 $\% \text{ arcilla total} = \frac{1+2,01}{50} * 100 = 6,02 \%$
- $\% \text{ limos} = \frac{Lc1-Lc2}{Pm} * 100$
 $\% \text{ limos} = \frac{9,91-3,01}{50} * 100 = 13,8 \%$

Finalmente, para el subsuelo se obtuvo un 80,18% de arena, 6,02% de arcilla y 13,8% de limo.

El mismo procedimiento empleado en el Subsuelo, se debe ejecutó para el Ripio; en primera instancia se utilizó material que pasa por el tamiz de tamaño de 2mm, a diferencia del Subsuelo, el Ripio, al presentar una composición arenosa (textura gruesa) a primera vista, se depositó en una tara metálica 100g para ser evaluados.

Como se realizó anteriormente para el otro material evaluado, se prepararon los reactivos a emplear como agentes dispersantes. En 1 litro de agua se procedió a disolver 35,7g de hexametáfosfato de sodio (NaPO₃)₆ y 7,94g de carbonato de sodio (Na₂CO₃), seguidamente, la muestra de Ripio se llevó a la copa de dispersión la cual se llenó con agua hasta 2" por debajo del borde de la copa, después, se agregaron 10ml del agente dispersante y se dejó reposar la mezcla por 5 min, como el Ripio presenta una textura más gruesa, solamente se dejó agitar la muestra en la copa por un periodo de 6 min con los agentes dispersantes.

Las temperaturas y densidades tomadas para el Ripio se pueden apreciar en la tabla 3-9. Como las temperaturas tomadas son distintas a 19,44°C Según lo indica el método, se realizó la respectiva corrección de lectura del hidrómetro según la ecuación de sedimentación de Fischer – Oden. Los factores de corrección se pueden apreciar en la tabla 3-8 mostrada anteriormente.

| Densidad y Temperatura Ensayo de Bouyoucos Aplicado en el Ripio | | |
|---|------|------|
| Temperatura °C | 26,4 | 25,5 |
| Densidad | 22,5 | 6,5 |

Tabla 3-9: Resultados Densidad y Temperatura Ensayo de Bouyoucos, Ripio.

Teniendo toda la información necesaria para resolver las ecuaciones (3,3), (3,4) y (3,5) anteriormente planteadas, se calcularon los porcentajes de arenas, limos y arcillas presentes en la muestra de Ripio de la siguiente manera:

- $\% \text{ arena total} = 100 - \frac{Lh+Fc}{Pm} * 100$
 $\% \text{ arena total} = 100 - \frac{22,5+2,41}{100} * 100 = 75,09 \%$
- $\% \text{ arcilla total} = \frac{Lh2+Fc}{Pm} * 100$
 $\% \text{ arcilla total} = \frac{6,5+2,41}{100} * 100 = 8,91 \%$

Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.

- $$\% \text{ limos} = \frac{Lc1-Lc2}{Pm} * 100$$

$$\% \text{ limos} = \frac{24,91-8,91}{100} * 100 = 16\%$$

Finalmente, para el subsuelo se obtuvo 75,09 % de arena, 8,91 % de arcilla y 16 % de limo.

Una vez obtenidos todos los resultados, se procedió a trazar las líneas en el triángulo textural de USDA, y se determinó la clasificación del Subsuelo (línea azul) y el Ripio (línea roja), ver Figura 3-15.

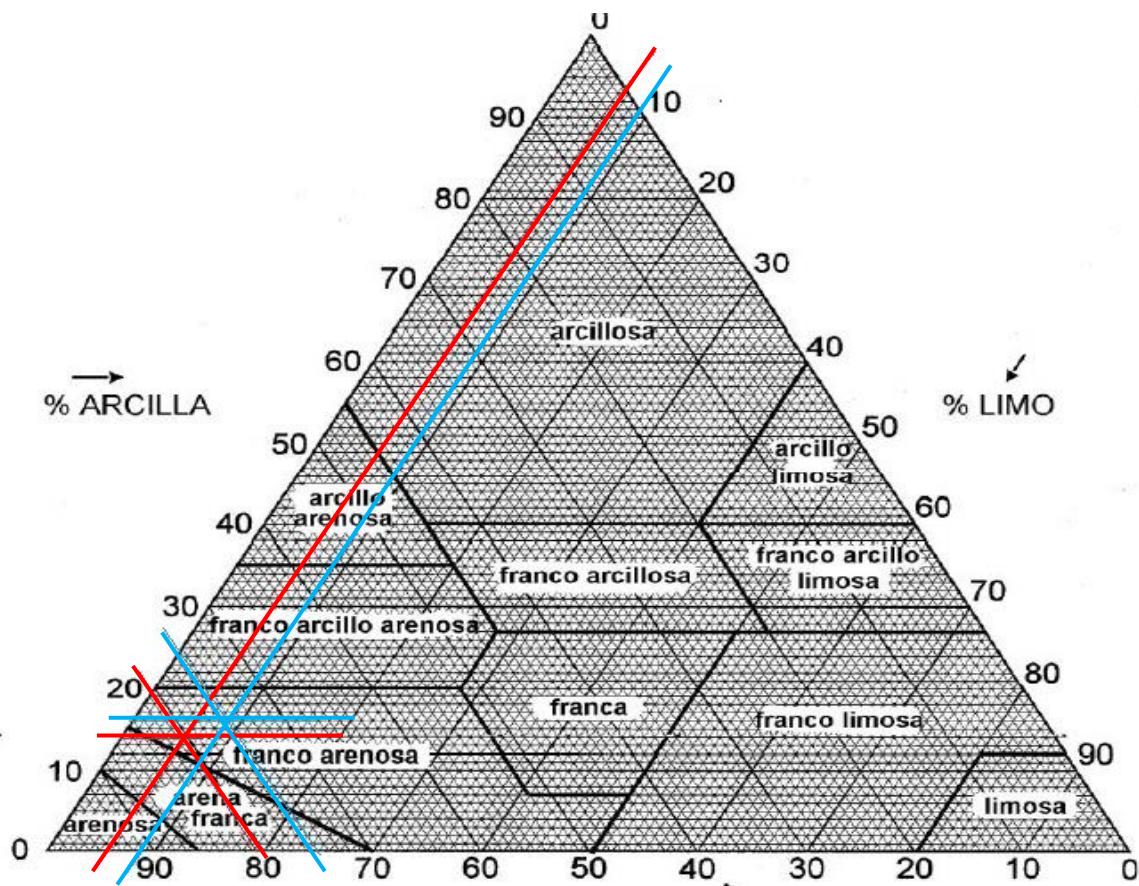


Figura 3-15: Triángulo textural de USDA.

Según la textura encontrada, tanto el Ripio como el Subsuelo, se pueden considerar suelos Franco arenosos.

3.3.7 Determinación de la Densidad y Humedad Óptima de los Suelos Utilizados (Proctor Modificado)

Para lograr aumentar las cualidades de la mezcla de suelo, fue necesario encontrar la relación ideal entre la humedad y el peso unitario seco del suelo compactado, esto con el fin de obtener una densidad óptima y así, adquirir un comportamiento idóneo en términos de capacidad portante, resistencia al corte, compresibilidad, erosión o permeabilidad. Para desarrollar este capítulo, fue necesario recurrir al método A de la norma vigente en Colombia, I.N.V-E 142-13 (INVIAS, 2013).

Para darle una identidad a cada tratamiento de mezcla, según la dosificación que los compone, fue necesario implementar una nomenclatura como si se tratara de un concreto. Por ejemplo, cuando un concreto es de relación: 1:2:3, quiere decir que, en su dosificación, tiene una parte de cemento, como partícula más fina, dos partes de arena, como una partícula un poco menos fina y una tercera parte de grava, como partícula más gruesa. Por tal razón se desarrolló una formulación que nos permitió encontrar la etiqueta a cada tratamiento con la cual se ha trabajado en este proyecto de grado, respetando las mismas condiciones mencionadas anteriormente, una parte de cemento, una de subsuelo y finalmente, una de Ripio, como partícula más gruesa.

Para el tratamiento T1:6:2, se toma como la unidad al porcentaje de cemento, ya que es la partícula más fina, para determinar los demás valores, se hizo una regla de tres simple de la siguiente manera:

- $\frac{11,11\% \text{ equivale a } 1}{66,66\% \text{ equivale a } X} = X = \frac{66,66\% * 1}{11,11\%} = 6 \text{ de Subsuelo.}$ (3,6)
- $\frac{11,11\% \text{ equivale a } 1}{22,23\% \text{ equivale a } X} = X = \frac{22,23\% * 1}{11,11\%} = 2 \text{ de Ripio.}$

Con base a los resultados obtenidos, la dosificación para el primer tratamiento es de 1 cemento, 6 de Subsuelo y 2 de Ripio, por ende, adoptó la etiqueta T 1:6:2.

Para el tratamiento T1:4:1, se desarrolló de la siguiente manera.

- $\frac{15\% \text{ equivale a } 1}{66,66\% \text{ equivale a } X} = X = \frac{66,66\% * 1}{15\%} = 4,44 \text{ de Subsuelo.}$ (3,7)
- $\frac{15\% \text{ equivale a } 1}{18,34\% \text{ equivale a } X} = X = \frac{18,34\% * 1}{15\%} = 1,22 \text{ de Ripio.}$

Con base a los resultados obtenidos, la dosificación para el segundo tratamiento es de 1 cemento, 4,44 de Subsuelo y 1,22 de Ripio, por ende, adoptó la etiqueta T 1:4:1.

Para el tratamiento T1:8:3, se obtiene lo siguiente:

- $\frac{8\% \text{ equivale a } 1}{66,66\% \text{ equivale a } X} = X = \frac{66,66\% * 1}{8\%} = 8,33 \text{ de Subsuelo.}$ (3,8)

Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.

$$\bullet \frac{8\% \text{ equivale a } 1}{25,34\% \text{ equivale a } X} = X = \frac{66,66\% * 1}{11,11\%} = 3,16 \text{ de Ripio.}$$

Con base a los resultados obtenidos, la dosificación para el tercer tratamiento es de 1 cemento, 8,33 de Subsuelo y 3,16 de Ripio, por ende, adoptó la etiqueta T 1: 8:3.

Una vez determinada la nomenclatura para cada tratamiento, y con base al método A de la norma, se necesitaron 16 kg de muestra de cada uno de los tres tipos de tratamientos empleados en la fabricación de adobes elaborados de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá Nariño, esta misma composición fue la utilizada en la fabricación de las probetas cilíndricas para someter a ensayos. En la tabla 3-10, se puede apreciar de manera resumida la composición de cada tratamiento y su respectiva nomenclatura.

| Tratamiento 1 | | Tratamiento 2 | | Tratamiento 3 | |
|---------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|
| 1 : 6 : 2 | | 1 : 4.44 : 1.22 | | 1 : 8.33 : 3.11 | |
| Cemento | 11,11% | Cemento | 15,00% | Cemento | 8,00% |
| Subsuelo | 66,66% | Subsuelo | 66,66% | Subsuelo | 66,66% |
| Ripio | 22,23% | Ripio | 18,34% | Ripio | 25,34% |

Tabla 3-10: porcentaje de composición de cada tipo de tratamiento.

Con las condiciones dadas para cada tratamiento en la tabla 3-10, se cuantificó la cantidad de material que se necesita para armar las muestras de cada tratamiento, los resultados para mezclas de 16 kg se muestran en la tabla 3-11. Previamente cada componente debió pasar por el tamiz N°4 según lo exige la norma.

| T 1:6:2 | | | T 1:4:1 | | | T 1:8:3 | | |
|------------------------|--------|-------|------------------------|--------|-------|------------------------|--------|-------|
| 16 kg = 100% | | | 16 kg = 100% | | | 16 kg = 100% | | |
| Cemento (kg) | 11,11% | 1,78 | Cemento (kg) | 15,00% | 2,40 | Cemento (kg) | 8,00% | 1,28 |
| Subsuelo (kg) | 66,66% | 10,67 | Subsuelo (kg) | 66,66% | 10,67 | Subsuelo (kg) | 66,66% | 10,67 |
| Ripio (kg) | 22,23% | 3,56 | Ripio (kg) | 18,34% | 2,93 | Ripio (kg) | 25,34% | 4,05 |
| peso total mezcla (kg) | 16 | | peso total mezcla (kg) | 16 | | peso total mezcla (kg) | 16 | |

Tabla 3-11: cantidad de material requerido para cada tratamiento.

Todos los tratamientos pasaron por el siguiente proceso: las tres muestras de 16kg, se dividieron en 5 sub muestras de 3,2 kg cada una, para encontrar la relación óptima entre humedad y peso unitario seco de suelo compactado, primeramente, se tomaron las especificaciones del molde a

emplear para el ensayo, como es la masa (incluida la placa) y las dimensiones. Después del ensamblado de la montura, cada sub muestra pasó por un proceso de compactación, el cual consistió en adicionar mezcla sin contenido de agua dentro del molde con una distribución de 5 capas lo más equivalentes posibles.

Cada capa se compactó con 25 golpes distribuidos de manera uniforme sobre toda la superficie del material que está siendo compactado. Los golpes se suministraron dentro de un periodo de 1 min accionando un martillo metálico y de uso manual el cual tiene una masa de 4,53 kg y una acción de caída de 18". Ver Figura 3-16.



Figura 3-16: proceso de mezcla y compactación en el ensayo Proctor modificado.

Luego del proceso de compactación, a cada submuestra se le retiró una porción representativa la cual fue pesada en la balanza y posteriormente depositada en una tara metálica que ingresa al horno durante un periodo de 24 horas, pasado este tiempo, las muestras se retiran del horno y se pesan nuevamente, con los valores obtenidos se calculó el porcentaje de humedad.

El proceso anterior se repitió cuatro veces más, adicionando con cada sub muestra de a 200ml de agua a la mezcla evaluada con el fin de obtener al menos 5 puntos necesarios para realizar la curva de compactación y de esta manera encontrar la densidad y humedad óptima con la cual cada tratamiento aumenta sus capacidades, tales como: resistencia al corte, compresibilidad y permeabilidad.

Los resultados obtenidos para cada tratamiento se pueden apreciar desde la tabla 3-12 a la tabla 3-14 mostradas a continuación:

Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.

| UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA | | | | | |
|--|--------------------|--------|--------|--------|--------|
| FACULTAD DE INGENIERIA | | | | | |
| ENSAYO DE COMPACTACION DE LABORATORIO | | | | | |
| PROYECTO: | Tesis de grado | | | | |
| TIPO DE SUELO: | Tratamiento T1:6:2 | | | | |
| FECHA: | 8-jul-22 | | | | |
| HUMEDAD | | | | | |
| Cantidad de agua (ml) | natural | 200 | 400 | 600 | 800 |
| Molde No. | A | B | C | D | E |
| Peso capsula + suelo húmedo (gr) | 99 | 97 | 90 | 96 | 96 |
| Cantidad de agua (ml) | natural | 200 | 400 | 600 | 800 |
| Molde No. | A | B | C | D | E |
| Peso capsula + suelo seco (gr) | 96 | 91 | 82,5 | 84 | 81,5 |
| Peso capsula (gr) | 25,62 | 26,2 | 27,06 | 27,65 | 27,66 |
| Humedad % | 4,26 | 9,26 | 13,53 | 21,30 | 26,93 |
| DENSIDAD SECA | | | | | |
| Cantidad de agua (ml) | natural | 200 | 400 | 600 | 800 |
| Molde No. | A | B | C | D | E |
| Peso molde + muestra compactada (gr) | 5032 | 5117 | 5208 | 5164 | 4864 |
| Peso molde (gr) | 3228 | 3228 | 3228 | 3228 | 3228 |
| Peso muestra compactada (gr) | 1804 | 1889 | 1980 | 1936 | 1636 |
| Peso muestra compactada (Lb) | 3,98 | 4,16 | 4,36 | 4,27 | 3,61 |
| Volumen muestra compactada (lb/pie ³) (1/30) | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| Densidad húmeda (Lb/pie ³) | 119,29 | 124,91 | 130,93 | 128,02 | 108,18 |
| Humedad % | 4,26 | 9,26 | 13,53 | 21,30 | 26,93 |
| Densidad seca (Lb/pie ³) | 114,41 | 114,32 | 115,33 | 105,54 | 85,22 |
| RESULTADOS DEL ENSAYO | | | | | |
| Humedad óptima | 13,53 | | | | |
| Densidad máxima seca | 115,33 | | | | |

Tabla 3-12: Resultados ensayo Proctor modificado para tratamiento T1:6:2 (Modificado de: (guía de laboratorio de mecánica de suelos, USCO)).

La humedad óptima resultante para el tratamiento T1:6:2 es de 13,53% y la densidad máxima seca es de 115,33 lb/pie³.

| UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA | | | | | |
|--|--------------------|--------|--------|--------|--------|
| FACULTAD DE INGENIERIA | | | | | |
| ENSAYO DE COMPACTACION DE LABORATORIO | | | | | |
| PROYECTO: | Tesis de grado | | | | |
| TIPO DE SUELO: | Tratamiento T1:4:1 | | | | |
| FECHA: | 1/septiembre/2022 | | | | |
| HUMEDAD | | | | | |
| Cantidad de agua (ml) | natural | 200 | 400 | 600 | 800 |
| Molde No. | A | B | C | D | E |
| Peso capsula + suelo húmedo (g) | 87 | 91 | 87,89 | 80,21 | 97,21 |
| Peso capsula + suelo seco (g) | 85 | 86 | 80 | 71,5 | 83,5 |
| Peso capsula (g) | 26,9 | 26,69 | 26,77 | 26,08 | 26,63 |
| Humedad % | 3,44 | 8,43 | 14,82 | 19,18 | 24,11 |
| DENSIDAD SECA | | | | | |
| Cantidad de agua (ml) | natural | 200 | 400 | 600 | 800 |
| Molde No. | A | B | C | D | E |
| Peso molde + muestra compactada (g) | 4997 | 5086 | 5232 | 5131 | 5071 |
| Peso molde (g) | 3224 | 3224 | 3224 | 3224 | 3224 |
| Peso muestra compactada (g) | 1773 | 1862 | 2008 | 1907 | 1847 |
| Peso muestra compactada (Lb) | 3,91 | 4,10 | 4,43 | 4,20 | 4,07 |
| Volumen muestra compactada (lb/pie ³) (1/30) | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| Densidad húmeda (Lb/pie ³) | 117,23 | 123,12 | 132,81 | 126,13 | 122,13 |
| Humedad % | 3,44 | 8,43 | 14,82 | 19,18 | 24,11 |
| Densidad seca (Lb/pie ³) | 113,33 | 113,55 | 115,66 | 105,83 | 98,40 |
| RESULTADOS DEL ENSAYO | | | | | |
| Humedad óptima | 14,82 | | | | |
| Densidad máxima seca | 115,66 | | | | |

Tabla 3-13: Resultados ensayo Proctor modificado para tratamiento T1:4:1 (Modificado de: (guía de laboratorio de mecánica de suelos, USCO)).

La humedad óptima resultante para el tratamiento T1:4:1 es de 14,82% y la densidad máxima seca es de 115,66 lb/pie³.

Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.

| UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA | | | | | |
|---|--------------------|--------|--------|--------|--------|
| FACULTAD DE INGENIERIA | | | | | |
| ENSAYO DE COMPACTACION DE LABORATORIO | | | | | |
| PROYECTO: | Tesis de grado | | | | |
| TIPO DE SUELO: | Tratamiento T1:8:3 | | | | |
| FECHA: | 1/septiembre/2022 | | | | |
| HUMEDAD | | | | | |
| Cantidad de agua (ml) | natural | 200 | 400 | 600 | 800 |
| Molde No. | A | B | C | D | E |
| Peso capsula + suelo húmedo (g) | 87 | 90 | 87 | 86,5 | 92,5 |
| Peso capsula + suelo seco (g) | 86,5 | 87 | 80,5 | 78 | 80,5 |
| Peso capsula (g) | 27,7 | 27,6 | 24,8 | 27,5 | 27,7 |
| Humedad % | 0,85 | 5,05 | 11,67 | 16,83 | 22,73 |
| DENSIDAD SECA | | | | | |
| Cantidad de agua (ml) | natural | 200 | 400 | 600 | 800 |
| Molde No. | A | B | C | D | E |
| Peso molde + muestra compactada (g) | 4641 | 4788 | 5108 | 5099 | 4900 |
| Peso molde (g) | 3130 | 3130 | 3130 | 3130 | 3130 |
| Peso muestra compactada (g) | 1512 | 1658 | 1979 | 1970 | 1770 |
| Peso muestra compactada (Lb) | 3,33 | 3,66 | 4,36 | 4,34 | 3,90 |
| Volumen muestra compactada (lb/pie3) (1/30) | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| Densidad húmeda (Lb/pie3) | 99,97 | 109,66 | 130,86 | 130,26 | 117,07 |
| Humedad % | 0,85 | 5,05 | 11,67 | 16,83 | 22,73 |
| Densidad seca (Lb/pie3) | 99,13 | 104,39 | 117,18 | 111,49 | 95,39 |
| RESULTADOS DEL ENSAYO | | | | | |
| Humedad óptima | 11,67 | | | | |
| Densidad máxima seca | 117,18 | | | | |

Tabla 3-14: Resultados ensayo Proctor modificado para tratamiento T1:8:3 (Modificado de: (guía de laboratorio de mecánica de suelos, USCO)).

La humedad óptima resultante para el tratamiento T1:8:3 es de 11,67% y la densidad máxima seca es de 117,18 lb/pie³.

Con base en los resultados mostrados en las tablas anteriores, se realizó la curva de compactación para el Proctor modificado, (ver figura 3-17, 3-18,3-19) como se puede evidenciar, todas tienden a ser una parábola invertida cuyo vértice indica el mayor punto de compactación obtenido en cada muestra. De igual manera se determinó el porcentaje de humedad óptimo requerido en cada tratamiento haciendo revisión de los datos presentados en el eje de las abscisas.

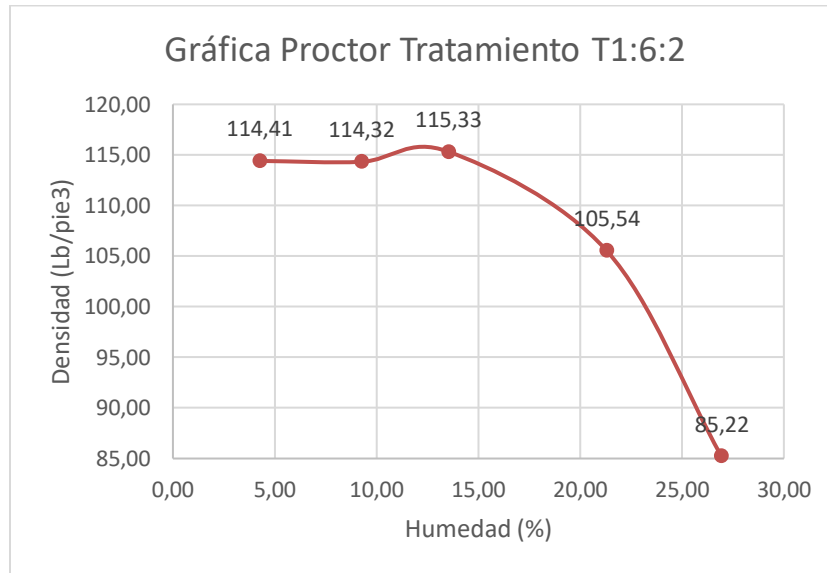


Figura 3-17: Grafica resultante del ensayo Proctor modificado para tratamiento T1:6:2.

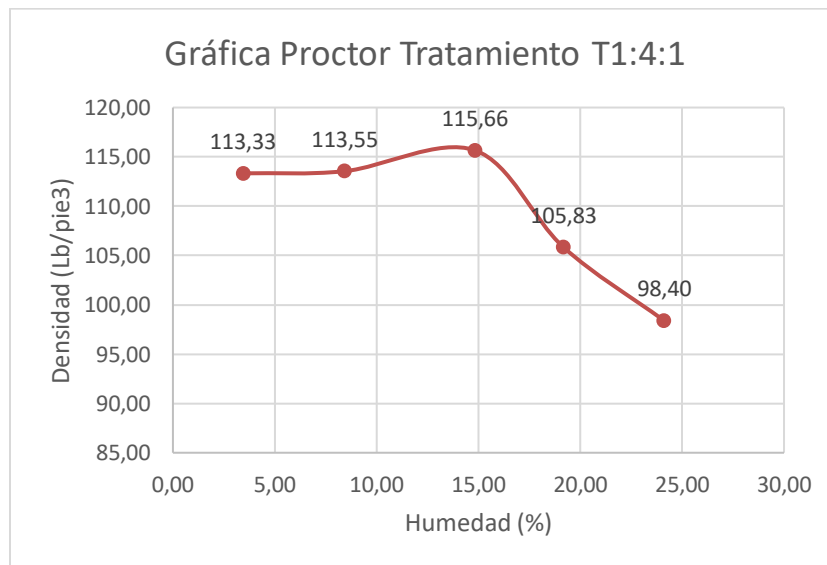


Figura 3-18: Grafica resultante del ensayo Proctor modificado para tratamiento T1:4:1.

Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.

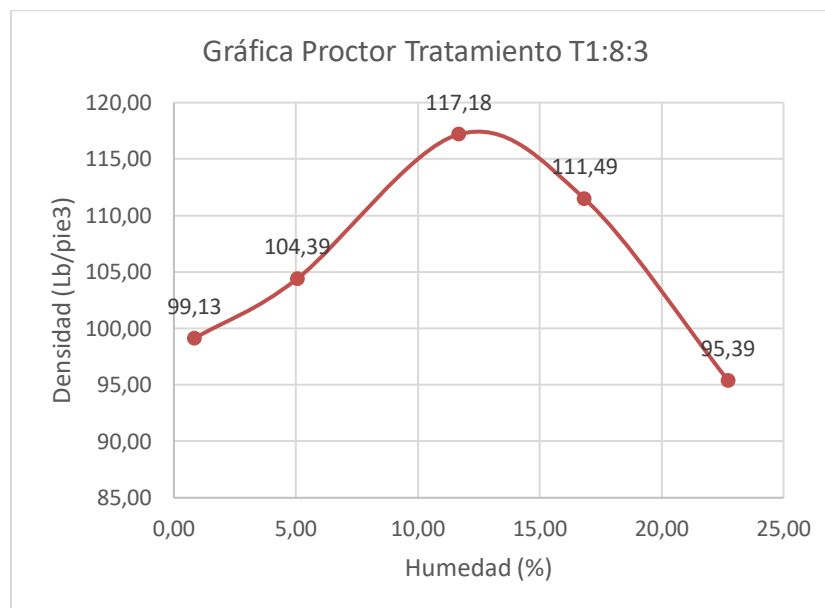


Figura 3-19: Grafica resultante del ensayo Proctor modificado para tratamiento T1:8:3.

3.3.8 Ensayo Compresión

Para el ensayo de compresión a las probetas elaboradas con los tratamientos utilizados en la fabricación de ladrillos de manera artesanal en la vereda San Antonio en Consacá Nariño, fue necesario recurrir a la norma vigente en el país el cual regula los métodos de ensayos a estos adobes, la NTC 5324 en el ítem 3.4.1 tabla 3 (clases de resistencia a la compresión) permite tener una idea de la resistencia mínima que deben soportar los adobes fabricados con estos tratamientos y es la misma resistencia mínima que se pretende obtener ensayando las probetas fabricadas en el laboratorio, la norma INVIAS I.N.V-E- 614-13 (resistencia a la compresión de cilindros moldeados de suelo-cemento) nos da un procedimiento paso a paso de cómo se deben ensayar las probetas en suelo cemento, las respectivas características técnicas que deben presentar las muestras y factores de corrección por la relación (longitud/diámetro) según el método de ensayo.

Se emplea el método A, ya que ambos suelos evaluados (Ripio, Subsuelo) según la granulometría presentada, el porcentaje de material retenido en el tamiz $\frac{3}{4}$ " es menor al 30%; además, es el método más empleado en la práctica, puesto que se emplean los mismos equipos de compactación y moldes que normalmente se encuentran disponibles en laboratorios de suelos.

Gracias a los resultados obtenidos en el ensayo de Proctor modificado, se fabricaron 12 probetas por cada tratamiento presentado, respetando el porcentaje de humedad óptimo requerido para lograr aumentar la capacidad de los cilindros cuando se estén compactando.

En una bandeja plástica se mezclan los componentes según las dosificaciones de cada tratamiento, adicionando el porcentaje de agua requerido, una vez la mezcla se encuentra húmeda, se deposita en capas dentro de la moldura, posteriormente, cada capa se compacta con el mismo martillo empleado en el ensayo de Proctor modificado, una vez terminado el proceso de compactación, con la ayuda del gato hidráulico, se extraen las probetas y se depositan en una tara metálica y luego son llevadas a la bodega donde tendrá su respectivo curado tal como se muestra en la Figura 3-20.



Figura 3-20: proceso de fabricación de las probetas de los tres tratamientos.

Las dimensiones de la formaleta utilizada son 117 mm de altura (L), 102 mm de diámetro (D), con un área transversal resultante de $8171,3 \text{ mm}^2$, gracias a estas medidas la relación L/D resultante es de 1,15 cumpliendo con la indicación dada en el método A de la norma I.N.V-E 614-13.

El ensayo de compresión se realizó a probetas con una edad de 28 días, utilizando una prensa hidráulica de marca Controls modelo 50-Q90C14, a la cual se le ingresaron todos los datos requeridos de cada espécimen y la velocidad de compresión determinada en la norma I.N.V-E 614-13, numeral 5.1. ver Figura 3-21.

Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.



Figura 3-21: ensayo de compresión maquina universal.

Los datos obtenidos se pueden ver en la tabla A-1, A-3 Y A-5 del anexo A. A continuación, en la tabla 3-15, se presentará de manera resumida el resultado de la resistencia a compresión obtenida por cada probeta de los tres tratamientos.

| | Tratamiento 1:6:2 | Tratamiento 1:4:1 | Tratamiento T1:8:3 |
|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Numero de probeta | f'c. Compresión 28 Días (Mpa) | f'c. Compresión 28 Días (Mpa) | f'c. Compresión 28 Días (Mpa) |
| 1 | 6,57 | 7,41 | 4,99 |
| 2 | 8,81 | 9,21 | 4,13 |
| 3 | 7,71 | 7,90 | 4,28 |
| 4 | 8,55 | 8,34 | 5,16 |
| 5 | 6,80 | 7,94 | 4,48 |
| 6 | 6,34 | 7,99 | 4,35 |
| 7 | 7,41 | 7,78 | 5,80 |
| 8 | 7,87 | 7,31 | 4,85 |
| 9 | 8,02 | 7,39 | 4,46 |
| 10 | 6,37 | 6,80 | 4,76 |
| 11 | 8,29 | 7,33 | 4,37 |
| 12 | 7,61 | 9,24 | 4,88 |
| Promedio | 7,53 | 7,89 | 4,71 |

Tabla 3-15: Tabla resumen de los resultados obtenidos del ensayo a compresión.

La resistencia a compresión promedio obtenida en el tratamiento T1:6:2 es de 7,53Mpa, para el tratamiento T 1:4:1 es de 7,89Mpa siendo este el mayor valor, gracias a su mayor contenido de cemento en su dosificación y para el tratamiento T 1:8:3 es de 4,71Mpa, siendo la más baja gracias a su Dosificación.

3.3.9 Ensayo de Erosión Acelerada

Para el ensayo de erosión acelerada de Swinburne (SAET) a las probetas elaboradas con los tratamientos utilizados en la fabricación de ladrillos de manera artesanal en la vereda San Antonio en Consacá Nariño, fue necesario recurrir a la norma española UNE 41410, 2008 (bloques de tierra comprimida para muros y tabiques definiciones, especificaciones y métodos de ensayo) ya que en Colombia no hay mucha información o especificaciones para realizar este tipo de ensayo en adobes o probetas de suelo-cemento.

Para este ensayo la norma recomienda utilizar dos probetas, para este proyecto, se utilizaron 4 probetas con una edad de 28 días, según la UNE 41410, se debe contar con un montaje similar al mostrado en la Figura 3-22.

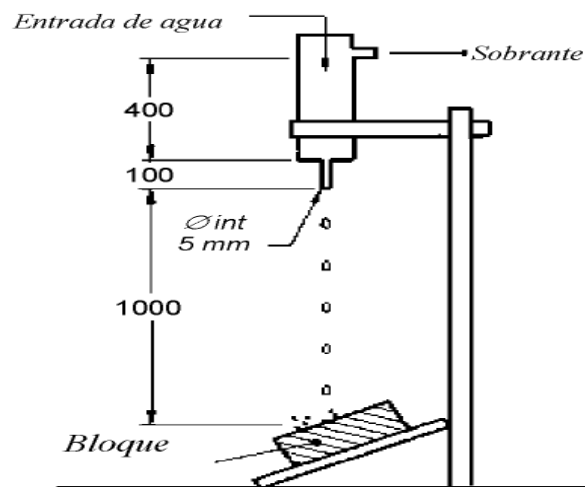


Figura 3-22: esquema del montaje requerido para ensayo de erosión acelerada, tomada de: (UNE 41410, 2008).

En el laboratorio de construcciones de la universidad Surcolombiana, se realizó la construcción del montaje requerido siguiendo todas las instrucciones allí descritas, con la diferencia, que el tiempo estimado de goteo al que estarán expuestas las probetas, será aún mayor, de 10 min que recomienda la norma española, se aumentaran a 1 hora, el objetivo, es medir la profundidad de la oquedad producida por el goteo constante de agua, en la Tabla 3-16 se puede apreciar los criterios de aprobación según la UNE 41410.

Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.

| Propiedad | Criterio | Resultados |
|--|--------------|----------------|
| D, (Profundidad de la Oquedad) en (mm) | $0 < D < 10$ | Bloque Apto |
| | $D > 10$ | Bloque No Apto |

Tabla 3-16: Resistencia a la erosión, criterios de aceptación o rechazo, modificado de: (UNE 41410,2008).

La fabricación de las probetas es el mismo empleado y descrito en el capítulo 3.3.7 del presente documento. En la Figura 3-23, se puede ver el montaje elaborado para este ensayo de erosión acelerada y el resultado del goteo en las caras de las probetas.



Figura 3-23: Ensayo de erosión acelerada.

Pasado el tiempo de exposición de las probetas (1 hora), se procede a tomar las medidas de la oquedad generada en cada uno de los 4 cilindros destinados al ensayo por cada tratamiento, ninguno de los 12 cilindros presento oquedad alguna, por tal razón, para este ensayo todos los tratamientos son aptos.

3.3.10 Ensayo de Absorción

Para el ensayo de absorción a las probetas elaboradas con los tratamientos utilizados en la fabricación de ladrillos de manera artesanal en la vereda San Antonio en Consacá Nariño, fue

necesario recurrir a una de las normas vigentes en el país. La NTC 4017, en el capítulo 8, indica paso a paso el proceso necesario para obtener el porcentaje de absorción en bloques.

Según la NTC 4017 en el capítulo 8, se deben utilizar 5 especímenes para someter al ensayo, con el fin de obtener más valores que nos permitan realizar un análisis estadístico más amplio, se emplearon 9 probetas por cada tratamiento. La fabricación de las probetas es el mismo planteado en el capítulo 3.2.5 del presente documento.

Cada probeta con edad de 28 días, tuvieron que pasar por un proceso de secado y enfriado según el numeral 5.1 y 5.2 de la NTC 4017, que consistía en ingresar las muestras al horno a una temperatura final entre 110°C y 115°C durante un periodo de 24 horas, hasta que un pesaje del otro en intervalos de dos horas no represente una pérdida mayor al 0,2% del peso anterior. Ver figura 3-24.



Figura 3-24: ingreso de probetas al horno para secado por 24 horas.

El siguiente paso fue sumergir las probetas en un tanque plástico que contenía agua limpia, con la temperatura adecuada y asegurando que el agua circule sobre todas sus caras según lo exige la NTC 4017 en el numeral 8.3.1.2, luego de 24 de horas de sumergidas las muestras, se retiran en orden para ser secadas con un paño húmedo y tomar el nuevo pesaje posterior a la inmersión. El pesaje de cada probeta se tomó 60 segundos después de que han sido retiradas del agua. Ver Figura 3-25.

Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.



Figura 3-25: probetas sumergidas en agua.

Una vez que se obtienen los datos de los pesajes antes y después de la inmersión de las probetas, se calculó el porcentaje de absorción de cada muestra reemplazando los valores obtenidos anteriormente en la ecuación dada en el numeral 8.3.2 de la NTC 4017 que se muestra a continuación:

- $\% \text{ absorcion} = \frac{100 * (W_{SS} - W_S)}{W_S}$ (3.9)

Donde:

W_{SS} = masa sumergida en agua del espécimen saturado luego de inmersión en agua fría, en g.

W_S = masa seca del espécimen antes de inmersión, en g.

Las especificaciones técnicas de cada cilindro, pesajes antes y después de inmersión y demás datos se pueden apreciar en las tablas A-2, A-4 Y A-6 del anexo A. El porcentaje de absorción obtenido en cada probeta está presentado de manera resumida en la tabla 3-17.

| | T 1:6:2 | T 1:4:1 | T 1:8:3 |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|
| Numero de probeta | Absorción % | Absorción % | Absorción % |
| 1 | 8,49 | 8,45 | 10,12 |
| 2 | 7,99 | 8,34 | 9,45 |
| 3 | 8,35 | 9,18 | 10,07 |
| 4 | 8,05 | 8,01 | 8,71 |
| 5 | 8,26 | 7,81 | 9,22 |
| 6 | 3,25 | 8,48 | 9,15 |
| 7 | 9,37 | 8,40 | 9,13 |
| 8 | 9,09 | 8,46 | 8,52 |
| 9 | 10,64 | 7,92 | 8,91 |
| Promedio | 8,17 | 8,34 | 9,25 |

Tabla 3-17: porcentaje de absorción de las probetas por cada tratamiento.

El porcentaje de absorción promedio de las probetas fabricadas con el tratamiento T1:6:2 es de 8,17% siendo el que menos porcentaje de absorción presenta, para el tratamiento T1:4:1 es de 8,34% y para el tratamiento T1:8:3 es de 9,25%, es el tratamiento que mayor porcentaje de absorción presenta.

3.4 Costo de Producción

Para establecer cuál de los tres tratamientos empleados en la fabricación de ladrillos de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá Nariño es más favorable económicamente, fue necesario realizar un análisis de precios unitarios APU, con esto, se puede conocer el costo en pesos colombianos que significaría producir un adobe con estos materiales.

El APU correspondiente a cada tratamiento se podrá apreciar en el anexo B. De manera resumida en la tabla 3-18 se observa el costo de producción de la unidad de adobe según los tratamientos evaluados.

| Costo Unidad de Adobe con el Tratamiento T1:6:2 | Costo Unidad de Adobe con el Tratamiento T1:4:1 | Costo Unidad de Adobe con el Tratamiento T1:8:3 |
|---|---|---|
| \$ 918 | \$ 1.057,33 | \$ 807,40 |

Tabla 3-18: costo de producción unidad de adobe en pesos colombianos.

El tratamiento más económico para producir adobes es el T1:8:3, ya que cada unidad de mampuesto saldría a \$807,40 y el más costoso de producir, debido a los porcentajes en su composición es el T1:4:1 con un valor de \$1.057,33.

Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.

3.5 Análisis Estadístico

Con el fin de determinar cuál de los 3 tratamientos empleados en la fabricación de ladrillos de manera artesanal en la vereda San Antonio del Municipio de Consacá Nariño, presenta un mejor desempeño a los ensayos de compresión, absorción y erosión; fue necesario realizar un análisis estadístico de tipo descriptivo e inferencial con los resultados de las pruebas anteriormente mencionadas.

Con la ayuda del software para análisis estadísticos de uso libre llamado RStudio (versión 1.3.1073, ® 2009-2020 RStudio PBC), se hizo un diseño completamente al azar teniendo en cuenta los tres tratamientos y como variable de respuesta la resistencia a la compresión, ya que estos resultados son los que me permiten considerar apto o no una dosificación para ser empleada en la fabricación de bloques de suelo estabilizados con cemento.

Fue posible realizar en primera instancia un análisis de varianza, en el cual se plantea dos hipótesis, la primera, (H_0) es la hipótesis nula, la cual establece que todas las medias de la resistencia a compresión de las probetas a una edad de 28 días, son iguales. La segunda es (H_a) que es la hipótesis alternativa, en la que se establece que al menos una de las medias de la resistencia a compresión de las probetas a los 28 días, es diferente.

Después del análisis de varianza, se realiza la prueba HSD (Honestly/Significant/Difference) gracias a la función del programa (HSD.test (de la librería agricolae)) la cual se basa en la hipótesis de John Tukey. Las variables dependientes ingresadas al software, son los resultados del ensayo a compresión aplicado a las probetas fabricadas en el laboratorio, valores descritos en el capítulo 3.3.8 del presente documento.

Seguidamente, es necesario evaluar los residuales del modelo ajustado (análisis de varianza). Este paso tiene como objetivo verificar que se cumplan 4 supuestos estadísticos, que son: supuesto estadístico de normalidad (Shapiro-Wilk) que contrasta el sistema de hipótesis sobre los residuales del modelo ajustado, el supuesto de varianza constante que requiere que la varianza de los residuales sea la misma para cada tratamiento, el Supuesto Estadístico de Independencia que indica que cada residual no debe tener ningún tipo de relación o dependencia con los demás y finalmente, el supuesto media cero.

Capítulo 4

4. Análisis de resultados

4.1 Clasificación de los Suelos que Componen cada Tratamiento

4.1.1 Según SUCS

De acuerdo al ensayo de granulometría, se realizó el procedimiento descrito en el capítulo 3.3.4 para obtener la clasificación del suelo a partir del Sistema Unificado, como resultado se obtuvo una arena bien gradada (W) para el ripio y el subsuelo. Por lo tanto, se tiene que ambos suelos son aceptables para la fabricación de bloques de suelo-cemento, debido a que, al contener gran porcentaje de arenas y baja plasticidad, el cemento adquiere una mejor adherencia al ser mezclado y al adicionar agua, por ende, se obtiene también una mejor resistencia, ya que, los suelos granulares presentan buenas características de resistencia. Los requisitos para la clasificación del suelo según SUCS, se pueden ver en la tabla 3-3.

4.1.2 Según su Naturaleza

Según los resultados obtenidos del procedimiento efectuado en el capítulo 3.3.5 del presente documento, se puede observar en la Figura 3-11 que los dos suelos que componen cada uno de los tratamientos evaluados (Ripio y Subsuelo) según su naturaleza se ubican dentro del rango D2. Lo cual indica, que, aunque son materiales aptos para la construcción, por ejemplo, útiles en la fabricación de bloques en suelo-cemento, al ser tan granulares y con un índice de plasticidad nulo, es necesario adicionar partículas más finas para garantizar un proceso de cohesión más adecuada según lo recomienda la normativa vigente en Colombia.

Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.

4.1.3 Según su textura

Una vez realizado el proceso para obtener en el laboratorio la composición porcentual de arenas, limos y arcillas presentes en los dos suelos empleados en la fabricación de los bloques en suelo-cemento (Subsuelo y Ripio) empleando el método de Bouyoucos y realizando el esquema resultante de los datos obtenidos mostrados en la figura 3-15 del triángulo textural de USDA, se determina que juntos suelos evaluados son de textura franco -arenosa. Esto quiere decir que son suelos buenos para ser utilizados en distintas obras de tipo civil, como la fabricación de bloques de suelo estabilizados con cemento. Ya que, si fueran suelos limosos o arcillosos, no permitirían una reacción adecuada del cemento gracias a la cohesión presente en esas partículas, además, se puede correr el riesgo de expansión o compresión según el porcentaje de humedad al cual sean expuestos.

4.2 Comparación mecánica de las probetas de cada tratamiento

4.2.1 Ensayo Proctor modificado

Gracias a los resultados obtenidos en el laboratorio del ensayo Proctor modificado, se pudo realizar una gráfica tal como se puede apreciar en las figuras 3-17, 3-18 y 3-19. De lo anterior, se puede analizar que todas las gráficas tienen un comportamiento similar a una parábola invertida, cuyo vértice, se entiende como el punto máximo de compactación presentado en cada tratamiento y a su vez, siguiendo el valor que le corresponde al vértice ubicado en el eje de las abscisas, se puede determinar el porcentaje de humedad óptimo.

4.2.2 Ensayo compresión

La intención de este ensayo es determinar cuánto pueden resistir las probetas fabricadas partiendo de la dosificación de cada tratamiento evaluado, con esto, se tiene una idea de cómo sería el comportamiento en los bloques que se fabrican con esta misma dosificación. En la figura 4-1, se puede observar de manera grafica el resumen de los resultados de los ensayos a compresión obtenidos para las probetas fabricadas con base a cada tratamiento evaluado

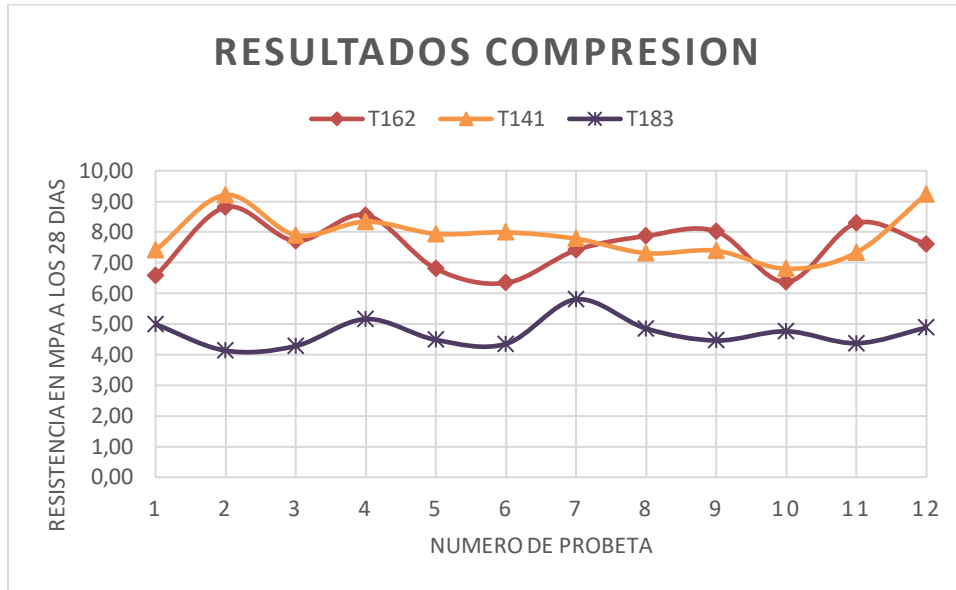


Figura 4-1: Grafica de resultados ensayo a compresión de todas las probetas por cada tratamiento.

Según la NTC 5324, los bloques se pueden clasificar según la resistencia mínima a compresión requerida para el tipo de bloque que se planea fabricar, por ejemplo, para bloques cuya resistencia mínima sea de 2MPa se denominará BSC 20, para los que deben resistir mínimo 4MPa se clasifican como BSC 40 y para los que deben resistir mínimo 6MPa se clasificaran como BSC 60, por esta razón se evalúan las probetas, para determinar si la dosificación del tratamiento empleado en la elaboración de bloques ecológicos a base de suelo-cemento en Consacá-Nariño cumplen con la resistencia a compresión mínima exigida por la norma.

Gracias al procedimiento descrito en la norma I.N.V-E 614 que permite realizar el proceso para evaluar a la compresión cilindros moldeados en suelo cemento, se obtienen los resultados mostrados en la tabla 3-16 del presente documento, de los resultados se puede observar que la resistencia promedio obtenida en el tratamiento T1:6:2 es de 7,53, para el tratamiento T1:4:1 es de 7,89 y finalmente el tratamiento T1:8:3 en promedio resistió 4,71Mpa, lo cual indica que los tres tratamientos arrojan resultados muy positivos.

Desde el punto de vista técnico y económico sería más favorable usar el tratamiento T1:6:2 como la dosificación a emplear para la fabricación de los bloques ecológicos de suelo-cemento en el lugar de producción, ya que, contiene una cantidad de 3,89% menos en porcentaje de cemento que el tratamiento T1:4:1 y a su vez, presenta una resistencia muy similar, sólo 0,36MPa por debajo.

De acuerdo a la tabla de la NTC 5324 “clases de resistencia a la compresión” donde se clasifican los bloques macizos de suelo-cemento según su resistencia mínima, se procede

Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.

a clasificar los tratamientos evaluados para tener una idea sobre la resistencia mínima que obtendrían los bloques de suelo-cemento al ser fabricados con estas dosificaciones. Por lo tanto, el tratamiento T1:6:2 y T1:4:1 se clasifica como un BSC 60, puesto que, su resistencia mínima es mayor de 6MPa, mientras que el tratamiento T1:8:3 se clasifica como un BSC 40, porque obtuvo una resistencia de 4MPa.

4.2.3 Ensayo de Absorción

Gracias a este ensayo realizado según las indicaciones dadas en NTC 4017, de la tabla 3-18 podemos ver que el porcentaje de absorción promedio en agua fría es de 8,17% para el tratamiento T1:6:2, 8,34% para el tratamiento T1:4:1 y 9,25% para el tratamiento T1:8:3.

De manera grafica se muestran los resultados obtenidos del ensayo de absorción aplicado a las probetas fabricadas respetando la dosificación de cada tratamiento evaluado. Ver figura 4-2.

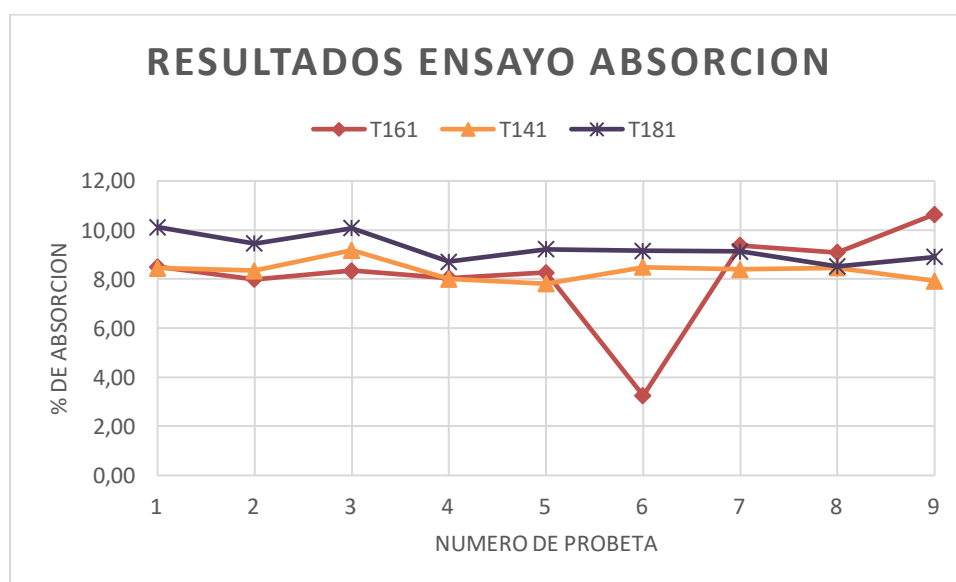


Figura 4-2: Grafica de resultados ensayo de absorción de todas las probetas por cada tratamiento.

Con base a estos resultados, se puede observar que en los 3 tratamientos hay un gran porcentaje de absorción, debido a que sus componentes (Subsuelo y Ripio) según los distintos métodos de clasificación realizados, arrojan que son suelos granulares, arenas bien gradadas con muy pocos porcentajes de limos o arcillas según la S.U.C.S, de categoría D2 según el anexo 4 de la NTC 5324. El porcentaje de cemento que compone cada

tratamiento es un factor importante ya que este cumple la función de estabilizar y aportar cohesión en las partículas del suelo, dando como resultado que las probetas de los tratamientos T1:6:2 y T1:4:1 que tienen más porcentaje de cemento en su dosificación, disminuyen su capacidad de absorción al tener más partículas finas dentro de la mezcla, reduciendo la probabilidad de que los bloques fabricados con estas dosificaciones fallen ante la posibilidad de que no se respete el curado que estos ladrillos requieren y de igual manera, si los bloques son empleados en construir obras en espacios exteriores, al no absorber tanta agua, evitan su debilitamiento inducido por agentes externos como la lluvia, en cambio el tratamiento T1:8:3, en cuya dosificación el porcentaje de cemento es menor con respecto a los otros dos tratamientos, absorbe más agua.

4.2.4 Ensayo erosión acelerada por goteo

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos del ensayo de erosión acelerada por goteo de Swinburne, aplicando el procedimiento descrito en la norma UNE 41410 y el respectivo criterio que impone esta reglamentación para determinar si un elemento fabricado a base de suelo-cemento es apto o no, se pueden observar resultados son muy positivos, ya que las 12 probetas (4 por cada tratamiento) sometidas a ensayo no presentaron oquedades en las caras que fueron expuestas para recibir las gotas de agua en caída libre, por lo tanto, cada tratamiento se considera apto para la construcción, independientemente de la varianza en su dosificación, los tres tratamientos presentan una gran resistencia a la erosión, garantizando que sea viable fabricar bloques que puedan ser usados en exteriores y no requieran revestimientos en mortero (pañete) u otros recubrimientos que evitan el contacto directo de estos ladrillos con agentes externos.

4.3 Costo de Producción

Para dar un análisis desde el punto de vista económico, fue necesario realizar un análisis de precios unitarios (APU), el cual puede ser visto en el anexo B del presente documento. Dicho análisis se realizó teniendo en cuenta todos los factores que pueden influenciar directamente en el costo de producción de cada unidad de ladrillo artesanal, por ejemplo, el costo de los insumos, como lo es el cemento y el Ripio, que se obtienen comprándolos en ferreterías, al igual que el costo de la mano de obra y alquiler de los distintos equipos necesarios para elaborar los mampuestos. Con base en los resultados obtenidos, se puede observar de manera general que los precios están directamente influenciados por el contenido de cemento según la dosificación de cada tratamiento, como es de esperarse, lo bloques más económicos de fabricar son los que emplean menor contenido del aglutinante en su dosificación, por ende, el tratamiento T1:8:3 es el más económico de

Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.

producir, dando un costo final de \$807,40 por cada unidad, gracias a que el contenido de cemento empleado en su dosificación, es mucho menor que el usado en los otros dos tratamientos (T1:6:2 y T1:4:1) sin embargo, no representa un ahorro significativo en cuanto al costo que supone elaborar bloques con el tratamiento T1:6:2, cuyo valor es de \$918,44, tan solo \$111,4 más caro que las unidades producidas por el tratamiento T1:8:3. Es por esto que, el tratamiento T1:6:2 es el que mejor relación costo/beneficio ofrece, ya que técnicamente es el que mejor comportamiento tiene y producir unidades de mampuesto es más económico que el tratamiento T1:4:1, que cada bloque representa un coste de producción de \$1.057,33 ya que es el tratamiento que mayor contenido de cemento tiene en su dosificación.

4.4 Análisis Estadístico

A partir de los resultados del ensayo a compresión obtenidos en el capítulo 3.3.8. del presente documento, se muestra un resumen en la tabla 4-1 de la estadística descriptiva del proyecto realizada, esto con el fin de entender de una manera un poco más sencilla el comportamiento de los valores obtenidos y con esto, determinar la forma en que se puede establecer una comparación entre ellos.

| estadística descriptiva | Tratamientos | | |
|-------------------------|--------------|-------------|-------------|
| | T1:6:2 | T1:4:1 | T1:8:3 |
| Media | 7,53 | 7,89 | 4,71 |
| Mediana | 7,66 | 7,84 | 4,62 |
| Desviación Estándar | 0,846462783 | 0,745316691 | 0,467283413 |
| Variación de la Muestra | 0,716499242 | 0,55549697 | 0,218353788 |

Tabla 4-1: Análisis de estadística descriptiva de los resultados de compresión de probetas a los 28 días.

La desviación estándar del tratamiento T1:8:3 tiene datos más agrupados, esto quiere decir que tuvo una mejor conformación, esto se puede determinar gracias a que la desviación estándar es baja, ya que, entre mayor desviación estándar se arroje en los resultados, más desagrupados están los datos, y entre más dispersos estén los datos, puede significar que se está incurriendo en un error. En cuanto a la media, el tratamiento que tiene el valor más bajo en cuanto a la resistencia a la compresión es T1:8:3 con 4,71MPa, esto se debe a que tiene menos contenido de cemento en su dosificación, finalmente se puede observar

que la variación de la muestra y la desviación estándar nos está confirmando lo mencionado anteriormente.

Con base a lo anterior, el software nos permite obtener un resumen de manera gráfica mediante un diagrama de caja de bigotes sobre la tendencia central de los datos, la dispersión y la presencia de datos atípicos si llegasen a estar presentes. Ver Figura 4-3.

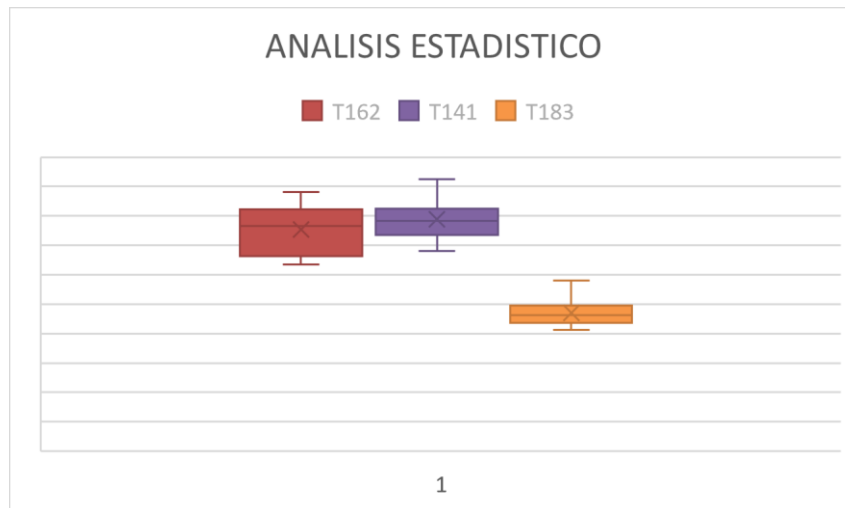


Figura 4-3: Diagrama de caja de bigotes resultante del análisis estadístico de los resultados de ensayo a compresión a probetas con edad de 28 días.

De la Figura 4-3, se puede analizar en primera instancia que no se encuentran datos atípicos, lo cual confirma el porcentaje de confiabilidad de los valores obtenidos. De igual manera, se observa que los resultados adquiridos para el tratamiento T1:6:2 son más dispersos, cabe aclarar que esto no implica que se esté incurriendo en algún error, sin embargo, en términos de resistencia, esta levemente por debajo de la mediana resultante para el tratamiento T1:4:1, aunque los resultados de este segundo tratamiento están más agrupados. Los cuartiles superiores de los dos tratamientos antes mencionados, están casi al mismo nivel, lo cual indica de manera anticipada que no hay diferencia significativa en términos técnicos entre estos dos tratamientos.

También se puede observar que el tratamiento T1:8:3 presenta una resistencia considerablemente menor con respecto a los dos tratamientos previamente descritos, ya que su cuartil superior y su mediana no se encuentran al mismo nivel, esto se debe a que el T1:8:3 reduce en su dosificación la cantidad de cemento, pasando de un 11,11% en T1:6:2 ó 15% en T1:4:1, a solamente 8%.

Continuando con el análisis estadístico, se realizó el análisis de varianza, en el cual se plantea dos hipótesis, la primera, (H_0) es la hipótesis nula, la cual establece que todas las medias de la resistencia a compresión de las probetas a una edad de 28 días, son iguales. La segunda es (H_a) que es la hipótesis alterna, en la que se establece que al menos una de

Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.

las medias de la resistencia a compresión de las probetas a los 28 días, es diferente. Gracias al Software para análisis estadísticos de uso libre RStudio (versión 1.3.1073, ® 2009-2020 RStudio PBC) se puede llevar a cabo este análisis, a continuación, se muestran los resultados obtenidos en la tabla 4-2.

| Fuente de Variación | Grados de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrados Medios | F | Valor -P P(>F) |
|---------------------|--------------------|-------------------|------------------|--------|-------------------|
| Tratamientos | 2 | 72,707 | 36,353 | 73,178 | 7,399 e-13 |
| Residuos | 33 | 16,394 | 0,497 | | |

Tabla 4-2: Resultados análisis de varianza de la resistencia a compresión a probetas con edad de 28 días.

Partiendo de los resultados de la tabla 4-2, se puede apreciar que arroja un valor de $P=7,399 \text{ e-}11$, menor a 0,05; esto quiere decir que nos da una Hipótesis alterna (H_a), por ende, hay diferencias significativas entre las medias de cada uno de los tratamientos con un nivel de confianza del 95%).

Posterior al análisis de varianza, el software anteriormente mencionado, realiza la prueba de HSD (Honestly/significant/difference) Gracias a la función del software llamada (HSD.test (de la librería agricolae)) la cual se basa en la hipótesis de John Tukey, tal como se mencionó en el capítulo 3.5, esto con el fin de comparar las medias de los resultados a compresión de cada tratamiento y establecer si existen diferencias significativas entre ellas, teniendo en cuenta lo anterior, se realizó la prueba de múltiples rangos HSD test, donde se muestran los resultados en la tabla 4-3.

| Prueba HSD Para Esfuerzo | |
|--|---|
| Resultado del Test: los tratamientos con la misma letra NO son significativamente diferentes. | |
| T141 | a |
| T162 | a |
| T183 | b |

Tabla 4-3: Resultados análisis de varianza de la resistencia a compresión a probetas con edad de 28 días

De la tabla 4-3, se puede observar que los tratamientos T1:4:1 y T1:6:2 no representan diferencias significativas en cuanto a la resistencia promedio a compresión, con un nivel de confianza del 95%, lo cual confirma el análisis preliminar del diagrama mostrado en la Figura 4-3, se puede considerar que estos dos tratamientos son iguales, por ende, se debe

tener en cuenta el porcentaje de contenido de cemento en su dosificación, ya que este influye directamente en su costo de producción, a mayor cantidad de cemento requerido, mayor costo de producción, de lo anterior, también se puede observar que el T1:8:3 da menor resultado porque menor contenido de cemento tiene en su dosificación. De manera gráfica se presenta el resultado obtenido del test en la Figura 4-4.

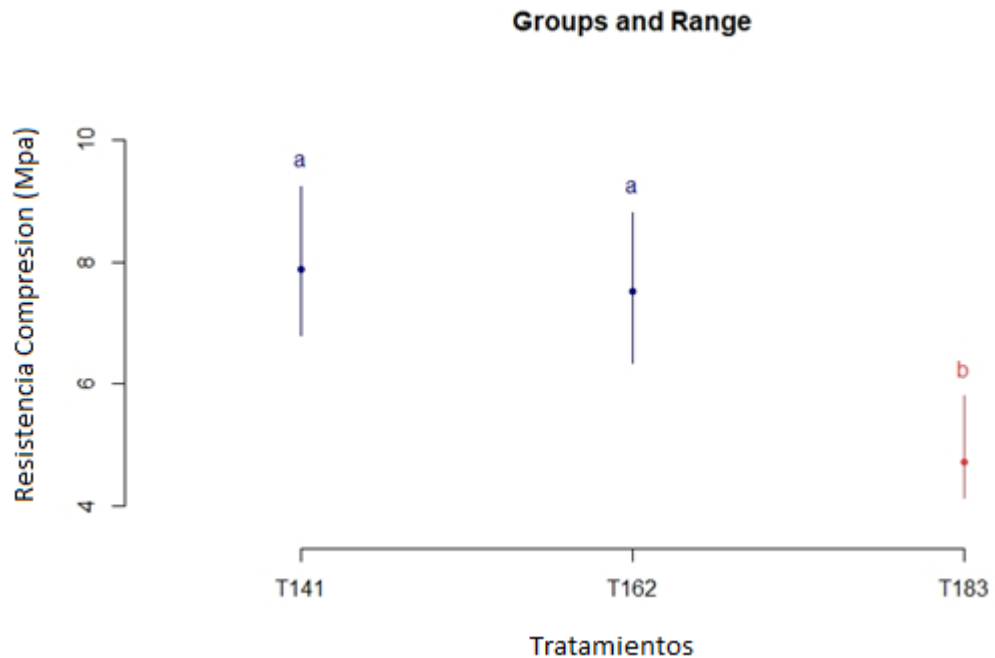


Figura 4-4: Grafica resultante del análisis de varianzas implementado en el modelo estadístico.

Para complementar el análisis estadístico, fue necesario evaluar los residuales del modelo ajustado, tal como se explicó en el capítulo 3.5 del presente documento, la intención es confirmar que se cumplan los 4 supuestos estadísticos. los resultados del software se muestran de manera resumida a continuación, ver tablas 4-4, 4-5 y 4-6:

| supuesto de normalidad | | |
|------------------------|--------|--------|
| valor W | 0,956 | Cumple |
| valor P | 0,3147 | |

Tabla 4-4: Resultados supuesto de normalidad.

Del supuesto de normalidad (tabla 4-4), se obtiene un valor para P de 0,317, mayor a 0,05, lo cual indica que no hay diferencias significativas con respecto a la normalidad.

| supuesto de varianza constante | | |
|--------------------------------|-------|--|
| valor chi-cuadrado | 2,6 | Cumple, la varianza de los residuales es la misma por cada tratamiento |
| valor DF | 1 | |
| valor de P | 0,106 | |

Tabla 4-5: Resultados supuesto de varianza constante.

Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.

De igual manera el supuesto de varianza constante (tabla 4-5) arroja un valor de P mayor a 0,05, cumpliendo con la condición, de que la varianza de los residuales es la misma por cada tratamiento.

| supuesto de independencia | | |
|---------------------------|-------|---|
| Hipótesis alternativa | 0,832 | Cumple, ningún residual tiene relación o dependencia con algún otro |

Tabla 4-6: Resultados supuesto de independencia.

Con respecto al supuesto de independencia (tabla 4-6), arroja un valor para P de 0,832, es mayor a 0,05, lo cual indica que cumple con la condición, que ningún residual tiene relación o dependencia con algún otro residual.

Este supuesto se puede corroborar con la figura 4-5.

Grafico de residuales contra el orden

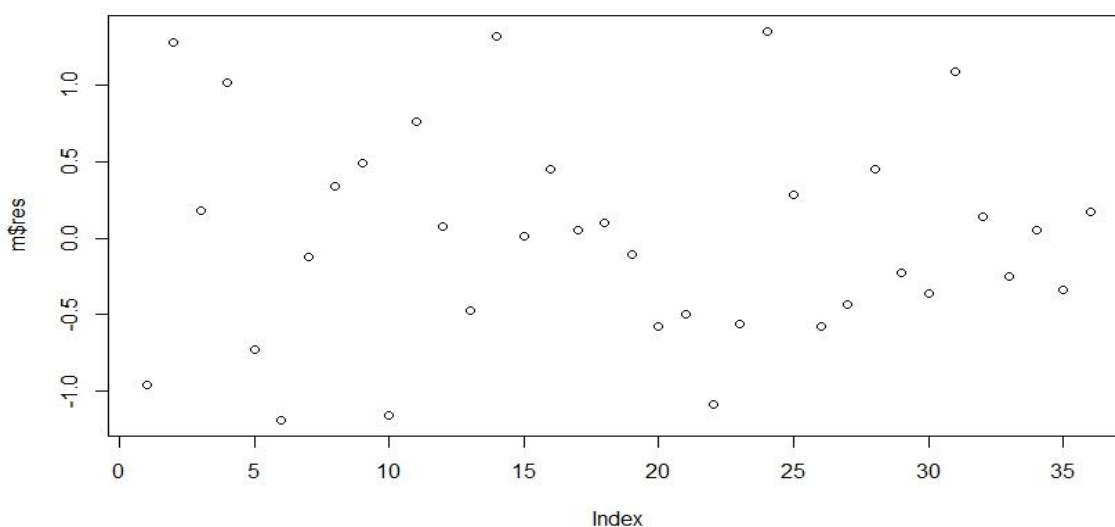


Figura 4-5: Grafica resultante del supuesto estadístico de independencia.

De la figura 4-5, se puede analizar que efectivamente se está cumpliendo con el supuesto de independencia, al tener una distribución aleatoria de puntos sin que estos se sobrepongan o estén demasiado agrupados en ciertos sectores del tablero, es un resultado muy positivo por que indica que el modelo estadístico implementado arroja datos convincentes, con un alto porcentaje de confiabilidad y, por ende, no es necesario realizar

ningún tipo de corrección. El supuesto media cero nos da un valor de P de igual a 1, es mayor a 0,05 lo cual indica que se está cumpliendo con el supuesto.

4.5 Análisis Comparativo con Otras Fuentes de Investigación

En la tabla 4-7 se muestra un resumen que nos permite comparar los resultados obtenidos en otras investigaciones que evalúan las propiedades físico mecánicas de bloques en suelo estabilizados con cemento. El comparativo resume la composición de arenas, limos y arcillas que contenían los suelos empleados en los otros proyectos, de igual manera, la dosificación de cada diseño de mezcla (porcentaje de cemento y suelo), la densidad óptima obtenida del ensayo de Proctor, el porcentaje de absorción de las unidades fabricadas y finalmente, el resultado promedio a la compresión de las unidades a los 28 días.

| | Tesis | Composición de los suelos | Tratamiento | Dosificación | Densidad lb/pe ³ | % de absorción | f'c promedio a los 28 días (Mpa) |
|--------------------------|--------------------------------|--|-------------|-------------------------|-----------------------------|----------------|----------------------------------|
| Bloques de suelo-cemento | Holgado Cornejo, et al. (2015) | 65% arena, 25% arcilla y 10% limo. | T:1 | 94% suelo y 6% cemento | 103,63 | 18,6 | 5,07 |
| | | 60% arena, 25% arcilla y 15% limo. | T:2 | 92% suelo y 8% cemento | 103,63 | 16,5 | 4,07 |
| | | 55% arena, 25% arcilla y 20% limo. | T:3 | 92% suelo y 8% cemento | 104,25 | 18,1 | 8,27 |
| | Berlingieri (2017) | 60% entre limos y arcillas y 40% arena | T:1 | 89% suelo y 11% cemento | 110,49 | 16,22 | 5,82 |
| | | Se desconoce la composición | T:2 | 89% suelo y 11% cemento | 116,74 | 13,38 | 4,6 |

Tabla 4-7: Comparación de resultados con otras tesis.

Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.

| | Tesis | Composición de los suelos | Tratamiento | Dosificación | Densidad (lb/pie ³) | % de absorción | f'c promedio a los 28 días (Mpa) |
|---------------------------|-----------------------|---|-------------|---|---------------------------------|----------------|----------------------------------|
| Bloques de suelo-cemento | Medina & Yancy (2019) | 100% arcilla | T:1 | 95% suelo y 5% cemento | 69,91 | 11,4 | 1,49 |
| | | 100% arcilla | T:2 | 92% suelo y 8% cemento | | 12,49 | 2,27 |
| | | 100% arcilla | T:3 | 88% suelo y 12% cemento | | 14,41 | 1,98 |
| Probetas de suelo-cemento | Lopez & Romero (2023) | Subsuelo: 80,18% arenas, 6,02% limos y 13,8% arcillas - Ripio: 75,09% arenas, 8,91% limos y 16% arcillas. | T1:8:3 | 66,66% subsuelo, 25,34% ripio y 8% cemento | 117,18 | 9,25 | 4,71 |
| | | | T1:6:2 | 66,66% subsuelo, 22,23% ripio y 11,11 cemento | 115,33 | 8,17 | 7,53 |
| | | | T1:4:1 | 66,66% subsuelo, 18,34% ripio y 15% cemento | 115,66 | 8,34 | 7,89 |

Tabla 4-7 (continuación): Comparación de resultados con otras tesis.

Es necesario recordar, que en el presente proyecto de grado no se emplearon bloques, por ende, va a ser muy difícil hacer un comparativo por que los métodos empleados no son los mismos, los tipos de suelos o dosificación en los tratamientos varía, sin embargo, gracias a que las probetas de laboratorio nos permiten obtener datos muy aproximados sobre el comportamiento que podrían tener los bloques elaborados de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá Nariño. Se realizó un comparativo partiendo de la clase de suelo empleado, capacidad de absorción de las unidades fabricadas, densidad óptima resultante del ensayo Proctor modificado y finalmente, resistencia promedio a la

compresión entre tratamientos que contengan en su dosificación un porcentaje similar de cemento.

Con respecto a los componentes empleados en el trabajo de Holgado Cornejo, et al. (2015), según los porcentajes de arenas, limos y arcillas que los componen, sus suelos se clasifican entre arenas limosas para el T:1 y arenas arcillosas para los tratamientos T:2 y T:3, en el presente proyecto de grado, se emplea un suelo más granular, con mayor porcentaje de arenas y menos partículas finas en comparación a la investigación anteriormente mencionada, lo cual permite comprender por qué la densidad óptima de los tratamientos evaluados por Holgado y Cornejo en el ensayo de compactación Proctor, requieren de un contenido menor de agua, aunque esto implica, que una vez elaborado el mampuesto, el porcentaje de absorción de agua es mucho mayor a los tratamientos empleados en esta tesis.

En sus diseños de mezcla, el porcentaje de contenido de cemento varía entre el 6% y 8%, composición más baja que la variación empleada en los tratamientos T1:6:2, T1:8:3 y T1:4:1, sin embargo, en los dos proyectos de investigación, la tendencia es la misma, entre más contenido de cemento y más granular sea el suelo junto a un porcentaje adecuado de finos, los bloques o probetas tendrán una mayor resistencia promedio a la compresión, siendo para Holgado y Cornejo el T:3 con 8,27Mpa y 8% de contenido de cemento en su dosificación, comparado con el tratamiento T1:8:3, que también incluye un 8% en su dosificación, la resistencia promedio es mucho menor, de tan solo 4,71Mpa, esto se debe a que los materiales empleados en el presente proyecto de grado absorben menos agua, disminuyendo la reacción química del cemento que se obtiene al entrar en contacto con el fluido y según la clasificación de suelo por la NTC 5324, el subsuelo y Ripio empleados en el tratamiento T1:8:3 requieren de un mayor contenido de partículas finas (limos-arcillas) para obtener mejores resultados.

Continuando con el comparativo, el estudio realizado por Berlingieri (2017), emplea dos tratamientos, el T:1 está compuesto de un suelo que contiene 40% arenas y 60% entre limos y arcillas, lo cual indica que es un suelo arcilloso limoso, y un tratamiento T:2 el cual no especifica los componentes o el tipo de suelo, en comparación a los suelos empleados en el presente proyecto de grado, Berlingieri emplea suelos con un mayor contenido de partículas finas, la densidad óptima resultante del ensayo Proctor en ambos proyectos es muy similar, aunque una vez elaboradas las muestras (ladrillos/probetas) en el estudio de Berlingieri, el porcentaje de absorción de agua es mucho mayor.

La variación de contenido de suelo y cemento en cada dosificación de los diseños de mezcla T:1 y T:2 para Berlingieri, es de, 89% suelo y 11% cemento, del presente proyecto de grado, el tratamiento T1:6:2 es quien más se asemeja a la dosificación en comparación, resultando

Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.

para Berlingieri, que el diseño de mezcla más ideal con la que obtiene una resistencia promedio a la compresión más alta es el T:1 con 5,82Mpa, se puede observar, que es más baja que la resistencia promedio obtenida en el T1:6:2 con 7,53Mpa, esto se debe a que Berlingieri emplea suelos con demasiadas partículas finas, y no permite que haya una buena interacción entre los agregados y la pasta cementante, por ende, no se obtienen resultados a compresión más altos, ya que, según lo identificado en el presente proyecto de grado, se requieren suelos más granulares, con mayor porcentaje de arenas que garanticen una mejor interacción con el cemento y a su vez, resulten mejores valores a la compresión.

Finalmente, el estudio realizado por Medina & Yancy (2019), emplea de igual manera 3 diseños de mezcla, en los tres tratamientos emplean únicamente arcillas de baja a media compresibilidad, como se ha mencionado anteriormente, los suelos que componen los tratamientos evaluados en el presente proyecto de grado, según la clasificación resultante, es de tipo más granular, tanto el Subsuelo como el Ripio resultan ser arenas bien gradadas, con mucho menos partículas finas en comparación con la investigación de Medina & Yancy, con respecto al contenido de agua que requieren para obtener la densidad óptima resultante del ensayo Proctor, es mucho menor a la requerida en los tratamientos, T1:6:2, T1:8:3 y T1:4:1, sin embargo, con las muestras elaboradas (ladrillos/probetas) en el estudio de Medina & Yancy, el porcentaje de absorción de agua es mucho mayor.

En sus diseños de mezcla, el porcentaje de contenido de cemento varía entre el 5% y 12%, composición más baja que la variación empleada en los tratamientos T1:6:2, T1:8:3 y T1:4:1, en cuanto a la resistencia promedio a la compresión, el diseño de mezcla que mejor desempeño tiene para Medina & Yancy es el T:2 con 2,27Mpa y 8% de contenido de cemento en su dosificación, comparado con el tratamiento T1:8:3, que también incluye un 8% en su dosificación, la resistencia promedio es mucho mayor, con 4,71Mpa, gracias a que las partículas granulares presentes en el Subsuelo y Ripio como agregados, permiten una mayor interacción con la pasta cementante.

Capítulo 5

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Se puede concluir que ambos suelos (Subsuelo y Ripio) son aptos para ser empleados en la fabricación de bloques de suelo-cemento, ya que, la caracterización resultante del ensayo de granulometría y textura, permiten realizar una clasificación de suelo utilizando el método S.U.C.S, donde se obtiene que tanto el Subsuelo como el Ripio son suelos arenosos bien gradados, por ende, presentan buenas características de resistencia mecánica y compactación, debido a su baja plasticidad y distribución equilibrada de partículas de diferentes tamaños. Además, presentan buena adherencia con el cemento en presencia del agua, debido a que la mezcla se vuelve más densa y fuerte contra las fisuras.

Del ensayo Proctor modificado se puede concluir que a pesar de que en los tres tratamientos (T1.6:2, T1:4:1 y T1:8:3) varía la composición porcentual del contenido de Ripio y Cemento, la cantidad de agua que requieren para obtener un porcentaje de humedad óptimo en cada submuestra de 3,2kg, es la misma, aunque esto no implica que se obtenga la misma densidad óptima, con la cual se puede garantizar la mejor compactación en la fabricación de las probetas.

Gracias al análisis estadístico, se puede concluir que los tres tratamientos son viables técnicamente para la construcción de bloques, ya que ningún valor obtenido está por debajo de las resistencias mínimas a la compresión estipuladas en la NTC 5324, cuyos valores oscilan entre 2, 4 y 6Mpa para clasificar al bloque de suelo cemento según su resistencia final (BSC 20, BSC 40, BSC 60, respectivamente). Siendo T1:4:1 el tratamiento que técnicamente ofrece mayores garantías en cuanto a la resistencia promedio a la compresión de 7,89Mpa, lo cual es mucho mayor a la obtenida por las probetas del tratamiento T1:8:3 4,71Mpa y esta levemente encima del promedio de la resistencia obtenida en las probetas del T1:6:1 con 7,53Mpa. Es importante resaltar que, aunque los criterios de resistencia mínima a la compresión son tomados de la NTC 5324 que está

Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.

enfocada específicamente para bloques en suelo-cemento, el uso de probetas siguiendo el método A de la I.N.V-E 614, nos permite tener una idea muy cercana del posible comportamiento que tendrían estos ladrillos.

Gracias al análisis estadístico se puede concluir que la resistencia promedio a la compresión del tratamiento T1:4:1 de 7,89Mpa, no representa un incremento significativo en cuanto al tratamiento T1:6:2 que es de 7,53Mpa. aunque, en el T1:4:1 contenga 15% de cemento en su dosificación y el T1:6:2 solamente 11%. Lo que quiere decir, que son iguales.

Se puede concluir que el tratamiento T1:6:2 presenta un porcentaje de absorción de agua de 8,17% siendo menor que los otros dos tratamientos evaluados T1:4:1 y T1:8:3 absorbiendo 8,34% y 9,25% respectivamente, lo cual indica que es la dosificación más balanceada en su composición. Ya que, al absorber menos agua, requiere de un menor gasto del fluido para realizar un respectivo curado y es más probable que sea más resistente a la erosión que podría ocasionar al estar expuesto a cambios climáticos como lluvia y sol.

En cuanto al factor económico, se puede concluir que los bloques que se elaboren con el tratamiento T1:6:2 son los que mejor costo de producción suponen con un valor de \$918,44, ya que producir este mampuesto, es más económico que el bloque producido por el tratamiento T1:4:1 con un valor de \$1.057,33, resaltando que el análisis estadístico arrojó que los dos tratamientos técnicamente son iguales y con respecto al tratamiento T1:8:3 con un valor de \$807,4, no hay gran ahorro de dinero, siendo este último tratamiento el que menor capacidad técnica presentó.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda a la planta artesanal “Ladrillos ecológicos Nariño” que fabrica bloques de suelo-cemento empleando las diferentes dosificaciones estudiadas durante el presente proyecto de grado, dejar de fabricar mampuestos con el tratamiento T1:4:1, puesto que, a pesar de que la resistencia a la compresión promedio que se obtuvo de las probetas fabricadas con éste tratamiento es alta (7,89Mpa), generan un mayor costo de producción, ya que, en la dosificación de la mezcla, contienen 15% de cemento, el contenido más alto entre los tres tratamientos. Del mismo modo, es recomendable, el continuar fabricando los bloques de suelo-cemento utilizando únicamente el tratamiento T1:6:2, pues la dosificación de dicho tratamiento, requiere de un menor contenido de cemento, 11,11%,

lo que quiere decir que, el costo de producción será más económico; y en cuanto a la resistencia a la compresión promedio de las probetas fabricadas con dicha dosificación, se obtuvo un valor de 7,53Mpa, el cual, sí se compara con la resistencia obtenida de las probetas fabricadas con el tratamiento T1:4:1, es relativamente similar con una diferencia de sólo 0,36Mpa.

Aunque el proceso de fabricación es totalmente artesanal, se recomienda ir empleando métodos más técnicos en el proceso de producción, por ejemplo, implementando el uso de tamices que recomienda la NTC 1522 y el procedimiento que se describe para determinar la granulometría de los suelos que se emplean en la fabricación de unidades de adobe, en definitiva, es importante tener en cuenta todas las normativas citadas en el capítulo 3 del presente documento, para que de esta manera, se pueda garantizar una calidad constante en cada ladrillo que se fabrique, evitando utilizar un material cuyos tamaños de partículas no respeta los tamaños aceptados por la normativa I.N.V-E 142-13 o las recomendaciones que deben tener cada suelo según su clasificación en la NTC 5322, Anexo A y así sucesivamente.

Al obtener como resultado suelos granulares para los materiales empleados en la composición de cada tratamiento (subsuelo y ripio), es ideal agregar un poco más de partículas finas, pues de acuerdo a la clasificación según la naturaleza de los materiales que se aplicó para los dos suelos, utilizando la NTC 5324, se obtuvo una clasificación D2 tanto para el subsuelo como para el ripio; por lo tanto, la misma norma, indica puntualmente que, “los materiales son suelos arenosos con la necesidad de un aumento considerable de finos para ser aceptados”, es decir que, la NTC 5324 sugiere ciertos porcentajes de partículas granulares (arenas) y partículas finas (limos y arcillas) para considerar un material apto para la fabricación de bloques de suelo-cemento y por consiguiente garantizar las mejores características físicas y mecánicas.

Se recomienda siempre aplicar el ensayo de laboratorio “Proctor modificado” al tratamiento empleado en la fabricación de unidades de mampuesto, siguiendo el paso a paso descrito en los métodos de la norma I.N.V-E 142-13, con el fin de encontrar la humedad óptima y máxima densidad en la mezcla de suelo-cemento, puesto que, el proceso de humedecer la mezcla en la planta artesanal siempre ha sido un método empírico, que se usa en los trabajos de campo para obtener resultados aproximados, pero no precisos y es por esto que, realizar este trabajo de laboratorio, permite que la mezcla quede mejor compactada y más densa y así, ayudar a obtener mejores resultados en la resistencia a la compresión.

A.Anexo: Tablas de resultados de ensayos de compresión y absorción.

Tratamiento 1: Cemento (11,11%), Subsuelo (66,66%), Ripio (22,23%)

| RESULTADOS ENSAYOS COMPRESION SEGÚN INVE 614-13, METODO A. | | | | |
|--|----------------------|---|-------------------------------|------------------------------|
| Numero de probeta | Edad Cilindro (días) | Área Sección Transversal (mm ²) | relación L/D (11,7cm /10,2cm) | Resistencia Compresión (Mpa) |
| 1 | 28 | 8171,3 | 1,15 | 6,57 |
| 2 | 28 | 8171,3 | 1,15 | 8,81 |
| 3 | 28 | 8171,3 | 1,15 | 7,71 |
| 4 | 28 | 8171,3 | 1,15 | 8,55 |
| 5 | 28 | 8171,3 | 1,15 | 6,8 |
| 6 | 28 | 8171,3 | 1,15 | 6,34 |
| 7 | 28 | 8171,3 | 1,15 | 7,41 |
| 8 | 28 | 8171,3 | 1,15 | 7,87 |
| 9 | 28 | 8171,3 | 1,15 | 8,02 |
| 10 | 28 | 8171,3 | 1,15 | 6,37 |
| 11 | 28 | 8171,3 | 1,15 | 8,29 |
| 12 | 28 | 8171,3 | 1,15 | 7,61 |
| RESISTENCIA PROMEDIO | | | | 7,53 |

Tabla A-1: Resultados ensayo de compresión tratamiento T1:6:2.

Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.

| RESULTADOS ENSAYO ABSORCION SEGÚN NTC 4017 | | | | | | | |
|--|----------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------------|----------------------------------|-------------|
| Numero de Probeta | Edad Cilindro (días) | Tiempo Secado en Horno | Peso Cilindro Seco (gr) | Tiempo Inmersión en Agua | Peso Cilindro post Inmersión | Diferencia de Peso Cilindro (gr) | % Absorción |
| 1 | 28 | 24 hrs | 1860 | 24 hrs | 2018 g | 158 | 8,49 |
| 2 | 28 | 24 hrs | 1878 | 24 hrs | 2028 g | 150 | 7,99 |
| 3 | 28 | 24 hrs | 1869 | 24 hrs | 2025 g | 156 | 8,35 |
| 4 | 28 | 24 hrs | 1876 | 24 hrs | 2027 g | 151 | 8,05 |
| 5 | 28 | 24 hrs | 1858 | 24 hrs | 2011,5 g | 153,5 | 8,26 |
| 6 | 28 | 24 hrs | 1939 | 24 hrs | 2002 g | 63 | 3,25 |
| 7 | 28 | 24 hrs | 1835 | 24 hrs | 2007 g | 172 | 9,37 |
| 8 | 28 | 24 hrs | 1854,5 | 24 hrs | 2023 g | 168,5 | 9,09 |
| 9 | 28 | 24 hrs | 1809 | 24 hrs | 2001,5 g | 192,5 | 10,64 |
| PORCENTAJE PROMEDIO | | | | | | | 8,17 |

Tabla A-2: Resultados ensayo de absorción del tratamiento T1:6:2.

Tratamiento 2: Cemento (15%), Subsuelo (66,66%), Ripio (18,34%).

| RESULTADOS ENSAYOS COMPRESIÓN SEGÚN INVE 614-13, METODO A. | | | | |
|--|----------------------|---|-------------------------------|------------------------------|
| Numero de probeta | Edad Cilindro (días) | Área Sección Transversal (mm ²) | relación L/D (11,7cm /10,2cm) | Resistencia Compresión (Mpa) |
| 1 | 28 | 8171,3 | 1,15 | 7,41 |
| 2 | 28 | 8171,3 | 1,15 | 9,21 |
| 3 | 28 | 8171,3 | 1,15 | 7,9 |
| 4 | 28 | 8171,3 | 1,15 | 8,34 |
| 5 | 28 | 8171,3 | 1,15 | 7,94 |
| 6 | 28 | 8171,3 | 1,15 | 7,99 |
| 7 | 28 | 8171,3 | 1,15 | 7,78 |
| 8 | 28 | 8171,3 | 1,15 | 7,31 |
| 9 | 28 | 8171,3 | 1,15 | 7,39 |
| 10 | 28 | 8171,3 | 1,15 | 6,8 |
| 11 | 28 | 8171,3 | 1,15 | 7,33 |
| 12 | 28 | 8171,3 | 1,15 | 9,24 |
| Resistencia Promedio | | | | 7,89 |

Tabla A-3: Resultados ensayo de compresión tratamiento T1:4:1.

| RESULTADOS ENSAYO ABSORCION SEGÚN NTC 4017 | | | | | | | |
|--|---------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------------|---------------------------------|-------------|
| Numero Probeta | Edad Cilindro | Tiempo Secado en Horno | Peso Cilindro Seco (gr) | Tiempo Inmersión en Agua | Peso Cilindro post Inmersión | Diferencia de Peso Cilindro (g) | % Absorción |
| 1 | 28 | 24 hrs | 1857 | 24 hrs | 2014 g | 157 | 8,45 |
| 2 | 28 | 24 hrs | 1851,5 | 24 hrs | 2006 g | 154,5 | 8,34 |
| 3 | 28 | 24 hrs | 1830,5 | 24 hrs | 1998,5 g | 168 | 9,18 |
| 4 | 28 | 24 hrs | 1860,5 | 24 hrs | 2009,5 g | 149 | 8,01 |
| 5 | 28 | 24 hrs | 1863 | 24 hrs | 2008,5 g | 145,5 | 7,81 |
| 6 | 28 | 24 hrs | 1857 | 24 hrs | 2014,5 g | 157,5 | 8,48 |
| 7 | 28 | 24 hrs | 1864 | 24 hrs | 2020,5 g | 156,5 | 8,40 |
| 8 | 28 | 24 hrs | 1838 | 24 hrs | 1993,5 g | 155,5 | 8,46 |
| 9 | 28 | 24 hrs | 1861,5 | 24 hrs | 2009 g | 147,5 | 7,92 |
| PORCENTAJE PROMEDIO | | | | | | | 8,34 |

Tabla A-4: Resultados ensayo de absorción del tratamiento T1:4:1.

Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.

Tratamiento 3: Cemento (8%), Subsuelo (66,66%), Ripio (25,34%).

| RESULTADOS ENSAYOS COMPRESION SEGÚN INVE 614-13, METODO A. | | | | |
|--|----------------------|---|-------------------------------|------------------------------|
| Numero de probeta | Edad Cilindro (días) | Área Sección Transversal (mm ²) | relación L/D (11,7cm /10,2cm) | Resistencia Compresión (Mpa) |
| 1 | 28 | 8171,3 | 1,15 | 4,99 |
| 2 | 28 | 8171,3 | 1,15 | 4,13 |
| 3 | 28 | 8171,3 | 1,15 | 4,28 |
| 4 | 28 | 8171,3 | 1,15 | 5,16 |
| 5 | 28 | 8171,3 | 1,15 | 4,48 |
| 6 | 28 | 8171,3 | 1,15 | 4,35 |
| 7 | 28 | 8171,3 | 1,15 | 5,8 |
| 8 | 28 | 8171,3 | 1,15 | 4,85 |
| 9 | 28 | 8171,3 | 1,15 | 4,46 |
| 10 | 28 | 8171,3 | 1,15 | 4,76 |
| 11 | 28 | 8171,3 | 1,15 | 4,37 |
| 12 | 28 | 8171,3 | 1,15 | 4,88 |
| RECISTENCIA PROMEDIO | | | | 4,71 |

Tabla A-5: Resultados ensayo de compresión del tratamiento T1:8:3.

| RESULTADOS ENSAYO ABSORCION SEGÚN NTC 4017 | | | | | | | |
|--|----------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------------|----------------------------------|-------------|
| Numero Probeta | Edad Cilindro (días) | Tiempo Secado en Horno | Peso Cilindro Seco (gr) | Tiempo Inmersión en Agua | Peso Cilindro post Inmersión | Diferencia de Peso Cilindro (gr) | % Absorción |
| 1 | 28 | 24 hrs | 1823 | 24 hrs | 2007,5 g | 184,5 | 10,12 |
| 2 | 28 | 24 hrs | 1826 | 24 hrs | 1998,5 g | 172,5 | 9,45 |
| 3 | 28 | 24 hrs | 1816,5 | 24 hrs | 1999,5 g | 183 | 10,07 |
| 4 | 28 | 24 hrs | 1853,5 | 24 hrs | 2015 g | 161,5 | 8,71 |
| 5 | 28 | 24 hrs | 1843,5 | 24 hrs | 2013,5 g | 170 | 9,22 |
| 6 | 28 | 24 hrs | 1846 | 24 hrs | 2015 g | 169 | 9,15 |
| 7 | 28 | 24 hrs | 1841 | 24 hrs | 2009 g | 168 | 9,13 |
| 8 | 28 | 24 hrs | 1849 | 24 hrs | 2006,5 g | 157,5 | 8,52 |
| 9 | 28 | 24 hrs | 1835,5 | 24 hrs | 1999 g | 163,5 | 8,91 |
| PORCENTAJE PROMEDIO | | | | | | | 9,25 |

Tabla A-6: Resultados ensayo de absorción del tratamiento T1:8:3.

B.Anexo: APU

Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.

| Tratamiento | Descripción | | | Unidad | Cantidad |
|---|---|--------------|-------------------------|-------------|------------------|
| 1 | Costo de elaboración de unidad de mampuesto | | | UND | 1 |
| 1. Equipo | | | | | |
| Descripción | Marca | Tipo | Tarifa/Hora | Rendimiento | Vr. Unitario |
| Maquina compresión de adobe | ECO JAMYS | 250 | \$ 8.750 | 0,01 | \$ 87,50 |
| | | | | | |
| SUBTOTAL | | | | | \$ 87,50 |
| 2. Materiales | | | | | |
| Descripción | Unidad | Cantidad | Precio Unit. | Vr Unitario | |
| ripio | m3 | 0,0004 | \$ 50.000,00 | \$ 20,85 | |
| sub suelo | m3 | 0,0013 | \$ 41.666,67 | \$ 52,11 | |
| cemento | kg | 0,66 | \$ 620,00 | \$ 407,09 | |
| | | | | | |
| SUBTOTAL | | | | | \$ 480,05 |
| 3. Mano de Obra para armar y desarmar estructura | | | | | |
| Trabajador | Hora trabajador | Prestaciones | Jornal Total Trabajador | Rendimiento | Vr. Unitario |
| cuadrilla (oficial+ayudante) | \$ 10.633,00 | 65% | \$ 17.544,45 | 0,020 | \$ 350,89 |
| | | | | | |
| SUBTOTAL | | | | | \$ 350,89 |
| TOTAL COSTO DIRECTO | | | | | \$ 918,44 |

Tabla B-1: APU tratamiento 1:6:2.

| Tratamiento | Descripción | | | Unidad | Cantidad |
|---|---|--------------|-------------------------|-------------|--------------------|
| 2 | Costo de elaboración de unidad de mampuesto | | | UND | 1,00 |
| 1. Equipo | | | | | |
| Descripción | Marca | Tipo | Tarifa/Hora | Rendimiento | Vr. Unitario |
| Maquina compresión de adobe | ECO JAMYS | 250 | \$ 8.750 | 0,01 | \$ 87,50 |
| | | | | | |
| SUBTOTAL | | | | | \$ 87,50 |
| 2. Materiales | | | | | |
| Descripción | Unidad | Cantidad | Precio Unit. | Vr Unitario | |
| ripio | m3 | 0,0003 | \$ 50.000,00 | \$ 17,20 | |
| sub suelo | m3 | 0,0013 | \$ 41.666,67 | \$ 52,11 | |
| cemento | kg | 0,8865 | \$ 620,00 | \$ 549,62 | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| SUBTOTAL | | | | | \$ 618,94 |
| 3. Mano de Obra para armar y desarmar estructura | | | | | |
| Trabajador | Hora trabajador | Prestaciones | Jornal Total Trabajador | Rendimiento | Vr. Unitario |
| cuadrilla (oficial+ayudante) | \$ 10.633,00 | 65% | \$ 17.544,45 | 0,020 | \$ 350,89 |
| | | | | | |
| SUBTOTAL | | | | | \$ 350,89 |
| TOTAL COSTO DIRECTO | | | | | \$ 1.057,33 |

Tabla B-2: APU tratamiento T1:4:1.

Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.

| Tratamiento | Descripción | | Unidad | Cantidad | |
|---|---|--------------|-------------------------|-------------|------------------|
| 3 | Costo de elaboración de unidad de mampuesto | | UND | 1 | |
| 1. Equipo | | | | | |
| Descripción | Marca | Tipo | Tarifa/Hora | Rendimiento | Vr. Unitario |
| Maquina compresión de adobe | ECO JAMYS | 250 | \$ 8.750 | 0,01 | \$ 87,50 |
| | | | | | |
| SUBTOTAL | | | | | \$ 87,50 |
| 2. Materiales | | | | | |
| Descripción | Unidad | Cantidad | Precio Unit. | Vr Unitario | |
| ripio | m3 | 0,0005 | \$ 50.000,00 | \$ 23,77 | |
| sub suelo | m3 | 0,0013 | \$ 41.666,67 | \$ 52,11 | |
| cemento | kg | 0,47 | \$ 620,00 | \$ 293,13 | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| SUBTOTAL | | | | | \$ 369,01 |
| 3. Mano de Obra para armar y desarmar estructura | | | | | |
| Trabajador | Hora trabajador | Prestaciones | Jornal Total Trabajador | Rendimiento | Vr. Unitario |
| cuadrilla (oficial+ayudante) | \$ 10.633,00 | 65% | \$ 17.544,45 | 0,020 | \$ 350,89 |
| | | | | | |
| SUBTOTAL | | | | | \$ 350,89 |
| TOTAL, COSTO DIRECTO | | | | | \$ 807,40 |

Tabla B-3: APU tratamiento T1:8:3.

Bibliografía

Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). (2008). Norma UNE 41410. *Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo.*

Berlingieri, R. (2017). *Caracterización de bloques suelo cemento como mampuesto.* [Practica supervisada, Universidad Nacional de Córdoba].

Cid Falseto, J. J. (2012). *Durabilidad de los bloques de tierra comprimida. Evaluación y recomendaciones para la normalización de los ensayos de erosión y absorción.* [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid].

Das, B. M. (1999). *Fundamentos de ingeniería geotécnica.* Cengage Learning Latin Am.

Duque Escobar, G y Escobar Potes, C. (2016). *Geomecánica.* Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales.

García Toro, J. R. (2019). *Estudio de la técnica de suelo-cemento para la estabilización de vías terciarias en Colombia que posean un alto contenido de caolín.* [Proyecto de grado, Universidad Católica de Colombia].

García Verduch, A. (1975). Método de ensayo para la determinación de la capacidad de adsorción de agua de los ladrillos (H2T 2/75c). *Mater. Construcc.* 25(159), 97–100. <https://doi.org/10.3989/mc.1975.v25.i159.1264>

Gomá F. (1979). *El cemento Portland y otros aglomerantes.* Técnicos Asociados SA, Barcelona.

Holgado Cornejo, M. I. y Prado Salinas, R. (2015). *Diseño, elaboración y control de ladrillos suelo-cemento para albañilería no estructural como alternativa para la construcción.* [Tesis de Pregrado, Universidad Católica de Santa María, Arequipa-Perú].

ICONTEC (1979). Norma Técnica Colombiana NTC 1522. *Bloques de suelo cemento para muros y divisiones. Ensayo para determinar la granulometría por tamizado.* Bogotá D.C.

ICONTEC (2000). Norma Técnica Colombiana NTC 1504. *Clasificación de suelos para propósitos de ingeniería (Sistema de clasificación unificada de suelos).* Bogotá D.C.

Evaluación físico-mecánico de suelo-cemento como material alternativo en la producción de unidades de ladrillo ecológico fabricado de manera artesanal en la vereda San Antonio de Consacá, Nariño.

ICONTEC (2004). Norma Técnica Colombiana NTC 5324. *Bloques de suelo cemento para muros y divisiones. Definiciones. Especificaciones. Métodos de ensayo. Condiciones de entrega.* Bogotá D.C.

ICONTEC (2005). Norma Técnica Colombiana NTC 4017. *Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla.* Bogotá D.C.

ICONTEC (2018). Norma Técnica Colombiana NTC 6299. *Calidad del suelo. Determinación de la textura por Bouyoucos.* Bogotá D.C.

ICONTEC (2020). Norma Técnica Colombiana NTC 31. *Cementos. Terminología relacionada con el cemento hidráulico y otros cementos inorgánicos.* Bogotá D.C.

Instituto Nacional de Vías (2012). INVIAS I.N.V-E – 125 – 13. *Determinación del límite líquido de los suelos.*

Instituto Nacional de Vías (2012). INVIAS I.N.V-E – 126 – 13. *Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos.*

Instituto Nacional de Vías (2012). INVIAS I.N.V-E – 107 – 13. *Preparación de muestras de suelo por vía húmeda para análisis granulométrico y determinación de las constantes físicas.*

Instituto Nacional de Vías (2012). INVIAS I.N.V-E – 106 – 13. *Preparación de muestras de suelo por vía seca para análisis granulométrico y determinación de las constantes físicas.*

Instituto Nacional de Vías (2012). INVIAS I.N.V-E – 142 – 13. *Relaciones humedad – peso unitario en seco en los suelos (ensayo modificado de compactación).*

Instituto Nacional de Vías (2012). INVIAS I.N.V-E – 410 – 13. *Relaciones humedad – peso unitario en seco en los suelos (ensayo modificado de compactación).*

Instituto Nacional de Vías (2012). INVIAS I.N.V-E – 614 – 13. *Resistencia a la compresión de cilindros moldeados de suelo-cemento.*

Matallana, R. R. (2019). *El concreto fundamentos y nuevas tecnologías.* Corona.

Medina Ruiz, A. F. y Yancy Avendaño, M. A. (2019). *Comparación de las propiedades mecánicas de bloques de suelo-cemento modificados con polvo de cerámica.* [Proyecto de Grado, Universidad Pontificia Bolivariana].

Moreno-Ramon, H., Ibañez, S., Blaquer, J. (2010). *La textura del suelo.* Universidad Politécnica de Valencia.

Páez, J. (2020). *Tipos de contaminantes atmosféricos asociados a la fabricación de ladrillos artesanales en Colombia*. [Monografía, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)]

Pinto Lozano, C. A., Monroy Bustos, D. A., y Días Goyeneche, S. J. (2016). *Elaboración de bloques estructurales con suelo-cemento para la ciudad de Villavicencio (Meta)*. [Proyecto de Grado, Universidad Cooperativa de Colombia].

Toirac Corral, J. (2008). *El suelo-cemento como material de construcción*. Instituto Tecnológico de Santo Domingo, República Dominicana.