

**VALORACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DE BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA
MODIFICADOS CON CENIZA Y FIBRA DE VIDRIO**

CARLOS ANDRÉS RUEDA VELASCO

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2015

**VALORACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DE BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA
MODIFICADOS CON CENIZA Y FIBRA DE VIDRIO**

CARLOS ANDRÉS RUEDA VELASCO

Trabajo de grado como requisito para optar al título de ingeniero civil

Director(a):

MARÍA FERNANDA SERRANO GUZMÁN

PhD. Ingeniería civil

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2015

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga Julio de 2015

DEDICATORIA

A mis padres y el infinito amor que me han entregado siempre.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Pontificia Bolivariana, que me brindó la oportunidad de formarme en esta institución.

A la Dra. María Fernanda Serrano, directora de trabajo de grado.

A todo el personal de laboratorios de ingeniería civil.

A todos los profesores que hicieron parte de mi formación a lo largo de toda la carrera universitaria.

Al director de facultad Msc. Aldemar Remolina Millán, gran maestro y principal guía en este camino de formación profesional.

A Juan Sebastián Rueda, Gladys Ramírez y Daniela Calderón. Por el apoyo emocional.

A mis padres, por el apoyo de todas las formas imaginables en cada una de las metas que me he propuesto y he cumplido en mi vida.

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	15
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	16
1.2. OBJETIVOS	17
1.2.1 Objetivo general	17
1.2.2 Objetivos específicos	17
1.3 ALCANCE DEL ESTUDIO	17
1.4 JUSTIFICACIÓN	18
1.5 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO	20
2. MARCO TEÓRICO	21
2.1. SUELO	21
2.2 SUELO COMO MATERIAL CONSTRUCTIVO	22
2.3 BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA (BTC)	22
2.4 NORMATIVA COLOMBIANA	23
2.5 CINVA – RAM	23
2.6 CENIZA	24
2.6.1 Clasificación de las cenizas	24
2.7 FIBRA DE VIDRIO	25
2.7.1 Clasificación de las fibras de vidrio	26
2.8 CEMENTO	26
3. ANTECEDENTES	28
4. METODOLOGÍA	32
4.1. PREPARACIÓN DE LOS MATERIALES	32
4.2 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO	32
4.2.1 Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos INV E - 123 – 13	32
4.2.2 Determinación del Límite líquido de los suelos. INV E- 125 – 13	38
4.2.3 Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos. INV E 126 – 13	40

4.2.4 pH de los suelos. Guía de prácticas de laboratorio de suelos Universidad Pontificia Bolivariana	41
4.2.5 Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y del llenante mineral, empleando un picnómetro con agua. INV E 128 - 13	42
4.3 CARACTERIZACIÓN DE LA CENIZA	44
4.3.1 Granulometría de los agregados finos y grueso (INV E - 213)	44
4.3.2 Gravedad específica y absorción de los agregados finos (INV E 222)	44
4.3.3. Determinación del contenido orgánico en suelos mediante pérdida por ignición (INVE 121 07)	45
4.4 CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA	45
4.5 RELACIONES DE HUMEDAD – PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS (ENSAYO MODIFICADO DE COMPACTACIÓN). INV E 142 – 13. 6 DISTINTOS TIPOS DE MEZCLA (MEZCLAS I-VI)	46
4.6 DOSIFICACIÓN INICIAL DE 6 MEZCLAS Y FABRICACIÓN DE LOS BLOQUES.	48
4.7 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SECA. NTC 5324 “BLOQUES DE SUELO CEMENTO PARA MUROS Y DIVISIONES.”	48
4.7.1 Resistencia a la abrasión. Método de ensayo para determinar la resistencia a la abrasión de materiales para pisos y pavimentos, mediante arena y disco metálico ancho. (3 especímenes cada mezcla)	51
4.7.2 Coeficiente de absorción de agua por capilaridad. NTC 5324 (3 especímenes cada mezcla)	52
5. METODOLOGÍA FABRICACIÓN DE BLOQUES	54
5.1. MATERIAL TIERRA	54
5.2 DOSIFICACIÓN	56
5.3 ADICIÓN DEL AGUA	59
6. ANÁLISIS DE LA HUMEDAD DURANTE LA PRODUCCIÓN DE BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDOS	63
7. RESULTADOS	67
7.1 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO	67
7.1.1. Granulometría. INV E - 123 – 13	67
7.1.2. Límites de Atterberg	69
7.1.3. Relaciones de humedad – peso unitario seco en los suelos (ensayo normal de compactación) INV E- 141 -13	70
7.1.4. Gravedad específica	71

7.1.5 pH del suelo	71
7.2 CARACTERIZACIÓN DE LA CENIZA	72
7.2.1 Granulometría de la ceniza	72
7.2.2. Peso específico y absorción	73
7.3 CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DE VIDRIO.	73
7.4 RELACIONES DE HUMEDAD – PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS. INV E 142 – 13.	74
7.5 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	75
7.6 RESISTENCIA A LA ABRASIÓN NTC 5147.	76
7.7 CAPILARIDAD	77
8. ANÁLISIS DE RESULTADOS	78
8.1. RESPECTO A LA CARACTERIZACIÓN DEL SUELO Y SU UTILIZACIÓN EN BLOQUES DE TIERRA.	78
8.1.1. Clasificación SUCS	78
8.1.2. Granulometría	79
8.1.3. Plasticidad	80
8.1.4 Gravedad específica y pH	81
8.1.5. Clasificación según naturaleza de los materiales NTC 5324	82
8.2 CON RESPECTO A LA DOSIFICACIÓN.	82
8.3 COMPARACIÓN MECÁNICA DE LOS MAMPUESTOS	83
8.4. ABRASIÓN	85
8.5 CAPILARIDAD	86
8.6 DESCRIBIR LA COMPOSICIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LA FIBRA DE VIDRIO Y LA CENIZA	90
8.6.1 Caracterización de la ceniza	90
8.6.2 Caracterización de la fibra de vidrio	91
9. CONCLUSIONES	93
10. RECOMENDACIONES	95
BIBLIOGRAFÍA	96
ANEXOS	98

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Lavado en el tamiz N°10	33
Figura 2. Aparato agitador A	34
Figura 3. Hidrómetro 152 H y suspensión de suelo.	35
Figura 4. Hexametáfosfato de sodio en polvo y probeta con agua	36
Figura 5. Lectura para determinar Cm	37
Figura 6. Gráfico para la corrección por temperatura	38
Figura 7. Ranura formada y equipo utilizado.	39
Figura 8. Porción de suelo después de cerrada la ranura	39
Figura 9. Formación de rollos para reducir la humedad	40
Figura 10. Medición del pH	41
Figura 11. Extracción de las partículas de aire.	43
Figura 12. Suspensión	43
Figura 13. Submuestras en el proceso de curado	47
Figura 14. Molde de 4" con suelo enrasado	48
Figura 15. Recorte de los bloques	49
Figura 16. Esparcimiento del mortero de pega	49
Figura 17. Pañete de pasta de cemento	50
Figura 18. Prueba de compresión a espécimen	51
Figura 19. Ejecución del ensayo de desgaste	52
Figura 20. Almacenamiento del material	54
Figura 21. Angeo	55
Figura 22. a) Almacenamiento del material cernido b) almacenamiento en sacos	55
Figura 23 Tamizado de la ceniza	57
Figura 24. Adición de ceniza	57
Figura 25. Adición de cemento	58
Figura 26. Fibra añadida al suelo	58
Figura 27. Formaciones de grumos en el suelo	59
Figura 28. Llenado con suelo y fibra	60
Figura 29. Enrase de la máquina	61
Figura 30. Mampuesto de suelo cemento	61
Figura 31. Mampuesto de suelo-fibra	62
Figura 32. Humedad de fabricación para cada preparación con solo tierra.	64
Figura 33. Humedad de fabricación para cada preparación mezcla	65
Figura 34. Gráfico de porcentaje que pasa vs diámetro de partícula	68
Figura 35. Curva de fluidez	69
Figura 36. Curva de compactación suelo virgen	70

Figura 37. Curva granulométrica de la ceniza	72
Figura 38. Fibra de vidrio picada	73
Figura 39. Falla típica	75
Figura 40. Huella de ensayo de abrasión	76
Figura 41. Carta de plasticidad	79
Figura 42. Curva granulométrica del suelo y rangos recomendados	80
Figura 43. Rango de plasticidad recomendado y plasticidad del suelo virgen	81
Figura 44 Clasificación del suelo según naturaleza, NTC 5324	82
Figura 45. Huella producida por el ensayo de desgaste	86
Figura 46. Fin del ensayo de absorción bloque de suelo + cemento 5% (10 min)	88
Figura 47. Fin del ensayo de absorción, bloque de suelo + ceniza 5% (10 min)	89
Figura 48. Destrucción del bloque 0,5% de fibra	90

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Datos estadísticos de la humedad de fabricación	66
Tabla 2. Diámetro de partícula y porcentaje que pasa	67
Tabla 3. Valores de los límites de Atterberg	70
Tabla 4. Valores humedad óptima y densidad seca máxima	71
Tabla 5. Valor de Gravedad específica	71
Tabla 6. Valores de pH potencial de Hidrógeno	71
Tabla 7. Valores gravedad específica y absorción	73
Tabla 8. Valores promedio de humedad óptima y peso unitario máximo	74
Tabla 9. Valor de la resistencia a compresión en MPa de cada espécimen	75
Tabla 10. Longitud de huella en cm de cada espécimen	76
Tabla 11. Datos obtenidos ensayo de absorción por capilaridad	77
Tabla 12. Dosificación de las mezclas	83
Tabla 13. Resistencia a la compresión mínima	83
Tabla 14. Promedio de resistencia al esfuerzo axial de compresión	84
Tabla 15. Resultados promedio prueba de desgaste	85
Tabla 16. Coeficiente de absorción exigidos por la NTC 5324	86
Tabla 17. Valores del Coeficiente de absorción	87
Tabla 18. Destrucción promedio	89
Tabla 19. Valores de la caracterización de la ceniza	91
Tabla 20. Resultados ficha técnica	91

LISTA DE ANEXOS

Anexo A Ensayo de granulometría del suelo.	98
Anexo B Ensayo de límite líquido y límite plástico	100
Anexo C Ensayo de relación humedad-peso unitario seco.....	101
Anexo D. Ensayo de gravedad específica	102
Anexo E. Ficha Técnica fibra de vidrio.....	103
Anexo F. Relación humedad- Pesos específico seco del Suelo + Cemento 5%..	104
Anexo G Relación humedad- Pesos específico seco del suelo + ceniza 5%.....	105
Anexo H Relación humedad – Peso específico seco suelo + ceniza 10%.....	106
Anexo I Relación humedad – Peso específico seco suelo + fibra de vidrio 0,5%	107
Anexo J Relación de humedad – Peso específico seco suelo + fibra de vidrio 1%	108
.....	108
Anexo K. Ensayo de resistencia a la compresión seca.....	109

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: VALORACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DE BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA MODIFICADOS CON CENIZA Y FIBRA DE VIDRIO

AUTOR(ES): Carlos Andrés Rueda Velasco

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): María Fernanda Serrano Guzmán

RESUMEN

En el presente proyecto de grado se realizó una evaluación del comportamiento físico - mecánico que presentan los bloques de tierra comprimida estabilizados con ceniza, fibra de vidrio y cemento. Mediante un análisis detallado, que parte de la caracterización de los materiales que componen los bloques, continúa con la forma en que interaccionan durante el proceso de preparación de la mezcla, y finaliza con los ensayos de resistencia a la compresión, absorción y desgaste. Esto con el objetivo de brindar soluciones a la industria de la construcción, fundamentadas en los principios de baja afectación ambiental, aporte social y cultural, y especialmente la economía. Los bloques de tierra fueron fabricados en las instalaciones de la Universidad Pontificia Bolivariana con la utilización de la prensa manual CINVA-RAM y ensayados en los laboratorios de la facultad de ingeniería civil según lo especificado en las normas del instituto nacional de vías y las normas técnicas colombianas NTC. Comparado con el comportamiento que presentan los bloques sin estabilizar, se observó una gran mejoría para la estabilización con cemento en todos los parámetros evaluados, estos bloques ya son comercializados con el nombre de bloques de suelo-cemento, y poco a poco toman fuerza en el sector de la construcción. Para los bloques estabilizados con ceniza y fibra de vidrio en general se observó una desmejora en su comportamiento mecánico, cohesión y fabricación. Sin embargo se rescata una gran mejoría en la resistencia a la absorción de agua por capilaridad por parte de los bloques estabilizados con ceniza, y una leve mejoría en la resistencia al desgaste por abrasión en los bloques estabilizados con fibra de vidrio.

PALABRAS CLAVES:

bloques de tierra comprimida, mampostería, fibra de vidrio, ceniza, suelo

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: PHYSICAL-MECHANICAL ASSESSMENT OF COMPRESSED EARTH BLOCKS MODIFIED WITH ASH AND FIBERGLASS.

AUTHOR(S): Carlos Andrés Rueda Velasco

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: María Fernanda Serrano Guzmán

ABSTRACT

For this graduation project, it has been performed an assessment of the physical-mechanical behavior of compressed earth blocks stabilized with ash, fiberglass and cement. Through a detailed analysis that starts with the characterization of the materials that compound the blocks, continues with how they interact during the process of preparing the mixture, and ends with testing compressive strength, absorption and wear. This aims to provide solutions to the construction industry, based on the principles of low environmental impact, social and cultural contribution, and economy. The compressed Earth blocks were manufactured in the facilities of the Pontificia Bolivariana University with the usage of the cinva-ram manual press and tested in the laboratories of the Faculty of Civil Engineering, as specified in the national roads institute (Colombia) and national standards institute (Colombia). Compared with the behavior of the non-stabilized blocks, it is shown a great enhancement for the stabilization with cement in all the assessed parameters, these blocks are already marketed under the name of soil-cement blocks. And are gradually taking power in the construction sector. For the blocks stabilized with ash and fiberglass, it is observed a general decrease on its mechanical behavior, cohesion and manufacturing. Nevertheless it is acknowledged a great enhancement on the water absorption's endurance in the blocks stabilized with ash, and an improvement on the wear resistance in the blocks stabilized with fiberglass.

KEYWORDS:

Compressed earth blocks, masonry, fiberglass, ash, soil.

1. INTRODUCCIÓN

La vivienda es un derecho fundamental del ser humano, el cual siempre ha buscado resguardarse de las condiciones adversas de la intemperie. Desde el momento en el que se vuelve sedentario y establece en un sitio fijo como vivienda permanente, ha emprendido una búsqueda constante de soluciones para mejorar las condiciones en las que vive.

En la antigüedad la construcción de vivienda se realizaba a partir de los materiales que se encontraban disponibles de manera directa en la naturaleza, tales como la piedra, la madera y la tierra. Desarrollando técnicas constructivas artesanales que han sido fundamentales en la evolución de los asentamientos humanos.

En este grupo de técnicas constructivas se puede resaltar entre los más importantes, los muros de tapia pisada, muros en bahareque, cubiertas en madera y tejas de barro, adobes, y una variación del adobe, llamada bloque de tierra comprimida (BTC). Estas técnicas son grandes representantes de la sustentabilidad, producto de sus ventajas en cuanto a sencillez, mínimo consumo energético, baja demanda en transporte de materiales, bajo costo, excelentes propiedades térmicas y acústicas, entre otras.

Para este proyecto se toma la técnica de Bloques de Tierra Comprimida, adicionándole ceniza y fibra de vidrio al material suelo, con el objetivo de mejorar su comportamiento y por ende las propiedades físico-mecánicas de estos mampuestos, buscando el posicionamiento de un producto competitivo en precios, en calidad mecánica y durabilidad.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

A medida que fue avanzando la tecnología y el concepto de ciudad, se dio paso a una etapa que es conocida como la revolución industrial, en donde gracias al desarrollo de máquinas, se tecnificaron procesos de producción de materiales para la construcción. Esta nueva época avanzó de forma estrepitosa, requiriendo gran cantidad de energía y material para la fabricación e instalación de vivienda, consumiendo los recursos naturales, y emitiendo gases perjudiciales para la atmósfera.

Esta situación se evidencia en las fábricas de ladrillos cerámicos convencionales, en las que para producir este tipo de mampuestos se requiere un elevado gasto energético, cuya fuente principal son los combustibles fósiles. Esta energía es utilizada en el proceso de cocción un proceso vital en la producción de las unidades de mampostería. Así mismo debido a la reacción de combustión, se libera una alta cantidad de CO₂ a la atmósfera, provocando así perjuicios para el ambiente, como la polución atmosférica y el calentamiento global. A pesar de las desventajas ambientales que posee este proceso, tiene grandes ventajas referentes a las propiedades mecánicas ofrecidas por el ladrillo cerámico, logrando posicionarse en la competitiva industria de la construcción.

La construcción mueve una industria de gran influencia en la economía de un país, es el principal motor en el crecimiento del mismo. Por lo que no se puede detener bajo ninguna circunstancia y es delicado alterar su funcionamiento. Para que Colombia pueda lograr no solo crecimiento, sino un verdadero desarrollo sostenible. Se debe contemplar la implementación de otras alternativas en las que se reduzca el consumo de recursos naturales no renovables, permitan el reciclado

de los materiales usados, y se fundamente en sistemas de ahorro agua y eficiencia energética.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general Evaluar el comportamiento físico-mecánico de mampuestos a base de suelo, estabilizados con ceniza y fibra de vidrio.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar las propiedades del suelo utilizando los límites de Atterberg, la distribución del tamaño de las partículas, la gravedad específica y pH.
- Describir la composición física y química de la fibra de vidrio y la ceniza.
- Plantear una dosificación para las mezclas de suelo-fibra de vidrio y suelo-ceniza.
- Comparar mecánicamente la calidad de los mampuestos preparados con las diferentes mezclas.

1.3 ALCANCE DEL ESTUDIO

Para el desarrollo de este trabajo de grado se emplearon suelo, ceniza y fibra de vidrio. El suelo fue caracterizado según los límites de Atterberg, la distribución de los tamaños de partícula, su gravedad específica y potencial de Hidrogeno pH, en pruebas realizadas en la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga. Con respecto a la ceniza proveniente del proceso de desorción térmica de aguas del sector de producción de hidrocarburo, se emplearon los resultados según ensayos realizados en el marco del convenio AC 02 5211508.

En cuanto a la fibra de vidrio, se empleó la información de la ficha técnica del producto adquirido, entregada por el proveedor en el momento de la compra.

Durante el desarrollo del estudio se mantuvo constante el procedimiento de producción, almacenamiento, transporte del mampuesto preparado, la energía de compactación utilizada, y la cantidad de suelo suelto empleado.

Según la normatividad establecida por el ICONTEC para este tipo de material se evalúa la resistencia al esfuerzo axial de compresión en 48 especímenes a base de las siguientes mezclas.

- Suelo sin modificar. Muestra patrón
- Suelo + 5% cemento. Muestra comercial.
- Suelo + 5% de ceniza.
- Suelo + 10% de ceniza.
- Suelo + 0,5% de fibra de vidrio.
- suelo + 1 % de fibra de vidrio.

Finalmente se realizan ensayos de resistencia a la abrasión y resistencia a la absorción por capilaridad a las mezclas correspondientes a la muestra patrón, la muestra comercial y a una de cada estabilizante. Estos ensayos adicionales están contemplados en la NTC 5324 para una aceptación tipo 2, es decir la aceptación más exigente para este tipo de mampostería, que se le realiza en casos en donde los bloques se utilizan en fachadas y se encuentran expuestos a la intemperie.

1.4 JUSTIFICACIÓN

En el momento en el que el ser humano comprende que si continúa con el comportamiento capitalista y consumista que ha tenido durante las últimas

décadas va a llegar finalmente a su extinción, se genera un clic en la conciencia de la sociedad y se dispara una alarma en la comunidad científica. La cual se ha volcado completamente a un tema que siempre tuvo que ser prioridad y es el desarrollo sostenible.

Acordes con esta tendencia verde que ha tomado tanta fuerza recientemente se hace necesaria la investigación e implementación de otras alternativas para materiales de construcción que tengan un impacto ambiental más leve. Como producto de esta situación surgen los bloques de tierra comprimidos los cuales representan una de las técnicas constructivas con mayores atributos ambientales asociados a la mínima utilización de energía para su producción, su capacidad para ser reciclada en un 100%, capacidad de no generar desperdicios ni emisiones tóxicas, disponibilidad del recurso, poseer un alto valor cultural, y que proceden de un material tan noble como lo es la tierra.

A pesar de las grandes bondades ambientales que posee la tierra, esta técnica constructiva tiene ciertas debilidades mecánicas que se convierten en retos para la ingeniería y una responsabilidad para este proyecto, que tiene como objetivo aportarle soluciones a la técnica y a los materiales que se utilizan para su producción. Para llegar a esta solución se debe tener en cuenta que las fibras y ciertos estabilizantes poseen la capacidad de modificar las propiedades de los materiales, en especial la de los elementos utilizados en la construcción, brindando la oportunidad de combinarlos e investigar las variaciones en los resultados.

Para este proyecto de grado se quiere contribuir de gran manera en la consecución de una ciudad verdaderamente sostenible, mediante la obtención de una técnica alternativa de mampostería que principalmente satisfaga las exigencias técnicas actuales del sector constructor, que tenga un alto valor agregado ambiental en donde la explotación de los recursos naturales sea

mínima, proporcione soluciones de vivienda dignificantes para el ser humano y se convierta en el eje fundamental del desarrollo permitiendo vivir en perfecta armonía con la madre naturaleza.

1.5 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO

El documento está integrado por siete capítulos. En el primer capítulo se introduce al lector y se le proporciona una idea general del proyecto de grado por medio de la introducción, objetivos, descripción del problema, alcance, justificación y la relevancia del tema. En el segundo capítulo se exponen los conceptos y definiciones que tienen más relación con este tema para estar contextualizado y familiarizado con los términos tratados a lo largo del documento. En el tercer capítulo investigaciones realizadas referentes al tema. En el cuarto capítulo se describe la metodología que se utilizó para lograr los objetivos, se detallan los ensayos realizados y los equipos necesarios para llevarlos a cabo. En el quinto capítulo la descripción de la metodología utilizada para fabricar los bloques. En el sexto capítulo está consignada toda la información acerca de la influencia que tiene la humedad del suelo, en el proceso de fabricación. En el Séptimo capítulo se muestran los resultados obtenidos en la investigación, tanto en la caracterización de los materiales, y la resistencia que presentan los mampuestos a diferentes esfuerzos y condiciones del ambiente. En el octavo capítulo se realiza un análisis de resultados, donde se da respuesta a cada uno de los objetivos planteados, mediante la caracterización de los materiales, la comparación de la resistencia y las características de las distintas mezclas, y los bloques producidos con él. En el noveno capítulo se concluye acerca de la experiencia obtenida en el proceso de investigación y en el capítulo decimo se dan recomendaciones para futuros proyectos relacionados. Finalmente están las referencias bibliográficas y los anexos.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. SUELO

Es la capa más superficial de la corteza terrestre, y se compone de cuatro grupos de partículas: minerales, agua y aire. Juárez Badillo define los minerales constitutivos de los suelos gruesos como: ...*“Un mineral es una sustancia inorgánica y natural, que tiene un estructura interna determinada por un cierto arreglo específico de sus átomos e iones.”...¹*

Estos minerales son arrastrados principalmente por la acción del aire y el agua, los cuales desintegran mecánicamente y descomponen químicamente las rocas. En el caso de la desintegración mecánica se forman arenas y limos, principalmente en los cambios periódicos de temperatura, congelación del agua en las grietas de las rocas, efectos de organismos, plantas, etc. En el caso de la descomposición química algunos mecanismos de ataque son la oxidación, la hidratación y la carbonatación que son los que finalmente forman las arcillas.

El agua contenida juega un papel muy importante ya que modifica considerablemente el comportamiento mecánico del suelo dependiendo de la cantidad presente en él, por esta razón para propósitos de ingeniería se debe considerar como parte integral del mismo. Finalmente el aire se encuentra disperso en los poros separados por los sólidos.

El suelo cuenta con una propiedad llamada perfil, la cual consiste en una sucesión de estratos diferenciados, con organización definida y propiedades que varían

¹ JUAREZ BADILLO, Eulalio. RICO RODRÍGUEZ, Alfonso. Mecánica de suelos, tomo 1 fundamentos de la mecánica de suelos, tercera edición, grupo editorial limusa, 1992

vectorialmente. En la dirección vertical sus propiedades cambian más rápido que en la dirección horizontal, debido a la forma de deposición o sedimentación característica de los suelos.

2.2 SUELO COMO MATERIAL CONSTRUCTIVO

El suelo como material de construcción es comúnmente conocido como tierra, este nombre se ha implementado en todas las aplicaciones arquitectónicas y constructivas. Este material ha estado de la mano del hombre desde sus primeras expresiones de vivienda, ubicadas en Mesopotamia en el Siglo IX a.C. fue difundándose su aplicación por Egipto, lejano oriente hasta llegar a Europa. Así mismo fueron desarrollándose técnicas de construcción con tierra por los indígenas nativos en américa y áfrica teniendo gran acogida gracias a su disponibilidad y facilidad de acceso. Con el pasar del tiempo estas técnicas trascendieron y se transmitieron oralmente entre generaciones hasta tal punto que, según estadísticas de las naciones unidas, cerca de un tercio de la población mundial vive en construcciones con tierra².

2.3 BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA (BTC)

Los bloques de tierra comprimida son unidades de mampostería, utilizados para la construcción de muros divisorios y estructurales. Se obtienen mediante un proceso mecánico, en el que el suelo o comúnmente llamado “la tierra” es comprimido mediante prensa manual llamada CINVA-RAM o mediante unos modelos de máquinas automáticas de alto rendimiento como la BanRAM, TekRam, TestaRam, entre otras. Estos mampuestos tienen la característica principal de ser “crudos”, es

² HIGUERA REYES, Jaime. Arquitectura de tierra, sustentabilidad y cultura, Diagramación y diseño editorial ltda, primera edición, 2007

decir que no es necesario someterlos a un proceso de cocción, ahorrando una gran cantidad de energía utilizada en su fabricación.

Las dimensiones típicas de estos bloques son Largo = 29.5 cm, Ancho = 15 cm, Alto = 10 cm.³

2.4 NORMATIVA COLOMBIANA

En el 2004 el Instituto Colombiano de Productores de Cemento lideró el único trabajo para normalizar una variación de estas técnicas constructivas en tierra. Elaborando la “Norma Técnica Colombiana 5324 Bloques de Suelo-Cemento (BSC) para muros y divisiones. Definiciones, especificaciones, métodos de ensayo y condiciones de entrega.” Norma correspondiente a la “AFNOR XP 13-901:2001 Blocs de terre comprimée pour murs et cloison. Définitions, spécifications, méthodes d’essai, conditions de réception. En esta norma se definen las características generales que deben cumplir los bloques y se describen los ensayos para determinarlas.⁴

2.5 CINVA – RAM

Es una máquina diseñada para fabricar los bloques de tierra comprimida, se fundamenta en principios de física mecánica aplicando palancas de primer y segundo grado, complementadas por un pistón de empuje vertical compactan la

³ HIGUERA REYES op. cit.

⁴ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. NTC 5324 Norma colombiana para bloques de suelo cemento para muros y divisiones. Definiciones. Especificaciones. Métodos de ensayo. Condiciones de entrega. 2004

tierra en un molde con dimensiones Largo = 29.5 cm, Ancho = 15 cm formando los bloques con una altura cercana a los 10 cm. Esta máquina es muy versátil, fácil de transportar, fabricada en acero con una más aproximada a los 70 Kg.

Esta máquina fue desarrollada en 1960 por el ingeniero colombiano Raúl Ramírez (RAM) y el Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento de Colombia (CINVA) bajo el auspicio de la OEA en un proyecto para la erradicación de la pobreza. Este diseño ha tenido una gran acogida a nivel mundial y ha sido el punto de partida de unos modelos de máquinas automáticas de alto rendimiento como la BanRAM, TekRam, TestaRam, entre otras⁵.

2.6 CENIZA

La ceniza es el residuo sólido que queda de algún material que hizo combustión, se considera un material fino-articulado que dependiendo de la fuente extraída tiene partículas esféricas y vidriosas o angulares. Estas partículas generalmente son de un tamaño menor a los 200 μm , poseen una alta resistencia mecánica, baja conductividad térmica, punto de fusión superior a los 10.000°C y en la mayoría de los casos inertes⁶.

2.6.1 Clasificación de las cenizas Según la NTC 3494 Cenizas volantes y puzolanas naturales, calcinadas o crudas, utilizadas como aditivos minerales en el concreto de cemento portland las cenizas se clasifican como:

Clase C, Son producidas a partir de lignitos y carbón sub bituminosos, a este tipo de cenizas se le atribuyen propiedades cementarías y puzolánicas, para ser

⁵ HIGUERA REYES op. cit.

⁶ DELGADO G. J. Y ARIZA M. J. Evaluación de una mezcla densa en caliente modificada con la adición de ceniza y caucho. Universidad Pontificia Bolivariana. Seccional Bucaramanga. 2013

empleadas en hormigones, las cenizas deben tener cantidad máxima en cal del 20% y un contenido mínimo de $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ del 50%

Clase F, son producidas cuando se calcina carbón antracítico o bituminoso, se caracterizan por contener pequeñas cantidades de cal, que son alrededor del 15%, además la combinación de sílice aluminio y hierro es alta. Este tipo de cenizas tiene propiedades puzolánicas.

Clase N, Puzolanas naturales, crudas o calcinadas. Que por sí mismo poseen poco o ningún valor cementante. Esta clase de material requiere de calcinación para que se puedan obtener propiedades satisfactorias.⁷

2.7 FIBRA DE VIDRIO

Está compuesta de sílice y vidrio reciclado, esta mezcla se tritura se calienta a altas temperaturas hasta que se forma un plástico viscoso, posteriormente es extruida hasta formar hebras o filamentos que posteriormente son enfriados y enrollados, este material tiene una última transformación dependiendo de la presentación final que va a tener determinado producto, ya sea en hilo, picado, en estera, etc.

*“La elevada resistencia de las fibras de vidrio se debe a los enlaces covalentes entre el silicio y los radicales oxígeno. Los átomos integran una red tridimensional con estructura amorfa. Por esta razón, las fibras de vidrio poseen características isotrópicas”.*⁸

⁷ SÁNCHEZ OTÁLORA, Sergio. Evaluación de mezclas asfálticas con adición de ceniza como porcentaje del ligante y del llenante. Bucaramanga: Universidad pontificia bolivariana-seccional Bucaramanga2014

⁸ PLASTIQUIMICA, Fibras [En línea] Disponible en <http://www.plastiquimica.cl/pdf/Fibras.pdf> [citado el 9 de julio de 2015]

2.7.1 Clasificación de las fibras de vidrio

La más difundida y utilizada en la mayoría de sus aplicaciones, es la fibra de vidrio E. La mayúscula E proviene de eléctrico, puesto que esta fibra fue desarrollada inicialmente para aplicaciones eléctricas, sin embargo actualmente se utiliza en muchas otras aplicaciones, con la importante ventaja de su reducido costo. Fibras con mayor resistencia a la tensión se agrupan en los tipos de fibra de vidrio R y S. Estas iniciales corresponden a Resistance (francés) y Strength (inglés) respectivamente. Un tipo adicional de fibra de vidrio es el C, desarrollado para una buena resistencia química, de donde proviene la inicial C (Chemical).⁹

2.8 CEMENTO

Es un polvo fino de color gris o blanco, que tiene propiedades conglomerantes y permite la unión de fragmentos minerales entre si cuando es mezclado con agua posterior fraguado. Actualmente es uno de los materiales más utilizados en la industria de la construcción debido a su versatilidad y a las diferentes posibilidades que nos brinda. Este material se obtiene mediante un proceso que parte de la explotación piedra caliza, la cual tiene carbonato de calcio, sílice, hierro, oxido de aluminio, y otros minerales. Esta roca es triturada varias veces para mezclarlo con arcilla, hierro o sílice dependiendo del tipo de cemento que se desee fabricar. Posteriormente es llevado a la etapa de calcinación, donde se mete en un horno donde las temperaturas oscilan alrededor de los 1500° centígrados que generan un cambio químicamente y se transforman en un material llamado Clinker, el cual se enfría rápidamente y forma pequeñas bolas con diámetros cercanos a los 3 centímetros. Finalmente el Clinker se mezcla con yeso para poder aumentar el

⁹ PLASTIQUIMICA op. cit.

tiempo de fraguado y se vuelve a triturar hasta que queden partículas microscópicas de diámetros menores a los 45 micrómetros.¹⁰

¹⁰ ARGOS, [En línea]Disponible en <http://blog.360gradosenconcreto.com/asi-se-hace-el-cemento-proceso-de-produccion-2/> [citado el 7 de julio de 2015]

3. ANTECEDENTES

Si bien el material tierra material se usa desde los inicios de las civilizaciones, recientemente se han desarrollado investigaciones tanto a nivel internacional como nacional en búsqueda de mejorar el comportamiento de la materia prima de los mampuestos, para finalmente obtener bloques de mejor calidad que respondan a los esfuerzos físicos y mecánicos.

Estas estabilizaciones se clasifican en procesos homogéneos y heterogéneos, se logran adicionando determinado material al suelo virgen. El primer caso se llama homogéneo porque la adición es de tierra en su estado seco, pero con diferentes características granulométricas. Si la tierra es poco cohesiva se agrega arcilla, y si por el contrario es muy cohesiva se agrega arena para mantener un equilibrio.

En el caso de la estabilización heterogénea se logra con adición de otro tipo de material con diferentes características que brindan estabilidad al suelo virgen. Este proceso se subdivide en estabilizantes por consolidación, fricción e impermeabilización.

a) Consolidantes: Los estabilizantes por consolidación se enlazan con los limos y las arenas para mantenerlos unidos mediante reacciones químicas, aumentando su resistencia a los esfuerzos compresión y cortante; también disminuye la absorción del agua. El cemento y la cal apagada son unos de los principales estabilizantes de este tipo. debido a que liga las partículas del suelo En cuanto a sustancias orgánicas, algunas cumplen la función de aglutinantes, presentes en vegetales como las cactáceas y las suculentas, en coloides orgánicos, en la leche y huevos.

- b) Fibras: se utilizan principalmente para controlar los cambios de volumen generados por los cambios en el contenido de humedad en el proceso de fabricación y curado de los bloques, pretenden reducir estos efectos de dilatación y contracción, con el proceso de adherencia de material fibroso a la tierra, formando redes al unirse y prevenir la aparición de fisuras y siguen actuando con el tiempo. Algunos ejemplos de fibras naturales de origen vegetal son: la paja, diferentes gramíneas, virutas de madera, acículas de pináceas, cascara de coco, tallos del maíz y fibras de pita o fique. Otras fibras de origen animal: la lana, crines de caballo, pelo de llama.
- c) Impermeabilizantes: Tienen como función principal evitar el deterioro de los bloques producido por la acción de la humedad proveniente del mismo terreno o de la lluvia. Estos impermeabilizantes actúan como una capa protectora sobre las arcillas, evitando así que el bloque pierda su estabilidad e integridad. Las grasas, de tipo vegetal, animal o fósil, son parte de los principales materiales naturales usados como impermeabilizantes. La cantidad debe ser la apropiada para que no interfieran con el comportamiento de las arcillas¹¹.

Entre las investigaciones más importantes en Colombia en estabilización del material tierra fue realizada en la Universidad Nacional de Colombia por la Ing. Olga Nallive Yepes, y el Ing. Carlos Mauricio Bedoya, en la que se estabilizó heterogéneamente utilizando geopolímeros procedentes de la reacción química conocida como geopolimerización. Estos materiales poseen alta dureza y gran resistencia mecánica, por lo que le proporcionan un micro-refuerzo al bloque,

¹¹ ARTEAGA, Karen. MEDINA, Oscar. GUTIÉRREZ, Óscar. Bloque de tierra comprimido como material constructivo. Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Revista facultad de ingeniería. 2011: dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3914194.pdf [Citado el 10 de Febrero de 2015]

arrojando resultados positivos en su comportamiento, con valores de resistencia a la compresión cercanos a los 5 Mpa.¹²

En 2005 fue presentado el proyecto de grado por los ingenieros Mónica Acosta Reyes y José Ballesteros Fuentes en la Universidad Pontificia Bolivariana, en el cual se modificó el comportamiento de un suelo fino al adicionarle fibras de vidrio con porcentajes de 0,25%; 0,5%; 0,75% y longitudes de 1cm, 2cm, 3cm. Con el objetivo de aumentar el ángulo de fricción y de esta forma la resistencia al esfuerzo cortante. El suelo estudiado en este proyecto es de tipo CH (arcillas inorgánicas de alta compresibilidad) y obtuvo un ángulo de fricción de 23,53° en el ensayo de corte directo y 23° en el ensayo triaxial. Posterior a las adiciones de los diferentes porcentajes y longitudes se observó que el mejor comportamiento se da para un porcentaje de 0,5% y 2 cm de longitud, en el que se alcanzó un ángulo de fricción interna de 40,44° en corte directo y 38° en triaxial. Este proyecto fue enfocado a la ingeniería de suelos, y hasta el momento no se le ha dado una aplicación para bloques de tierra comprimida¹³.

En la Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga en el 2014 se realizó un proyecto de grado por el ing. Néstor Darío Hernández Vargas, en donde se elaboraron adobes a base de suelos arcillosos provenientes de excavaciones, estabilizados con yeso. Posteriormente se realizaron pruebas de resistencia a la compresión de los distintos prototipos de mampuestos a los adobes con sus diferentes adiciones de yeso, los que se obtuvo una resistencia a la compresión

¹² Yepes, OLGA NALLIVE. BEDOYA, Carlos Mauricio. El bloque de suelo cemento (BSC) al bloque de suelo geo polimerizado (BSG). Medellín: Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. 2012

¹³ ACOSTA REYES, Mónica. BALLESTEROS FUENTES, José. Estudio del comportamiento de los suelos finos después de la adición de fibra de vidrio. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana- Seccional Bucaramanga. 2005

cercana a los 1,5 MPa, los muretes elaborados de suelo y yeso con relación de 4:1 se obtuvo 1,25 MPa de resistencia a la compresión. ¹⁴

¹⁴ HERNÁNDEZ VARGAS, Néstor... Evaluación mecánica de eco ladrillo elaborados con residuos plásticos. Bucaramanga: Universidad pontificia bolivariana-seccional Bucaramanga. 2014

4. METODOLOGÍA

Para la ejecución de este trabajo de grado se siguieron las siguientes etapas:

4.1. PREPARACIÓN DE LOS MATERIALES

Para la correcta elaboración de los mampuestos con este tipo de técnicas, Se recomienda que el material sea “cernido” para eliminar sobre-tamaños y permita la obtención de una mezcla más homogénea en el momento en que se le adicione algún tipo de estabilizante.

4.2 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

4.2.1 Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos INV E - 123 – 13

El objetivo principal de este ensayo es determinar cuantitativamente la distribución de los tamaños de las partículas del suelo. La distribución de las partículas mayores de 75 μm (retenidas en el tamiz No.200) se determina por tamizado, mientras que la distribución de los tamaños de las partículas menores de 75 μm se determina por un proceso de sedimentación empleando un hidrómetro.

Inicialmente se separa la muestra mediante la utilización del tamiz de 2 mm (Nº10), el suelo retenido es lavado utilizando este tamiz para que pasen todas las partículas finas pegadas a las de diámetro mayor a 2 mm como se muestra en la figura 1., lo retenido se seca en el horno y se realiza un análisis por medio de tamizado utilizando los tamices de mayor diámetro. En este caso en particular solo

se utilizó el tamiz de 4,75 mm (Nº 4) ya que el material empleado en el proyecto no supera este diámetro de partícula producto del cernido inicial.

Figura 1. Lavado en el tamiz Nº10



Fuente: Propia.

De la porción que pasa el tamiz Nº 10 se toman 65 gramos. 15 gramos se utilizan para determinar la humedad, la cual se tiene en cuenta en los cálculos para obtener el factor de corrección por humedad higroscópica. Y los 50 gramos restantes se colocan en vaso de vidrio de 250 ml y se cubre con 125 ml de solución de agua y hexametáfosfato de sodio (40g/litro), se agita con una varilla de vidrio y se deja reposar por 16 horas para que quede completamente saturado.

Terminado este periodo de 16 horas, se dispersa nuevamente la muestra durante un minuto, utilizando el aparato agitador A, mostrado en la figura 2.

Figura 2. Aparato agitador A



Fuente: Propia

Finalizada la dispersión se transfiere la lechada de suelo y agua a la probeta de 1000 ml, se añade agua hasta que el volumen total sea 1000ml, donde se completó la agitación poniendo la palma de la mano sobre el extremo abierto del cilindro y colocándolo patas arriba y viceversa durante un minuto.

Al término del minuto, se coloca la probeta sobre una superficie plana y se hacen lecturas con el hidrómetro 152 H mostrado en la figura 3. A los 2, 5, 15, 30, 60, 120, 250, 580, 1440, y 5940 minutos. En cada lectura también se debe tomar la temperatura.

Figura 3. Hidrómetro 152 H y suspensión de suelo.



Fuente: propia

El hidrómetro 152 H, se encuentra calibrado conforme a la norma ASTM E 100, y está graduado para leer los gramos por litro de suspensión, bajo el supuesto de que el agua destilada tiene gravedad específica de 1,00 a 20° C y que el suelo en suspensión tiene una gravedad específica de 2,65. Teniendo en cuenta que esas condiciones no se cumplen exactamente, en los cálculos se deberá aplicar ciertos factores de corrección para ajustar estas diferencias.

La corrección referente a la lectura del hidrómetro se le llama corrección compuesta, y corresponde a la suma algebraica de la corrección por gravedad específica de la solución agua + defloculante, la corrección por temperatura, y la corrección por menisco.

La corrección por gravedad específica (Cd) se debe realizar, debido a que el líquido resultante de mezclar el agua con el hexametáfosfato de sodio mostrado en la figura 4. Tiene una gravedad específica apreciablemente mayor que la del agua desmineralizada. Esta corrección equivale a la lectura del hidrómetro 152 H en la solución resultante de (125 ml de solución agua-hexametáfosfato + agua restante para completar los 1000 ml).

Figura 4. Hexametáfosfato de sodio en polvo y probeta con agua



Fuente: Propia.

La corrección por menisco (Cm) se debe tener en cuenta ya que el hidrómetro esta graduado para ser leído en la parte inferior del menisco formado por el líquido en el vástago del hidrómetro tal como se aprecia en la figura 5. Puesto que no es posible asegurar que las lecturas de las suspensiones de suelo se harán exactamente en la parte inferior del menisco. Estas se toman en la parte superior y se le resta esta corrección, que equivale a la diferencia determinada visualmente, entre la parte inferior del menisco y la parte superior, esta medida se realiza en agua donde se tiene plena visibilidad.

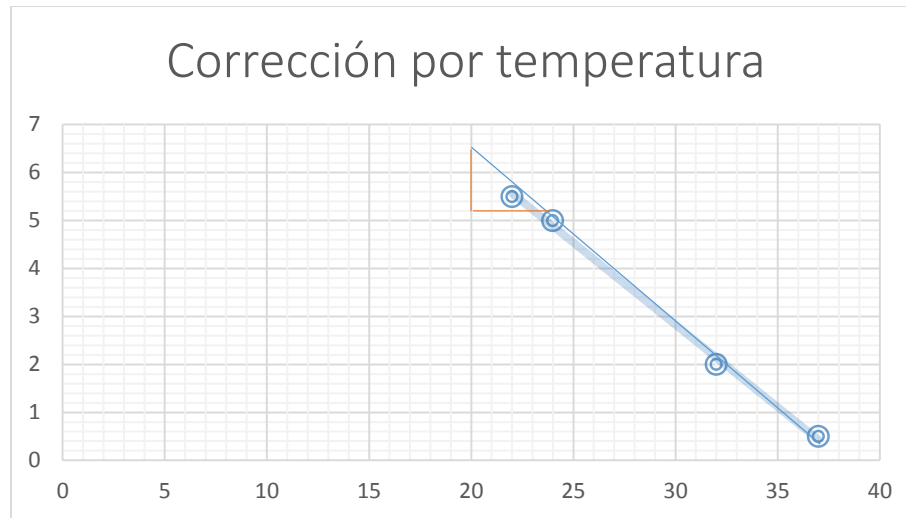
Figura 5. Lectura para determinar Cm



Fuente: Propia

La corrección por temperatura se determinó experimentalmente tomando lecturas del hidrómetro sobre la solución de agua-hexametafosfato y haciéndole regresión lineal en la figura 6. En este ensayo todas las lecturas se realizaron a 24°C por lo que corresponde gráficamente una diferencia de corrección de 1,2 g/l con respecto a los 20°C, siendo esta la Ct.

Figura 6. Gráfico para la corrección por temperatura



Fuente: Propia.

Finalmente se transfiere la suspensión a un tamiz de 0,075 mm (Nº200) y se lava con agua potable hasta que el lavado se vuelva de color claro. En seguida se transfiere el material retenido en el tamiz a un recipiente adecuado, se seca en el horno a 110° C y se le realiza un análisis por tamizado, utilizando el juego de tamices.

4.2.2 Determinación del Límite líquido de los suelos. INV E- 125 – 13

La preparación de la muestra en este proyecto se realizó según la recomendación de la norma, por la vía húmeda. En la determinación del límite líquido se aplicó el método A o método multipunto, el cual tiene mayor precisión y es el recomendado.

El primer paso consiste en procesar la muestra de suelo para remover la porción retenida en el tamiz de 0,0425 mm (Nº 40). Posteriormente se determina el límite líquido por tanteos, el cual es un valor expresado en porcentaje (%) que representa el contenido de humedad del suelo, en el que está en la frontera entre los estados líquido y plástico. En los tanteos se toma una porción de la muestra procesada, se esparce sobre una cazuela de bronce y se divide por la mitad como

se muestra en la figura 7. Con la utilización de un ranurador, de esta forma se permite que las dos partes fluyan hacia el medio de la ranura, hasta juntarse nuevamente como resultado de los golpes recibidos por la caída repetida de la cazuela sobre una base normalizada. Se toman los valores del número de golpes y el contenido de agua para 4 puntos y se grafican en la curva de fluidez. Finalmente, de manera gráfica se toma la porción de la muestra que se unió en la cazuela mostrada en la figura 8. Y se halla el contenido de agua correspondiente a la intersección de esta curva de fluidez con la abscisa de 25 golpes y se toma como el límite líquido del suelo.

Figura 7. Ranura formada y equipo utilizado.



Fuente: propia

Figura 8. Porción de suelo después de cerrada la ranura



Fuente: propia

4.2.3 Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos. INV E 126 – 13 El límite plástico es el contenido de agua del suelo, expresado en porcentaje, cuando se halla la frontera entre los estados plástico y semisólido. Se determinó utilizando el suelo húmedo que se utilizó en la prueba del límite líquido, se tomó de 1,5 a 2 g y se presionó de manera repetida sobre una placa de vidrio, haciéndolo rodar con la formando rollos de 3,2 mm de diámetro, este procedimiento se realizó con la intención de ir reduciéndole lentamente la humedad como se muestra en la figura 9. Hasta que después de repetirlo varias veces, su contenido de agua se reduce a un punto en el cual se produce el agrietamiento o desmoronamiento de los rollos. Inmediatamente se toma la porción de suelo desmoronado y se determina el contenido de agua presente, este valor corresponde al límite plástico la humedad más baja con la cual se pueden formar rollos de estas características.

Se tomó otras dos porciones adicionales de muestra y se repitió el procedimiento para asegurarse de que este es el valor correcto, no deberá tener variaciones mayores a 1,4 puntos porcentuales.

Figura 9. Formación de rollos para reducir la humedad



Fuente: propia

4.2.4 pH de los suelos. Guía de prácticas de laboratorio de suelos Universidad Pontificia Bolivariana.

Se tomó una muestra de 30 gramos de suelo seco en un beaker de 100 ml, y se adicionó 30 ml de agua destilada, se agitó por 5 minutos hasta formar una solución, y se dejó reposando por una hora.

Después de pasado el tiempo se realizó la medida del pH del suelo en suspensión de agua, con un potenciómetro mostrado en la figura 10. El potenciómetro es un aparato electrónico que mide la diferencia de potencial que se establece entre la solución del suelo problema y una concentración de iones de hidrogeno que se conoce.

El pH del suelo nos determina el grado de acidez o basicidad de un medio acuoso, esta es una variable útil en la determinación de la solubilidad de minerales del suelo, la movilidad de iones, y en la evaluación de la viabilidad del ambiente planta-suelo.

Figura 10. Medición del pH



Fuente: propia

4.2.5 Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y del llenante mineral, empleando un picnómetro con agua. INV E 128 - 13

La gravedad específica de las partículas sólidas del suelo es la relación entre la masa de un cierto volumen de sólidos a una temperatura dada y la masa del mismo volumen de agua destilada y libre de gas a igual temperatura. Esta prueba se realiza para muestras que pasan el tamiz de 4,75 mm. En el caso del material empleado en este proyecto todo el material ya se encontraba cernido y con partículas menores a los 4,75 mm.

Para determinar la gravedad específica del suelo se utilizó el método B, “procedimiento para especímenes secados al horno” y se empleó un picnómetro de 500 ml y una bomba de vacío, primero se debe establecer la masa que tiene el picnómetro lleno de agua hasta la línea de referencia de 500 ml, esta masa varía levemente en función de la temperatura que tiene el agua. Para conocer esta variación se tomó la masa del picnómetro + agua a tres temperaturas diferentes que abarquen el rango posibles temperaturas de trabajo Una vez se tienen estos datos se les realiza una regresión lineal, es decir una gráfica de la función con la temperatura como variable independiente y la masa como la variable dependiente.

Se secó la muestra de suelo en el horno y se registra su masa. Se introduce el suelo al picnómetro con cuidado de no perder material en el proceso y se agrega un poco de agua y utilizando la bomba de vacío se extrae el aire presente en la suspensión de agua y suelo como se muestra en la figura 11. Después se le agrega nuevamente agua hasta que la suspensión alcance la marca de referencia como se muestra en la figura 12. Y se le conecta nuevamente la bomba de vacío hasta que se haya extraído completamente el aire.

Se toma la masa correspondiente al picnómetro lleno de la solución y se registra la temperatura a la que se tomó el dato.

Finalmente se pasa la suspensión a una bandeja y se mete al horno con temperatura de 110°C para finalmente conocer la masa del suelo seco.

Figura 11. Extracción de las partículas de aire.



Fuente: Propia

Figura 12. Suspensión



Fuente Propia

4.3 CARACTERIZACIÓN DE LA CENIZA

Se toman los ensayos realizados en el marco del convenio de colaboración AC 02 5211508. Ejecutados en el proyecto de grado de Sergio Sánchez Otálora dirigido por la Dra. María Fernanda Serrano Guzmán, en el que se basa en los ensayos aplicados para los agregados finos y se ajustan para esta ceniza.

4.3.1 Granulometría de los agregados finos y grueso (INV E - 213)

El ensayo tiene como fin determinar cuantitativamente como se distribuyen los diferentes tamaños de las partículas de los agregados pétreos al tener una granulometría similar se realiza el ensayo según esta norma, el ensayo en resumen consiste en tomar la muestra por cuarteo, lavarla por el tamiz N°200 y calcular el porcentaje que pasa, es decir el porcentaje de partículas con diámetro menor a 0,075 mm. Con la masa retenida en este tamiz, se seca al horno y con la utilización de un juego de tamices se hace pasar el material y se registra cuanto es retenido en cada tamiz. Finalmente se calcula el porcentaje que pasa por los diámetros de las aberturas correspondientes a cada tamiz.¹⁵

4.3.2 Gravedad específica y absorción de los agregados finos (INV E 222)

La muestra se sumerge 24 horas en agua, posteriormente se extiende el material sobre una superficie plana y absorbente. Hasta que la ceniza pierda la suficiente humedad para someterse al ensayo. Se sabe que esta lista cuando se mete en un cono hueco y después de 25 golpes distribuidos en 3 capas, se retira el cono y se desmorona muy poco.

Se llena el picnómetro con 500g del material y se llena el picnómetro hasta la línea de referencia. Una vez esta con agua se gira para sacar las burbujas producidas al

¹⁵ SÁNCHEZ OTÁLORA Op. Cit.

mezclarse con agua se registran las masas correspondientes al picnómetro con agua y material, y finalmente se saca el material completamente se seca al horno y se registra su masa seca.¹⁶

4.3.3. Determinación del contenido orgánico en suelos mediante pérdida por ignición (INVE 121 07)

Se escoge una muestra entre 10 g y 40 g, se coloca en un crisol de porcelana y se registra su masa, se introduce en la mufla durante seis horas a 445°C, posterior a este paso se saca la muestra y se coloca en el desecador, se enfría la muestra y se registra su masa. La materia orgánica es la relación de la masa que se evaporó en el proceso de ignición con el peso seco después de la ignición¹⁷.

4.4 CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA

Se toman como referencia los ensayos realizados por el productor de la fibra Jushi Group. Estos ensayos corresponden a la normatividad según la ISO (International Organization for Standardization).

ISO 3374-2000 Textile glass mats -- Determination of mass per unit area
Determinación de la masa por unidad de área

ISO 1887-1995 Textile glass -- Determination of combustible matter content
Determinación del contenido de material combustible, o pérdida por ignición.

ISO 3344-1977 Textile glass products -- Determination of moisture content
Determinación del contenido de humedad.

¹⁶ SÁNCHEZ OTÁLORA Op. Cit.

¹⁷ Ibíd.

ISO 3342-1995 Textile glass -- Mats -- Determination of tensile breaking force
Determinación de la fuerza de rotura a la tensión.

4.5 RELACIONES DE HUMEDAD – PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS (ENSAYO MODIFICADO DE COMPACTACIÓN). INV E 142 – 13. 6 DISTINTOS TIPOS DE MEZCLA (MEZCLAS I-VI)

Para cada una de las mezclas, se toma la muestra de aproximadamente 15 Kg y se divide en 5 submuestras de aproximadamente 3 Kg de suelo a humedad natural. Se determina la cantidad de agua presente en el suelo que hay que tener en cuenta para conocer la cantidad de suelo seco que tiene cada submuestra. Para las mezclas con adición se le adiciono el estabilizante según sus respectivos porcentajes con respecto al suelo seco y se revuelve.

Teniendo en cuenta el peso del suelo seco y la humedad que presenta el suelo, se prepara cada submuestra con una humedad diferente, con variaciones de 2% entre sí, de tal forma que abarquen la humedad óptima estimada y que al menos haya 2 puntos a cada lado de la óptima. Estas submuestras se colocaron dentro de bolsas de cierre hermético, para someterlas a un periodo de curado por 16 horas antes de ser compactadas como se muestra en la figura 13.

Posterior al curado empieza el proceso de compactación este se realizó por el método A (con el molde de 4”), que consiste en que a cada submuestra de suelo se coloca en cinco capas dentro de un molde, sometiendo cada capa a 25 golpes de un martillo de 44.48 N (10 lb f) que cae desde una altura de 457.2 mm (18”), produciendo una energía de compactación aproximada de 2700 kN–m/m³ (56 000 lbf–pie/pie³).

Se determina y anota la masa del molde con el suelo compactado y enrasado como se muestra en la figura 14. Se obtiene una muestra de ella para determinar la humedad. Y así calcular el peso unitario seco resultante.

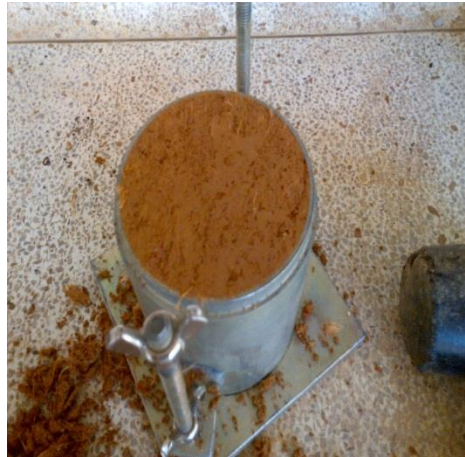
Se grafica una curva que relacione las humedades con los respectivos pesos unitarios secos obtenidos. Esta curva se llama curva de compactación y su vértice determina la humedad óptima y el peso unitario seco máximo, para el ensayo modificado de compactación.

Figura 13. Submuestras en el proceso de curado



Fuente: Propia.

Figura 14. Molde de 4” con suelo enrasado



Fuente: Propia.

4.6 DOSIFICACIÓN INICIAL DE 6 MEZCLAS Y FABRICACIÓN DE LOS BLOQUES.

La preparación del material, dosificación de mezcla y fabricación de los bloques se explican con mayor detalle en el capítulo 5.

4.7 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SECA. NTC 5324 “BLOQUES DE SUELO CEMENTO PARA MUROS Y DIVISIONES.”

Se pone el bloque seco sobre una cama de arena fina, se traza una entallada sobre las cuatro caras indicando el sitio de rotura. Se puso un machete o cuchillo de acero sobre una de las caras y se dio un golpe de maceta para recortar transversalmente el bloque en dos partes iguales como se muestra en la figura 15.

Figura 15. Recorte de los bloques



Fuente: Propia.

Se humedece ligeramente la superficie del bloque se extiende mortero de pega como en la figura 16 constituido por una mezcla de 1:3 y se sobrepone las dos mitades como si estuviera en un muro real , teniendo en cuenta que la cara lisa de una queda sobre el mismo plano que la sección de corte que la otra.

Figura 16. Esparcimiento del mortero de pega



Fuente: Propia.

Después del endurecimiento del mortero (2 días), se impregna cada una de las caras de la pega inferior y superior con un pañete de pasta pura de cemento portland con relación A/C: 0,5. Como se muestra en la figura 17 Con el objetivo de

que la carga se distribuya uniformemente y se asegure el paralelismo entre la prensa y el espécimen a ensayar.

Figura 17. Pañete de pasta de cemento



Fuente: Propia.

Se ajusta la carga que aplica la máquina de compresión a un aumento de presión de 0,2 Mpa/s. se ubica el espécimen en la mitad de la máquina como se muestra en la figura 18 y se procede a aplicar la carga hasta la falla de la probeta. Se registra la máxima carga soportada por la probeta durante el ensayo, Para poder calcular el máximo esfuerzo de compresión soportado por la probeta.

Figura 18. Prueba de compresión a espécimen



Fuente: Propia.

De las mezclas con fibra de vidrio y ceniza con especímenes que obtienen mejores resultados en los ensayos de compresión se elige una de cada una, y junto con la mezcla de cemento para comparación y la mezcla patrón sin ningún estabilizante, se procede a realizar ensayos adicionales para determinar otras características.

4.7.1 Resistencia a la abrasión. Método de ensayo para determinar la resistencia a la abrasión de materiales para pisos y pavimentos, mediante arena y disco metálico ancho. (3 especímenes cada mezcla)

Con la utilización de una segueta, se cortaron los bloques a una longitud de 12 cm, de tal forma que entrara en el carro porta espécimen el cual está montado sobre un sistema de rieles y rodamientos que garantizan el desplazamiento, bajo la acción de un contrapeso, en dirección perpendicular al eje de rotación del disco metálico. Este disco se encuentra en contacto con una superficie completamente

lisa del bloque, y gira a una tasa de 75 revoluciones por minuto mientras un flujo de arena de cuarzo angulosa pasa tangencialmente por entre dichas superficies como se muestra en la figura 19. Generando una huella, con la forma de la superficie curva del disco metálico. Se toma la medida de esta longitud, la cual es inversamente proporcional a la resistencia al desgaste por abrasión que posee el espécimen.

Figura 19. Ejecución del ensayo de desgaste



Fuente: Propia.

4.7.2 Coeficiente de absorción de agua por capilaridad. NTC 5324 (3 especímenes cada mezcla)

Se tomó la masa de los bloques en su estado seco, se mide y se sumerge la cara inferior del bloque de manera que esté 5 mm por debajo del agua. Esta inmersión se realizó poniendo los bloques sobre unas cuñas instaladas en el fondo de los recipientes. A medida que el bloque absorbió agua se adicionaba poco a poco mediante un frasco medidor.

Después de 10 minutos, se retiró el bloque y se registró su masa final. Con los valores de la masa inicial, la masa final y el área de contacto con el agua se calcula el coeficiente de absorción (C_b).

5. METODOLOGÍA FABRICACIÓN DE BLOQUES

5.1. MATERIAL TIERRA

La tierra fue traída en volqueta de una excavación arcillosa, tenía una gran cantidad de terrones de gran tamaño con diámetros que oscilaban los 15 centímetros. El material se protegió de la lluvia con un plástico negro por encima y por debajo. (Figura 20)

Figura 20. Almacenamiento del material



Fuente: Propia.

Debido a la presencia de terrones, el material se cierce con la utilización de un anejo con diámetro de 4,76 mm, equivalente al tamiz N° 4. (Figura 21)

Figura 21. Angeo



Fuente: Propia.

Una vez cernido el material tiene una apariencia más homogénea, se almacena en costales y baldes siempre protegidos de la lluvia. (Figura 22 a y b)

Figura 22. a) Almacenamiento del material cernido b) almacenamiento en sacos



Fuente: Propia.

5.2 DOSIFICACIÓN

Para controlar las cantidades de cada mezcla se incorpora la tierra en un balde típico de obra, se enrasa y se registra la masa de suelo que está presente dentro del balde. Este suelo está seco al aire, sin embargo posee una humedad higroscópica, la cual se debe determinar mediante la INV E - 122 “Determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo” Este valor se tiene en cuenta en el momento de agregar agua y el aditivo que se le quiera agregar a la mezcla, ya que estos porcentajes son adicionados con respecto a la masa del suelo seco.

Una vez se conoce la humedad higroscópica se procede a calcular la cantidad de suelo seco presente en el balde, mediante las relaciones volumétricas y gravimétricas, o multiplicando la masa de suelo por el factor de corrección por humedad higroscópica que sale de la relación entre la masa del suelo secado al horno y la masa del suelo secado al aire antes de colocarlo en el horno.

Teniendo el valor de la masa del suelo seco, se procede a preparar la mezcla, con su respectiva dosificación y con la humedad deseada. Estos porcentajes son con respecto a la masa del suelo seco.

- Suelo sin modificar.
- Suelo + 5% cemento.
- Suelo + 5% de ceniza.
- Suelo + 10% de ceniza.

Para ser añadida a los bloques la ceniza se hizo pasar por el tamiz N° 4, de esta forma el diámetro de la partícula más grande de ceniza, corresponde igualmente al diámetro de la partícula más grande de suelo, que fue cernido por el equivalente a este mismo tamiz como se muestra en la figura 23.

Figura 23 Tamizado de la ceniza



Fuente: Propia.

Para el caso la ceniza (Figura 24) y del cemento (Figura 25), la adición se hace previa a la adición de agua, de esta forma al estar la tierra seca al aire se puede mezclar fácilmente con estos dos nuevos materiales.

Figura 24. Adición de ceniza



Fuente: Propia.

Figura 25. Adición de cemento



Fuente: Propia.

Para el caso de la fibra se optó por agregarla después del paso de adición del agua (Figura 26).

- Suelo + 0,5% de fibra de vidrio.
- suelo + 1 % de fibra de vidrio.

Figura 26. Fibra añadida al suelo



Fuente: Propia.

5.3 ADICIÓN DEL AGUA

Para alcanzar el valor de la humedad deseada, utilizando una probeta de 1000 ml se rocía el agua faltante. Esta cantidad de agua es correspondiente a la humedad deseada menos la humedad higroscópica que posee el suelo secado al aire, multiplicada por la cantidad de suelo total que se está preparando.

Teniendo en cuenta que este es un suelo arcilloso, en el momento de agregar agua se forman unos grumos (Figura 27) con diámetros cercanos a los 5 cm, los que atrapan el agua y se hace imposible de mezclar homogéneamente la totalidad de la tierra. Es por esto que se utilizó nuevamente el anejo de abertura 4,76mm, con el cual se hizo pasar nuevamente el material ejerciendo presión sobre los grumos, y así se dividieran en grumos más pequeños con diámetros de 4 mm, y finalmente se pudiera mezclar de forma homogénea todo el material que se preparó.

Figura 27. Formaciones de grumos en el suelo



Fuente: Propia.

Se bate por ultima vez asegurándose de que todas las partículas se encuentren debidamente humedecidas, y en el caso de la fibra se asegura que este dispersa homogéneamente en toda la mezcla.

Se procede a operar la máquina CINVA-RAM, se agrega el suelo en la pequeña tolva se desliza un mecanismo que pasa la tierra al molde final. (figura 28).

Figura 28. Llenado con suelo y fibra



Fuente: Propia.

Este mismo mecanismo, al devolverse a su lugar original, genera un efecto de enrase del molde final, de esta forma la cantidad de tierra que se utiliza en la fabricación de cada bloque siempre es siempre la misma. (figura 29)

Figura 29. Enrase de la máquina



Fuente: Propia.

Se acciona la palanca, se ejerce una fuerza moderada en el sentido descendente, por principios físicos de palanca se acciona un pistón en sentido ascendente que comprime la mezcla. Finalmente se quita un seguro y se destapa el molde, se baja nuevamente la palanca para accionar el pistón que sube y saca el bloque del molde. (Figura 30 y Figura 31)

Figura 30. Mampuesto de suelo cemento



Fuente: Propia.

Figura 31. Mampuesto de suelo-fibra



Fuente: Propia.

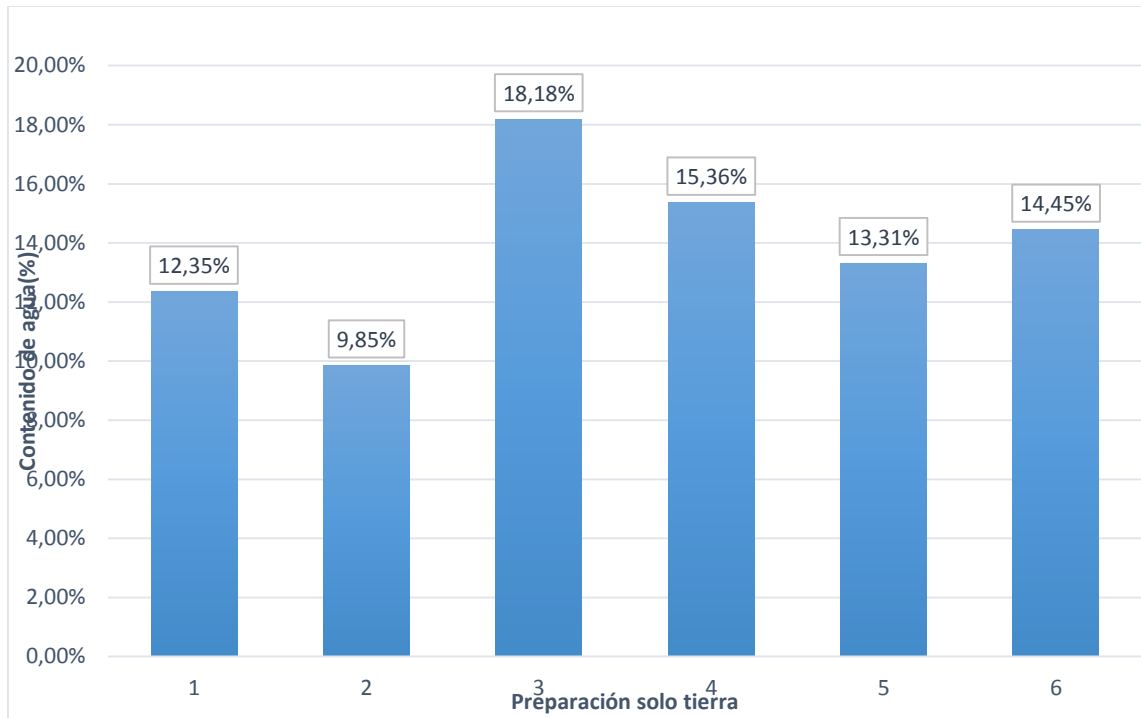
6. ANÁLISIS DE LA HUMEDAD DURANTE LA PRODUCCIÓN DE BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDOS

El contenido de agua presente en el suelo, varía enormemente el comportamiento que presenta durante su fabricación y el posterior comportamiento mecánico de los bloques.

Para conocer el contenido de agua de la mezcla se procedió a tomar una muestra y determinar su humedad como lo indica la INV-E 122. Esta toma de muestra se hace en el mismo momento en el que se termina de preparar la mezcla para fabricar los bloques. Figura 32, para hacerlo se tomaba una muestra representativa de 20 g compuesta por cinco porciones del material en diferentes lugares de la pila de suelo, utilizando la balanza con precisión de 0,01 g se toma el valor del suelo húmedo. Se secaba la muestra de un día para otro en el horno a 110° C. Y se registraba el valor de la masa del suelo seco. Finalmente la humedad se calcula relacionando la masa de agua que estaba presente en la muestra húmeda y la masa de suelo seco¹⁸.

¹⁸ • Instituto Nacional de vías. (2013) Especificaciones generales para la construcción de carreteras y normas de ensayo para la construcción de carreteras. INV E 122 – 13

Figura 32. Humedad de fabricación para cada preparación con solo tierra.



Fuente: Propia.

Inicialmente, durante la elaboración de los mampuestos se encontró que cuando el suelo no tenía suficiente contenido de agua la máquina CINVA-RAM no se podía operar de manera efectiva, es decir, la palanca no completaba completamente su recorrido, a pesar de que se le aplicara una gran fuerza, lo cual conllevaba a unos bloques que poca cohesión y que se desmoronaban muy fácilmente. (1era y 2da preparación)

Cuando la humedad era excesiva se mejoraba la trabajabilidad, pero en el momento de la fabricación, la palanca se podía bajar con excesiva facilidad, produciendo bloques de muy baja densidad.

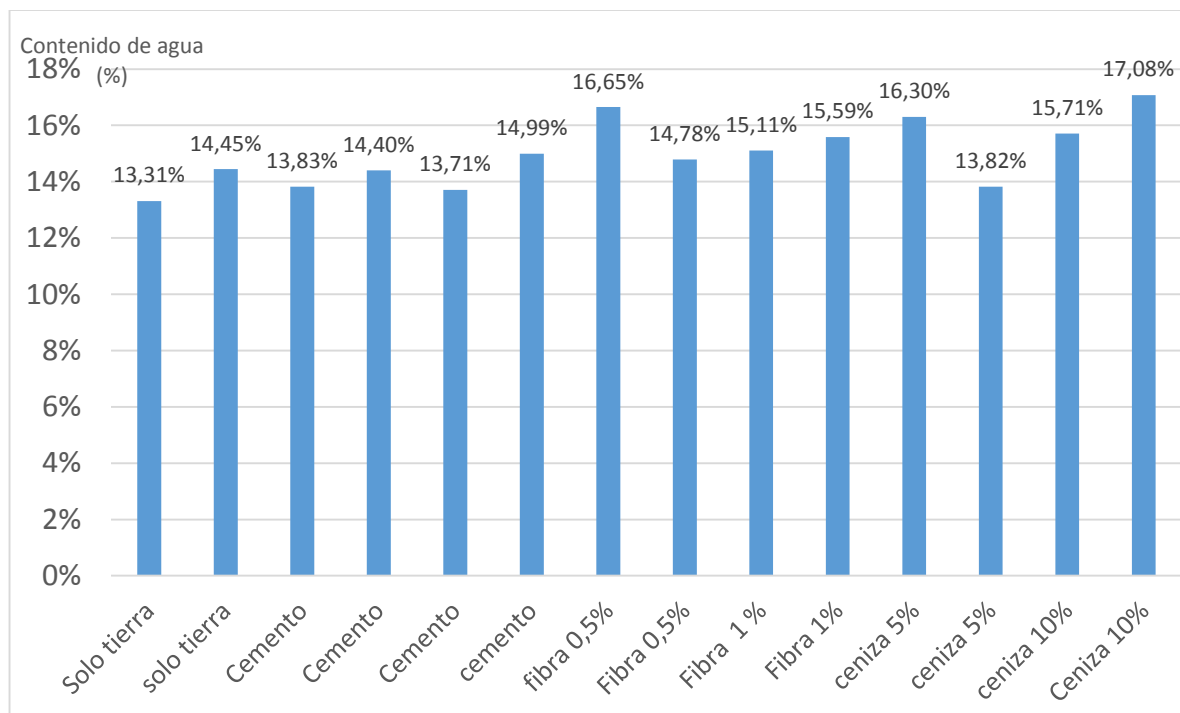
Para un trabajo futuro, es posible que se solucione este inconveniente ejerciendo una presión adicional con la mano y agregando más tierra al molde, previo a la compactación con la máquina, lo cual implicaría que se debería llevar control en

otras variables, además del a energía de compactación y en la cantidad de material utilizado por bloque. (En la 3ra y 4ta preparación)

Hasta la 5ta y 6ta preparación de mezcla con solo tierra, se pudo determinar un rango de valores de humedad en la que tenía un comportamiento aceptable en el proceso de fabricación. La fuerza aplicada para bajar la palanca era moderada para un solo operario adulto. La cantidad de material utilizado para fabricar cada bloque era la misma debido al enrase que hace la máquina y no se necesitaba aplicar presión adicional a la tierra dentro del molde.

Para las siguientes preparaciones de mezcla se fabricaron bloques con las humedades de fabricación presentadas en la figura 33.

Figura 33. Humedad de fabricación para cada preparación mezcla



Fuente: Propia.

Los valores de humedad de fabricación promedio en las preparadas para cada tipo de mezcla se muestran en la tabla 1

Tabla 1. Datos estadísticos de la humedad de fabricación

Tipo de mezcla	Solo tierra	Cemento	fibra 0,5%	Fibra 1 %	ceniza 5%	ceniza 10%
Humedad de fabricación Promedio	13,88%	14,23%	15,72%	15,35%	15,06%	16,40%
Varianza S ²	0,00640%	0,00349%	0,01739%	0,00114%	0,03071%	0,00932%
Desviación estándar S	0,0079998	0,0059041	0,0131873	0,0033796	0,0175232	0,0096563

Según esta varianza y desviación se muestra que no existe una gran variación entre humedades de fabricación pertenecientes al mismo tipo de mezcla. Ya que los valores son muy pequeños.

Aunque no se encontró en la literatura información sobre los contenidos o dosificación de agua para la fabricación de bloques de tierra comprimida, es muy importante conocerlo debido a que el agua juega un papel fundamental en todos los aspectos de la fabricación y el resultado final.

7. RESULTADOS

7.1 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

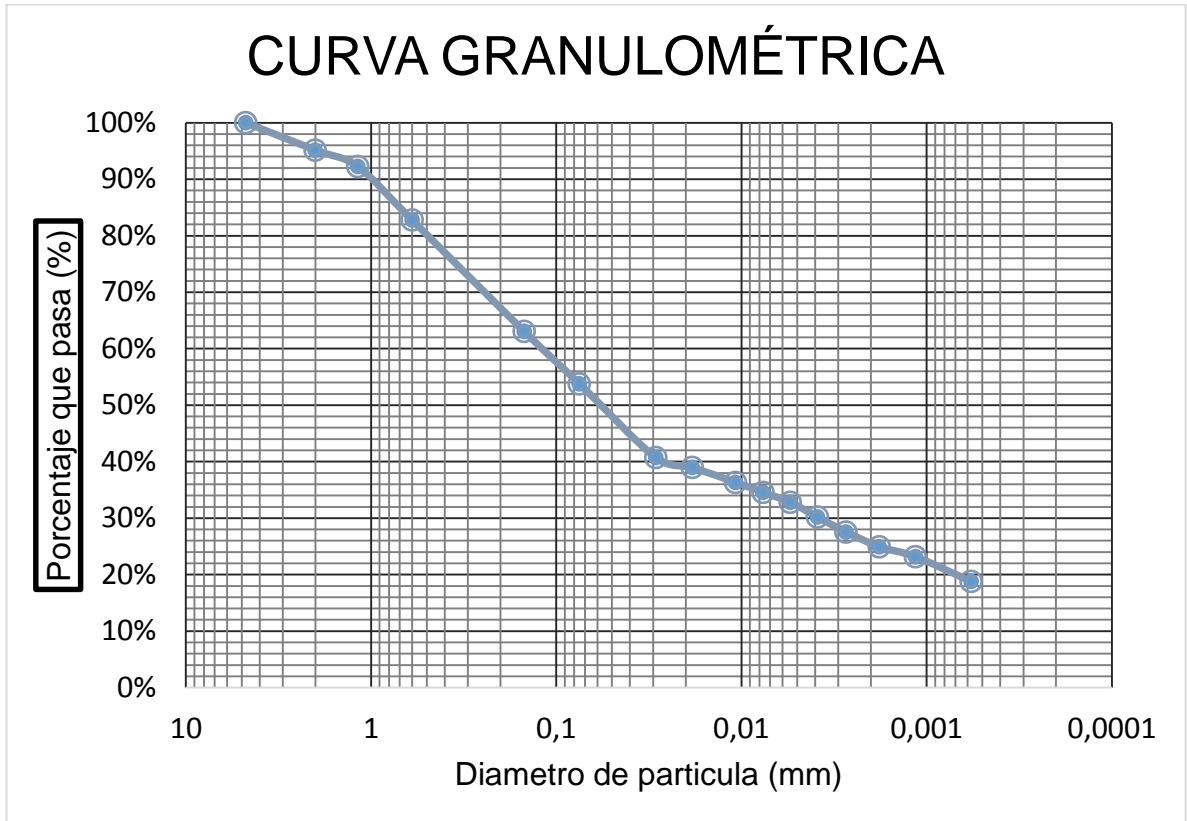
7.1.1. Granulometría. INV E - 123 – 13

Es un material con alto contenido de finos, se observa en la Tabla 2. Con un 53,8% de partículas con diámetros menores a 0,075 mm. Los datos y cálculos se encuentran en el anexo A. Se realiza una gráfica mostrada en la figura 34. En la que el diámetro de partícula se toma como el eje de las abscisas, y el porcentaje que pasa como eje de las abscisas.

Tabla 2. Diámetro de partícula y porcentaje que pasa

Diámetro (mm)	Porcentaje que pasa
4,75	100%
2	95%
1,18	92,2%
0,6	82,8%
0,149	63,0%
0,075	53,8%
0,0290	40,70%
0,0184	38,95%
0,0108	36,31%
0,0076	34,56%
0,0055	32,81%
0,0039	30,17%
0,0027	27,54%
0,0018	24,91%
0,0011	23,16%
0,0006	18,77%

Figura 34. Gráfico de porcentaje que pasa vs diámetro de partícula

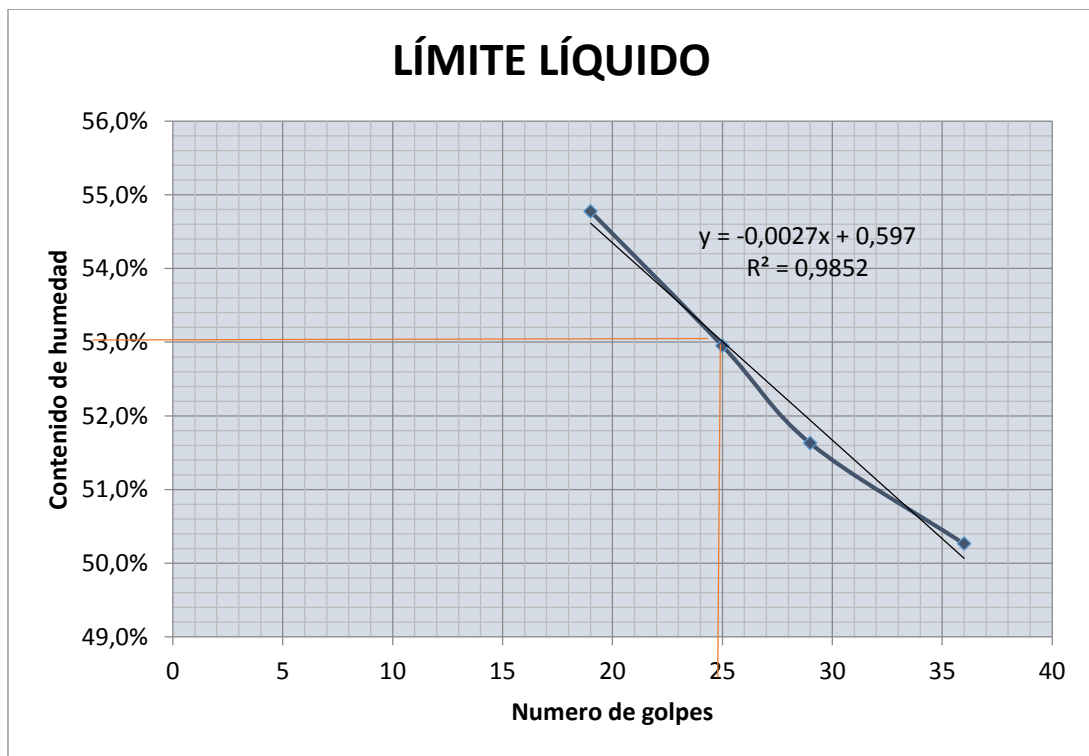


Fuente: Propia.

7.1.2. Límites de Atterberg

Se realiza una gráfica mostrada en la figura 35 con el número de golpes como eje de las abscisas y el contenido de humedad como eje de las ordenadas los datos y cálculos se muestran en el anexo B. El límite líquido es el punto en el que se cruza con el eje trazado a los 25 golpes, pasado este contenido de humedad el suelo tiene un comportamiento semilíquido, es decir un fluido viscoso comúnmente llamado lodo.

Figura 35. Curva de fluidez



Fuente: Propia.

Los valores mostrados en la tabla 3. Indican que el suelo tiene alta plasticidad, ya que presenta un comportamiento plástico, cuando está entre 22% y 53% en el contenido de agua. Este comportamiento genera que el suelo húmedo después de

ser deformado no vuelva a su forma original pero sin desmoronarse ni romperse. Los datos y cálculos se muestran en el anexo B.

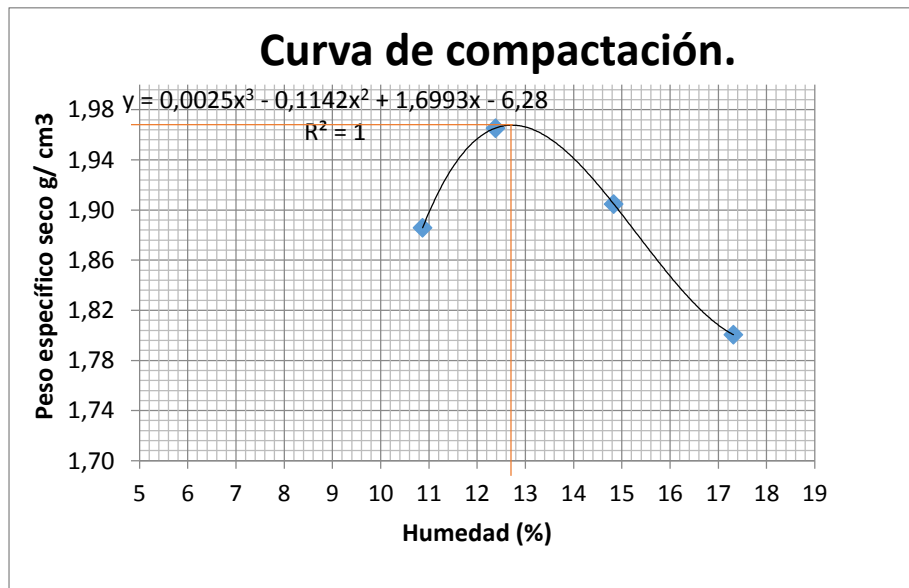
Tabla 3. Valores de los límites de Atterberg

Límite líquido	53,0%	Límite Plástico	22,0%	Índice de plasticidad	31,0%
-----------------------	-------	------------------------	-------	------------------------------	-------

7.1.3. Relaciones de humedad – peso unitario seco en los suelos (ensayo normal de compactación) INV E- 141 -13

Se realiza una gráfica mostrada en la figura 35 con la humedad como eje de las abscisas y el peso específico seco como eje de las ordenadas los datos y cálculos se muestran en el anexo C. El punto más alto en la gráfica que representa al punto que tiene mejor compactación, si se sigue aumentando o disminuyendo la humedad la compactación decrecen. En este punto se toman los valores de humedad óptima, y peso específico seco. (Tabla 4.)

Figura 36. Curva de compactación suelo virgen



Fuente: Propia.

Tabla 4. Valores humedad óptima y densidad seca máxima

w optima	12,70%	γ max	1,968 g/cm ³
----------	--------	--------------	-------------------------

7.1.4. Gravedad específica

La gravedad específica o suelo específico normalmente varía entre 2,6 a 2,9. Por lo que se evidencia que este suelo tiene una gravedad específica más alta de lo normal, debido a la gran cantidad de partículas muy finas. Los cálculos se muestran en el anexo D, y el valor para este suelo según lo especificado por la INV E 128 – 13 se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Valor de Gravedad específica

Gravedad específica	3,104
---------------------	-------

7.1.5 pH del suelo

Es un suelo ligeramente ácido, en el que la concentración de iones H⁺ en la solución acuosa origina la acidez y la de los hidroxilos OH⁻ la basicidad. Se realizó una sola lectura y el resultado se muestra en la tabla 6. Cuando el pH es menor a 7 el sistema es ácido y cuando el pH es superior a 7 el sistema es básico o alcalino.

Tabla 6. Valores de pH potencial de Hidrógeno

pH	5,26
----	------

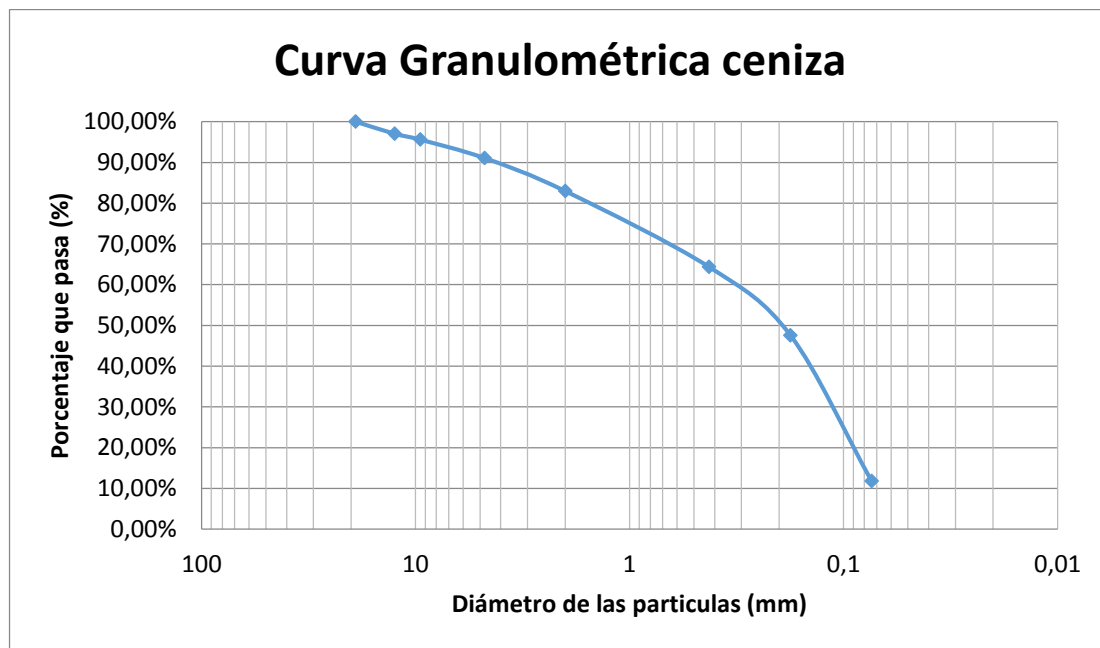
7.2 CARACTERIZACIÓN DE LA CENIZA

Este material es el residuo del proceso de desorción térmica de los lodos contaminados en explotaciones petroleras. Según la NTC 3493 esta ceniza no se enmarca perfectamente a ningún tipo de ceniza, pero se acerca más a la ceniza clase N.

7.2.1 Granulometría de la ceniza

En la figura 37. Se muestra que es un material que tiene una distribución homogénea de las partículas. Sin embargo hay que resaltar que solo se tomó la fracción de ceniza con diámetro menor a 2 mm, la que pasa por el tamiz N^o4.

Figura 37. Curva granulométrica de la ceniza



Fuente SÁNCHEZ OTÁLORA, Sergio. Evaluación de mezclas asfálticas con adición de ceniza como porcentaje del ligante y del llenante. Bucaramanga: Universidad pontificia bolivariana-seccional Bucaramanga. 2014

7.2.2. Peso específico y absorción

Los resultados que se muestran en la tabla 7. Nos indican que no forma una solución en agua, sino que se hunde después de un tiempo.

Tabla 7. Valores gravedad específica y absorción

Gravedad específica aparente	2,42 gr/cm ³
Gravedad específica Bulk S.S.S	2,17 gr/cm ³
Gravedad específica Bulk	1,998 gr/cm ³
Absorción	8,70%

Fuente SÁNCHEZ OTÁLORA, Sergio. Evaluación de mezclas asfálticas con adición de ceniza como porcentaje del ligante y del llenante. Bucaramanga: Universidad pontificia bolivariana-seccional Bucaramanga. 2014

7.3 CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DE VIDRIO.

La fibra utilizada es un producto importado, de color transparente, picado en longitudes de 2,54 cm. Y no representaba ningún peligro en su manipulación, la textura era como la de un plástico y no puyaba. (Figura 38) Se clasifica como fibra de vidrio tipo E.

Figura 38. Fibra de vidrio picada



Fuente: Propia.

Para los ensayos de tipo mecánico se toma la ficha técnica entregada por el fabricante Jushi Group, en donde se muestran todos los resultados de los ensayos realizados. (ANEXO E)

7.4 RELACIONES DE HUMEDAD – PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS. INV E 142 – 13.

A pesar de ser el mismo suelo, presenta variaciones en su humedad óptima de compactación y peso específico seco máximo. Datos, cálculos y gráficos de cada mezcla se muestran en los Anexos C. F. G. H. I. J. En el orden que se muestra en la tabla 8.

Tabla 8. Valores promedio de humedad óptima y peso unitario máximo

Mezcla	w óptima (%)	γ_d max (g/cm³)
Solo tierra	12,70%	1,97
Suelo cemento	12,60%	1,899
Suelo + ceniza 5%	13,50%	1,888
Suelo + ceniza 10%	13,00%	1,876
Suelo + fibra 0,5%	11,80%	1,97
Suelo + fibra 1%	12,90%	1,94

7.5 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

La falla de los especímenes en la mayoría de los casos se dio a lo largo del eje vertical por el medio, comprometiendo toda la altura del espécimen como se muestra en la figura 39. El esfuerzo axial de compresión se calculó tomando la carga última y relacionándola con el área de la sección transversal del espécimen, datos en el anexo K, obteniendo la resistencia a la compresión seca (tabla 9.)

Tabla 9. Valor de la resistencia a compresión en MPa de cada espécimen

Tipo de mezcla	1	2	3	4	5	6	7	8	Promedio
Suelo virgen	0,191	0,218	0,227	0,203	0,184	0,177	0,203	0,180	0,198
Suelo cemento	0,507	0,654	0,505	0,593	0,551	0,492	0,545	0,514	0,545
ceniza 5%	0,223	0,179	0,096	0,076	0,176	0,161	0,201	0,149	0,158
ceniza 10%	0,143	0,128	0,123	0,108	0,177	0,134	0,162	0,196	0,147
fibra 0,5 %	0,202	0,177	0,158	0,114	0,114	-	-	-	0,153
fibra 1%	0,141	0,207	0,164	0,179	0,138	0,119	0,146	-	0,156

Figura 39. Falla típica



Fuente: Propia.

7.6 RESISTENCIA A LA ABRASIÓN NTC 5147.

Los resultados mostrados en la tabla 10. Para el ensayo de desgaste de adoquines no muestran diferencias muy marcadas entre los bloques fabricados con las diferentes mezclas.

Tabla 10. Longitud de huella en cm de cada espécimen

Tipo de mezcla	1	2	3	Promedio (cm)
Suelo virgen	5,3	5	7	5,77
Suelo cemento	5,2	5	5	5,07
ceniza 5%	5,6	5,9	5,8	5,77
fibra 0,5 %	5	5,5	5,5	5,33

La huella mostrada en la figura 40. Es medida en el eje vertical, es decir la altura. Horizontalmente todas las huellas miden igual, debido a que esta medida corresponde al ancho del disco metálico.

Figura 40. Huella de ensayo de abrasión



Fuente: Propia.

7.7 CAPILARIDAD

Este ensayo se realizó a 3 bloques, el cual es el número mínimo de especímenes exigidos por la NTC 5324 para este tipo de ensayos. Se observa una inmensa diferencia entre los resultados obtenidos por los bloques fabricados con suelo + ceniza 5%, tuvo un excelente desempeño en cuanto a la protección contra el agua como se muestra en la tabla 11. Los bloques de suelo cemento absorben agua pero no se compromete la integridad del bloque.

Tabla 11. Datos obtenidos ensayo de absorción por capilaridad

	Especimen	1	2	3
Suelo cemento	Superficie de contacto (cm2)	39,7	39,9	39,8
	Masa agua absorbida (g)	286	402	410
Suelo + Ceniza 5%	Superficie de contacto (cm2)	40	40,3	40,2
	Masa agua absorbida (g)	20	3	10

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

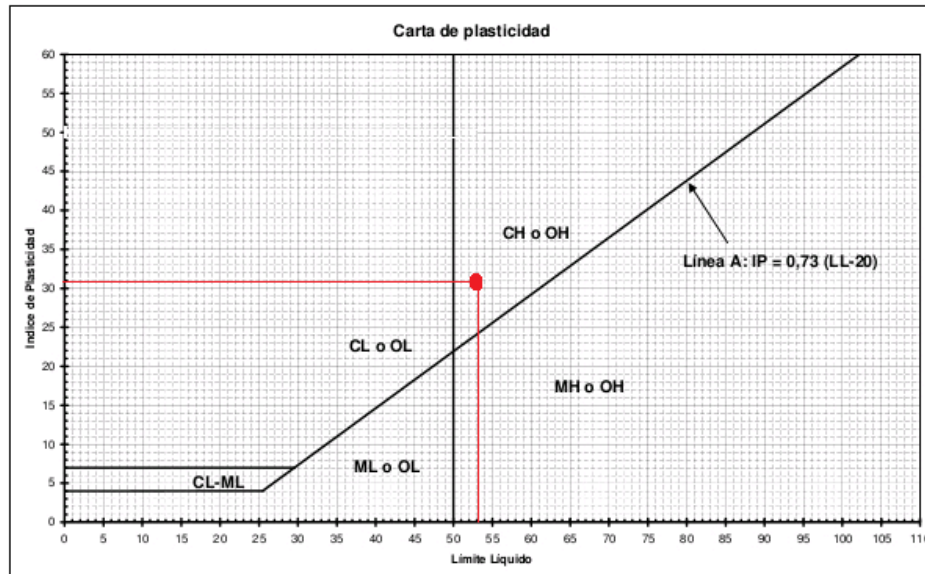
8.1. RESPECTO A LA CARACTERIZACIÓN DEL SUELO Y SU UTILIZACIÓN EN BLOQUES DE TIERRA.

8.1.1. Clasificación SUCS

Según la caracterización realizada y mostrada en los resultados, basándonos en el sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S) se determinó que este es un suelo de tipo CH, Arcilla de alta compresibilidad.

Esto se concluye teniendo en cuenta que el ensayo de granulometría, más de la mitad del material pasa a través del tamiz N° 200 (0,074mm) entrando en la categoría de suelo fino, para el siguiente criterio se utiliza la carta de plasticidad de Casagrande en donde se ubicó un punto como se muestra en la figura 41. Definiendo su ubicación el límite líquido para el eje de las abscisas o eje X, y el índice de plasticidad para el eje de las ordenadas o eje Y.

Figura 41. Carta de plasticidad



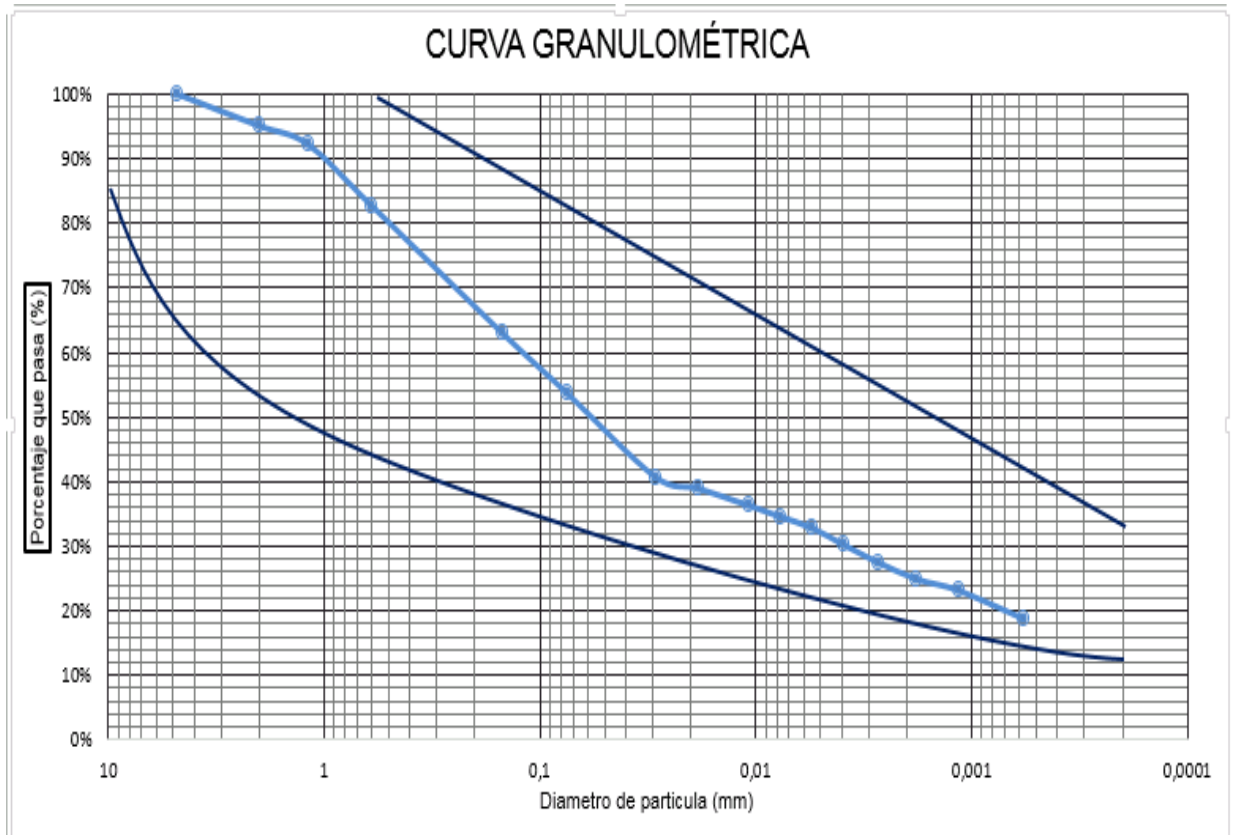
Fuente JUÁREZ BADILLO, Eulalio. RICO RODRÍGUEZ, Alfonso. Mecánica de suelos tomo 1 fundamentos de la mecánica de suelos 3ra edición. México D.F.: Editorial limusa. 1992

8.1.2. Granulometría

La norma técnica colombiana 5324 recomienda que la curva granulométrica se encuentre inscrita en un rango en el diagrama de textura, en donde la mayoría de los casos arroja resultados satisfactorios¹⁹. El rango se encuentra entre las líneas azules en la figura 42. Para el suelo trabajado en el proyecto se observa que si se encuentra inscrito en este rango de valores.

¹⁹ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS NTC 5324 op. cit.

Figura 42. Curva granulométrica del suelo y rangos recomendados



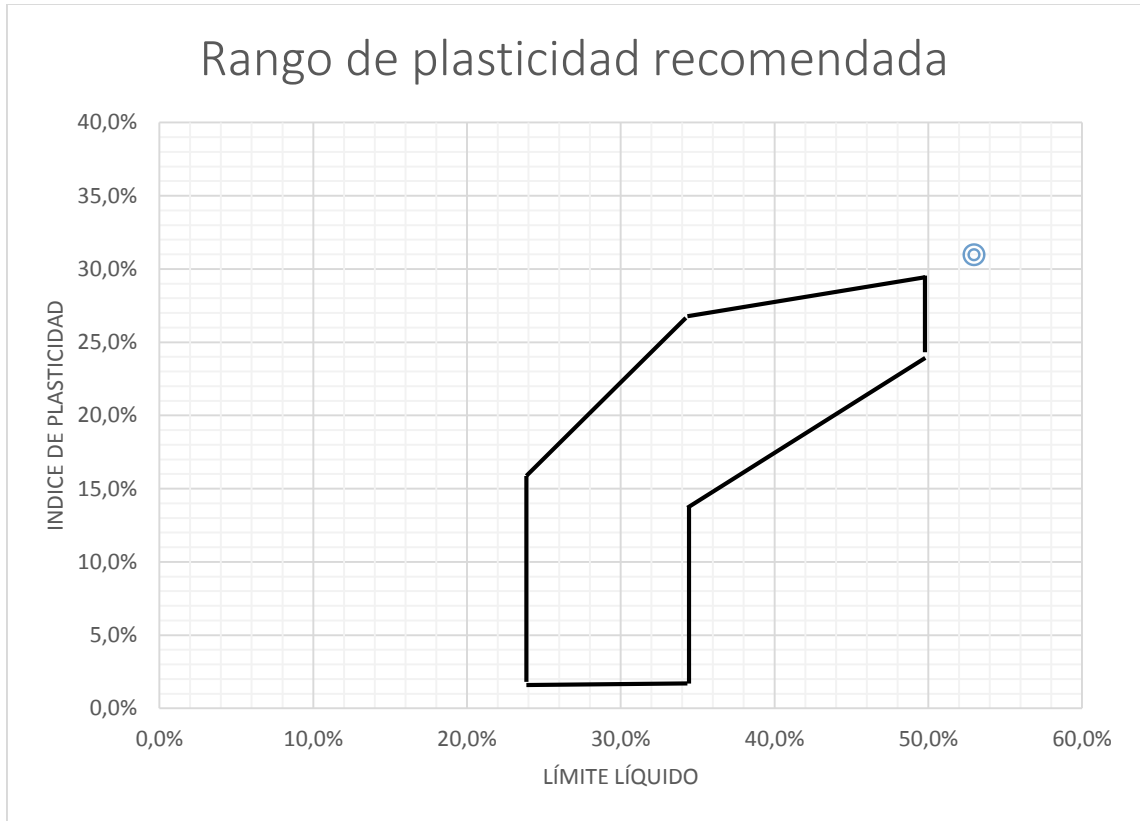
Fuente: Propia.

8.1.3. Plasticidad

Para la plasticidad la NTC 5324 también recomienda un rango de valores en los que en la mayoría de los casos resultan satisfactorios²⁰. (Figura 43)

²⁰ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS NTC 5324 op. cit.

Figura 43. Rango de plasticidad recomendado y plasticidad del suelo virgen



Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS NTC 5324

La plasticidad del material que se trabajó no se encuentra inscrita en el rango de valores recomendado, sin embargo no es una exigencia ya que también se puede obtener buenos resultados.

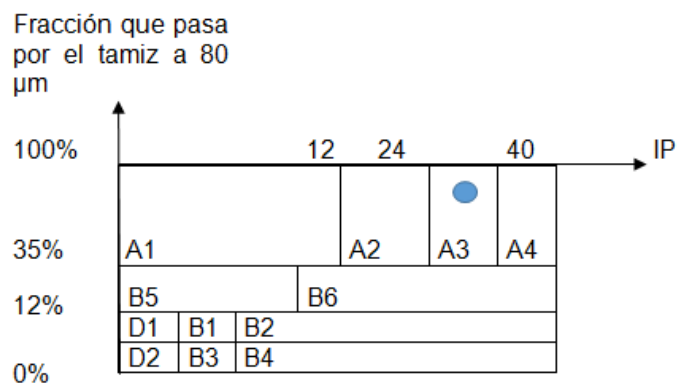
8.1.4 Gravedad específica y pH

El valor del pH se encuentra en un rango normal, y el pH es un valor alto indicando gran cantidad de partículas muy finas. La NTC 5324 no recomienda un rango para la fabricación de los bloques sin embargo según la trabajabilidad en el proceso de preparación, esta cantidad de finos en exceso no es la ideal para la fabricación de los bloques.

8.1.5. Clasificación según naturaleza de los materiales NTC 5324

La Norma Técnica Colombiana 5324, Bloques de suelo cemento para muros y divisiones. Maneja una clasificación del material teniendo en cuenta, la combinación de los valores que arrojan los resultados de granulometría y plasticidad. Según la convención que se tiene la norma este suelo hace parte del grupo A3, “Material aceptable pero con necesidad de atención particular pues es relativamente activo”²¹. La norma no especifica qué tipo de atención se debe tener con el material, sin embargo se realizaron ensayos de gravedad específica y pH para conocer mejor sus características. (Figura 44)

Figura 44 Clasificación del suelo según naturaleza, NTC 5324



Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS NTC 5324

8.2 CON RESPECTO A LA DOSIFICACIÓN.

Los porcentajes mostrados en la tabla 12 son con respecto a la masa del suelo seco por lo que se debe determinar la humedad presente en el suelo. Este paso implica que las medidas no sean 100% exactas y se maneje un cierto margen de error, que puede incidir en los resultados.

²¹ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS NTC 4324 op. cit.

Tabla 12. Dosificación de las mezclas

Tipo de mezcla	Suelo	Estabilizante	Agua
Solo tierra	100%	-	13,9%
Suelo + Cemento	100%	5%	14,2%
Suelo + ceniza	100%	5%	15,7%
Suelo + ceniza	100%	10%	15,3%
Suelo + fibra de vidrio	100%	0,50%	15,1%
Suelo + fibra de vidrio	100%	1%	16,4%

8.3 COMPARACIÓN MECÁNICA DE LOS MAMPUESTOS

Resistencia a la compresión seca

Según la NTC 5324, en el momento de la entrega la resistencia a la compresión deberá ser igual o mayor a las resistencias mostradas en la tabla 13, cuando es medida para la fracción de 0,05, es decir que el 95% de la producción presenta una resistencia por lo menos igual al valor correspondiente en la tabla 13, Además ningún resultado debe ser inferior a 0,8 veces el valor de la resistencia²².

Tabla 13. Resistencia a la compresión mínima

Bloques	BSC 20	BSC 40	BSC 60
Resistencia mínima (Mpa)	2	4	6

Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS NTC 5324

²² INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS NTC 5324 op. cit.

Cabe aclarar que estas resistencias mínimas son para bloques de suelo cemento (BSC), sin embargo se puede ver que la resistencia de los bloques ensayados en este proyecto está por debajo de la resistencia exigida por la norma. Si bien la norma especifica la forma de ensayar los bloques y las resistencias mínimas. En Colombia no hay una regulación para la fabricación de los mismos, Por lo que los resultados pueden verse afectados por otras variables que influyen en el proceso, tales como la fuerza empleada para operar la máquina, la cantidad de tierra utilizada, y la energía de compactación adicional que se le puede ejercer a la tierra presionándola con la mano.

La mezcla de suelo cemento obtuvo la resistencia a la compresión más alta de las diferentes mezclas empleadas en el proyecto, los otros estabilizantes en sus porcentajes no lograron mejorar el comportamiento que tienen los bloques de solo tierra, debido a que las mezclas con fibra de vidrio, la tierra y la fibra no lograron obtener una buena adherencia, desmoronándose fácilmente. Para las mezclas con ceniza, se evidenció una disminución en la cohesión y resistencia. Los resultados de la prueba de carga se muestran en el anexo K. los promedios de los valores de resistencia a la compresión se muestran en la tabla 14.

Tabla 14. Promedio de resistencia al esfuerzo axial de compresión

Resistencia Promedio	Valor promedio(Mpa)
Solo tierra	0,198
Suelo cemento	0,545
Suelo + ceniza 5%	0,158
Suelo + ceniza 10%	0,147
Suelo + fibra 0,5%	0,153
Suelo + fibra 1%	0,156

8.4. ABRASIÓN

A mayor sea la longitud de la huella menor será la resistencia a la abrasión.²³

Debido a que no se contaba con el equipo necesario para realizar la prueba según la NTC 5324, que exige utilizar un cepillo en acero con una carga fija de 3 Kg, 25 mm de ancho, y 135 cm de largo²⁴. Se realizó el ensayo que se practica para los adoquines, la NTC 5147, en el cual si había la disponibilidad de la máquina de abrasión para la prueba y se obtuvo los resultados mostrados en la tabla 15.

Tabla 15. Resultados promedio prueba de desgaste

Longitud de huella promedio	Valor promedio (cm)
Solo tierra	5,77
Suelo + cemento 5%	5,07
Suelo + ceniza 5%	5,77
Suelo + fibra 0,5%	5,33

El mejor comportamiento lo tuvo la mezcla de suelo cemento, este parámetro era predecible ya que las superficies de estos bloques eran más lisas y con mayor uniformidad, teniendo un mejor comportamiento en muros sin pañetar. Figura 45.

²³ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS NTC 5147 Método de ensayo para determinar la resistencia a la abrasión de materiales para pisos y pavimentos, mediante arena y disco metálico. ICONTEC. 2002

²⁴ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS NTC 5324 op. cit.

Figura 45. Huella producida por el ensayo de desgaste



Fuente: Propia.

Para los bloques con fibra de vidrio se evidenció una leve mejoría del 7,6% con respecto a los bloques de solo tierra. Esta fibra es un material sintético con alta dureza, soportando el efecto del desgaste como si fuera una barrera protectora para la tierra.

8.5 CAPILARIDAD

El coeficiente de absorción C_b de agua por capilaridad de los bloques destinados a muros exteriores, debe ser por lo menos igual a los valores de la tabla 16

Tabla 16. Coeficiente de absorción exigidos por la NTC 5324

Bloques débilmente capilares	$C_b < 20$
Bloques poco capilares	$C_b < 40$

Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS NTC 5324

El Coeficiente de absorción Cb definido en la NTC 5324 está expresado por la ecuación²⁵.

$$\frac{(P1-P2)}{A*(t)^{\frac{1}{2}}} *100$$

Siendo:

(P1-P2) la masa absorbida por el bloque en g.

A La superficie de contacto en cm²

t tiempo de ensayo en minutos.

A mayor sea el coeficiente de absorción, mayor cantidad de agua absorbe el bloque, En los resultados mostrados en la tabla 17 dos tipos de mezcla soportaron todo el tiempo de ensayo (10 minutos) y se deshicieron en un alto porcentaje.

Tabla 17. Valores del Coeficiente de absorción

Coeficiente de absorción	Valor Cb
Solo tierra	-
Suelo cemento	314,888
Suelo + ceniza 5%	8,677
Suelo + fibra 0,5%	-

Los bloques de suelo cemento no se destruyeron completamente, sin embargo no cumplen con el requisito mínimo de absorción que se exige en la norma. Comparados con los bloques sin estabilizar obtuvieron una gran mejoría con, ya que conservan su integridad durante los 10 minutos que dura el ensayo. (Figura 46)

²⁵ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS NTC 5324 op. cit.

Figura 46. Fin del ensayo de absorción bloque de suelo + cemento 5% (10 min)



Fuente: Propia.

Se observó una inmensa mejoría en el comportamiento de los bloques con adición de ceniza al 5%, tuvo un efecto impermeabilizante eliminando casi completamente el paso del agua. (Figura 47) Teniendo el mejor comportamiento en casos de intemperismo o lluvias muy fuertes en el lugar de acopio de los materiales que por lo general es en sitios sin techo, recubiertos con plásticos para evitar la acción directa del agua.

Figura 47. Fin del ensayo de absorción, bloque de suelo + ceniza 5% (10 min)



Fuente: Propia.

Los bloques de solo tierra, y de fibra de vidrio no soportaron ni 1 minuto en contacto con el agua cuando empezaron a deshacerse, se continuó con la prueba hasta completar los 10 minutos, y corroborar la destrucción por desmoronamiento de casi la totalidad del bloque (figura 48). Como no se pudo calcular el coeficiente de absorción, se expresa el porcentaje en el que se desmorono el bloque siendo muy alto, demostrando que estos bloques no son aptos para fachadas sin recubrimiento, ni ninguna situación en la que estén en contacto con el agua. (tabla 18)

Tabla 18. Destrucción promedio

Destrucción promedio	Valor %
Solo tierra	52%
Suelo cemento	0%
Suelo + ceniza 5%	0%
Suelo + fibra 0,5%	70%

Figura 48. Destrucción del bloque 0,5% de fibra



Fuente: Propia.

8.6 DESCRIBIR LA COMPOSICIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LA FIBRA DE VIDRIO Y LA CENIZA

8.6.1 Caracterización de la ceniza

Actualmente se está presenta una sobreproducción de esta ceniza proveniente del proceso de desorción térmica de aguas contaminadas y los lodos de explotación petrolera. Este material está causando problemas ambientales al ser depositado en los taludes o almacenado en centros de acopio²⁶.

La clasificación más cercana según la NTC 3493 es clase N, es decir que tiene muy poco valor cementante, esto perjudica la adhesión a las partículas minerales del suelo, y no le aporta cohesión al bloque, los demás resultados se muestran en la tabla 19.

²⁶ SERRANO GUZMÁN María Fernanda, PÉREZ RUIZ Diego Darío, SOLARTE VANEGAS Norma Cristina, TORRADO GÓMEZ Luz Marina y SERRANO GUZMÁN Diego Enrique Aplicación de prefabricados ecológicos: análisis de mercado. Bucaramanga: UPB 2014 [en línea] disponible en: <http://decor.upbbga.edu.co/documents/PREFABRICADOS%20EN%20COLOMBIA%20%20v7%20digital.pdf> [citado el 9 de julio de 2015]

Tabla 19. Valores de la caracterización de la ceniza

Ensayo	Valor	Unidades
Granulometría	-	
Gravedad específica aparente	2,42	g/cm ³
Gravedad específica bulk de la ceniza	1,998	g/cm ³
Absorción	8,7	%

Fuente: SÁNCHEZ OTÁLORA, Sergio. Evaluación de mezclas asfálticas con adición de ceniza como porcentaje del ligante y del llenante. Bucaramanga: Universidad pontificia bolivariana-seccional Bucaramanga. 2014

Tiene una textura parecida a la de una arena, sin embargo se tamizó por el N^o 4 de tal forma se eliminaron partículas mayores a los 4,75 mm el 7,4 %. La gravedad específica es mayor que 1 por lo que al contacto con el agua y no se mezcla homogéneamente con ella.

8.6.2 Caracterización de la fibra de vidrio

Los ensayos realizados a la fibra fueron realizados por “Jushi group” el productor de la fibra de vidrio, esta es una empresa china que exporta su producto a todo el mundo. Junto con el producto es entregada una ficha técnica con los ensayos realizados antes de su distribución, Estos resultados se encuentran dentro de los valores aceptados por las correspondientes normas ISO. Los valores más importantes se encuentran en la tabla 20.

Tabla 20. Resultados ficha técnica

Ensayo realizado	Valor promedio
Clasificación	Tipo E
Masa por unidad de área (g/m ²)	457
Pérdida por ignición (%)	2,68
Contenido de humedad (%)	0,03
Fuerza de rotura a la tracción (N)	415

Fuente Jushi Group. Análisis de requerimientos de la fibra de vidrio 2015

Fibra de vidrio tipo E, son usados donde se requiere una alta resistividad eléctrica, junto con una buena resistencia mecánica, tiene propiedades de aislamiento térmico y ductilidad

Con respecto a la masa por unidad de área es un valor relativamente bajo, esto se evidenció en el momento de la adición, ya que al tener una densidad baja, la adición en masa que se realizaba con respecto al suelo seco de 0,5% y 1%, eran significativas en volumen.

Con respecto a la fuerza de rotura a la tracción se constata que es un valor muy alto teniendo en cuenta el diámetro de la fibra que es aproximadamente 0,1 mm sin embargo es muy difícil de apreciar este diámetro

9. CONCLUSIONES

Con respecto a la caracterización del suelo empleado, fue clasificado como CH, arcilla de alta compresibilidad según la clasificación S.U.C.S. y teniendo en cuenta los límites de Atterberg se concluyó que no es el suelo ideal para la elaboración de unidades de mampostería, debido a su gran cantidad de material fino y a su alta plasticidad. Sin embargo los resultados obtenidos son aceptables para ser utilizados como unidades de mampostería divisoria.

Con respecto a la fabricación de los bloques la fuerza aplicada a la máquina, la cantidad de tierra añadida, influyen en la integridad de los bloques y su comportamiento mecánico. Sin embargo, siempre cada aspecto se mantuvo constante para la fabricación de todos los bloques a base de las diferentes mezclas, de esta forma garantizar la influencia que aporta el estabilizante.

Con respecto al control de humedad se observó que el margen de error es considerable. Debido a que la naturaleza arcillosa del suelo dificulta la homogeneidad de la humedad en toda la mezcla, adicionalmente se va perdiendo agua en el proceso de mezclado, principalmente por la evaporación producto de ser sometida a la temperatura del ambiente.

Con respecto a la dosificación para la preparación de los distintos mampuestos, se observó que para los porcentajes de fibra de vidrio, añadir más del 1% es inmanejable. Ya que la baja densidad hace que un pequeño aumento en el porcentaje de masa, sea un gran aumento en el volumen adicionado. Dificultando procesos en la fabricación como recoger el material con la pala y compactar la mezcla utilizando la máquina, debido a que la fibra de vidrio es un material con un comportamiento muy elástico.

Con respecto a la fibra de vidrio es un material con excelentes características físico-mecánicas, soporta todo tipo de esfuerzos con amplio margen especialmente en el de tracción. Tiene un precio de \$4.000 el Kilogramo, lo cual lo hace muy accesible. Sin embargo debido a la forma en la que le adicionó a los bloques no presentó una buena adherencia al suelo, por lo que en los bloques de tierra estabilizados con fibra de vidrio comparados con la muestra patrón, se concluye que la resistencia al esfuerzo axial de compresión disminuye para los dos porcentajes (0,5% y 1%) en un 20% y 26% respectivamente, la resistencia a la abrasión mejora 8% y la resistencia a la absorción desmejora en un 35% para la mezcla con 0,5%.

Con respecto al comportamiento físico-mecánico de los bloques de tierra estabilizados con cemento comparando con la muestra patrón, se observa que la resistencia al esfuerzo axial de compresión aumenta un 175%, la resistencia a la abrasión mejora en un 12% y la resistencia a la absorción no se puede establecer un porcentaje de mejora, pero si tiene una gran mejoría, ya que conserva su integridad durante todo el ensayo.

Con respecto a la estabilización con ceniza comparados con la muestra patrón, se observa que la resistencia al esfuerzo axial de compresión disminuye para los dos porcentajes (5% y 10%) en un 23% y 21% respectivamente, la resistencia a la abrasión no presenta variación y la resistencia a la absorción para el 5% no se puede establecer relación cuantitativa con la muestra patrón, pero si con la muestra comercial mostrando una mejoría inmensa, producto de la capacidad impermeable que presenta la ceniza.

10. RECOMENDACIONES

Con respecto al suelo empleado se recomienda practicarle una estabilización homogénea, en donde se le adicione arena o grava para mejorar el comportamiento que presentan los bloques al ser sometidos a esfuerzos axiales de compresión.

Evaluar la influencia que tiene en el comportamiento mecánico, un aumento en la tierra utilizada para cada bloque, un incremento en la energía de compactación correspondiente a presionar con la mano la tierra, momentos previos a la compactación con la máquina, y un aumento en la fuerza aplicada en el momento de bajar la palanca de la máquina.

Se recomienda evaluar el comportamiento de bloques de suelo estabilizados con 5% de cemento y 5% de ceniza, para determinar si se logra mantener la gran mejoría en la resistencia a la absorción sin comprometer la resistencia a la compresión.

Cambiar el método de adición de la fibra de vidrio, el más usado en diferentes aplicaciones consiste mezclarlo con una resina y aplicarlo sobre la superficie del bloque como si fuese una pintura. Esta aplicación es muy común para recubrir las defensas de los carros y las superficies en piscinas o jacuzzis en pasta.

Se recomienda calcinar la ceniza para evaluar su adhesión al suelo y observar si aumenta sus propiedades cementantes.

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA REYES, Mónica. BALLESTEROS FUENTES, José. Estudio del comportamiento de los suelos finos después de la adición de fibra de vidrio. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana- Seccional Bucaramanga. 2005

ARTEAGA, Karen. MEDINA, Oscar. GUTIÉRREZ, Óscar. Bloque de tierra comprimido como material constructivo. Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Revista facultad de ingeniería. 2011: dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3914194.pdf [Citado el 10 de Febrero de 2015]

HERNÁNDEZ VARGAS, Néstor. Evaluación mecánica de eco ladrillo elaborados con residuos plásticos. Bucaramanga: Universidad pontificia bolivariana-seccional Bucaramanga. 2014

HIGUERA REYES, Jaime. Arquitectura de tierra: sustentabilidad & cultura. Bucaramanga: Sic Editorial. 2007

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS NTC5324 Norma colombiana para bloques de suelo cemento para muros y divisiones. Definiciones. Especificaciones. Métodos de ensayo. Condiciones de entrega. ICONTEC. 2004

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS NTC 5147 Método de ensayo para determinar la resistencia a la abrasión de materiales para pisos y pavimentos, mediante arena y disco metálico. ICONTEC. 2002

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. () Especificaciones generales para la construcción de carreteras y normas de ensayo para la construcción de carreteras.

INV E 122. INV E 123, INV E125, INV E 126, INV E 128 – 13, INV E 131 – 13, INV E 142 – 13. 2013

JUÁREZ BADILLO, Eulalio. RICO RODRÍGUEZ, Alfonso. Mecánica de suelos tomo 1 fundamentos de la mecánica de suelos 3ra edición. México D.F.: Editorial limusa. 1992

PLASTIQUIMICA fibra de vidrio [en línea] disponible en: <http://www.plastiquimica.cl/pdf/Fibras.pdf> [citado el 9 de julio de 2015]

SÁNCHEZ OTÁLORA, Sergio. Evaluación de mezclas asfálticas con adición de ceniza como porcentaje del ligante y del llenante. Bucaramanga: Universidad pontificia bolivariana-seccional Bucaramanga. 2014

SERRANO GUZMÁN María Fernanda, PÉREZ RUIZ Diego Darío, SOLARTE VANEGAS Norma Cristina, TORRADO GÓMEZ Luz Marina y SERRANO GUZMÁN Diego Enrique Aplicación de prefabricados ecológicos: análisis de mercado. Bucaramanga: UPB 2014 [en línea] disponible en: <http://decor.upbbga.edu.co/documents/PREFABRICADOS%20EN%20COLOMBIA%20%20v7%20digital.pdf> [citado el 9 de julio de 2015]

YEPES, Olga Nallive. BEDOYA, Carlos Mauricio. El bloque de suelo cemento (BSC) al bloque de suelo geo polimerizado (BSG). Medellín: Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. 2012

ANEXOS

Anexo A Ensayo de granulometría del suelo.

Nombre del ensayo	Norma	Realizó
Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos	INV E -123- 13	Carlos Andrés Rueda Velasco

Corrección por humedad higroscópica	
Masa suelo para humedad (g)	15,4
Masa suelo seco (g)	15,2
Humedad (%)	1,32%
Factor de corrección	0,98701299

Corrección compuesta	valor (g/l)
Corrección por ceros, menisco Cm	1
Corrección por temperatura (t= 24°) Ct	1,2
Corrección por densidad del floculante + agua Cd	-5
Total corrección compuesta	-2,8

a, Corrección por gravedad específica del suelo	0,91
---	------

Tamizado de la fracción retenida en el tamiz de 2 mm

No Tamiz	Diámetro (mm)	Masa suelo retenido (gr)	Porcentaje retenido	Porcentaje que pasa	Masa total
4	4,75	0	0%	100%	500
10	2	24,3	4,9%	95,1%	

Tamizado de la fracción ensayada en el hidrómetro.

No Tamiz	Diámetro (mm)	Masa suelo retenido (gr)	Porcentaje retenido	Porcentaje que pasa	Masa total
16	1,18	1,44	2,9%	92,2%	49,35
30	0,6	4,67	9,5%	82,8%	
100	0,149	9,73	19,7%	63,0%	
200	0,075	4,57	9,3%	53,8%	

Ensayo del Hidrómetro

K	Diámetro	Lectura	Lectura corregida	L, Profundidad efectiva (cm)	Tiempo	P, Porcentaje en suspensión (%)
0,01159	0,0290	26	23,2	12,52	2	40,70%
0,01159	0,0184	25	22,2	12,65	5	38,95%
0,01159	0,0108	23,5	20,7	12,92	15	36,31%
0,01159	0,0076	22,5	19,7	13,05	30	34,56%
0,01159	0,0055	21,5	18,7	13,28	60	32,81%
0,01159	0,0039	20	17,2	13,45	120	30,17%
0,01159	0,0027	18,5	15,7	13,78	250	27,54%
0,01159	0,0018	17	14,2	13,95	580	24,91%
0,01159	0,0011	16	13,2	14,15	1440	23,16%
0,01159	0,0006	13,5	10,7	14,55	5940	18,77%

Anexo B Ensayo de límite líquido y límite plástico

Nombre del ensayo	Norma	Realizó
Determinación del límite líquido de los suelos. Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos.	INV E - 125 - 13 INVE E -126- 13	Carlos Andrés Rueda Velasco

Límite líquido				
No. Molde	20	27	58	122
No. De golpes	19	25	29	36
Masa capsula (gr)	21,09	20,66	27,19	21,13
Masa capsula + suelo húmedo (gr)	30,19	28,95	34,62	31,23
Masa capsula y suelo seco (gr)	26,9	26,08	32,12	27,95
Masa del agua	3,29	2,87	2,5	3,28
Masa suelo seco	5,81	5,42	4,93	6,82
Contenido de humedad	56,63%	52,95%	50,71%	48,09%
K	0,967	1,000	1,018	1,045
LLn	54,78%	52,95%	51,63%	50,26%

Límite Plástico				
	2	4	22	24
Masa capsula (gr)	21,25	27,25	27,33	27,13
Masa capsula + suelo húmedo (gr)	22,97	30,37	29,56	29,78
Masa capsula y suelo seco (gr)	22,65	29,8	29,12	29,37
Masa del agua	0,32	0,57	0,44	0,41
Masa suelo seco	1,4	2,55	1,79	2,24
Contenido de humedad	22,86%	22,35%	24,58%	18,30%
Lp	22,02%			

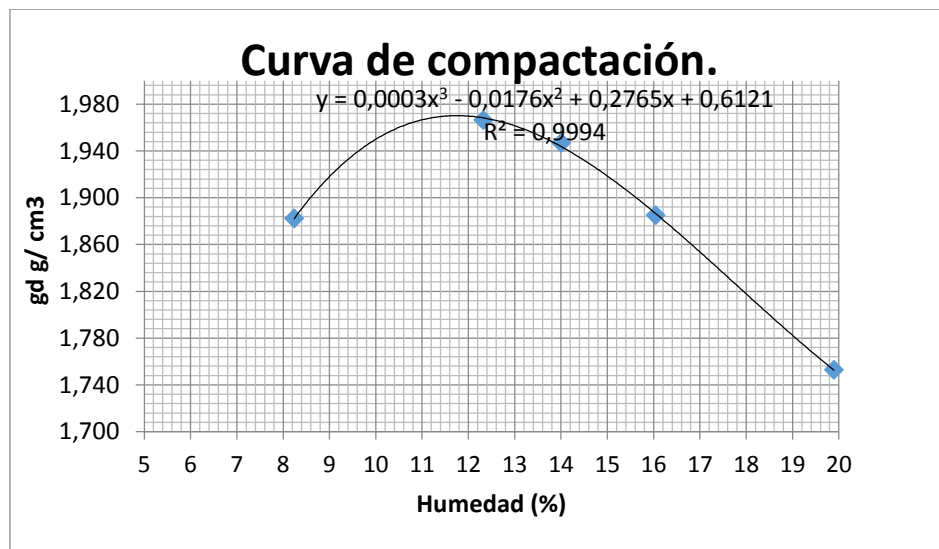
Anexo C Ensayo de relación humedad-peso unitario seco

Nombre del ensayo	Norma	Realizó
Relación humedad – peso específico seco (ensayo modificado de compactación)	INV E – 142 -13	Carlos Andrés Rueda Velasco

DIAMETRO MOLDE	10,103	cm
ALTURA MOLDE	11,633	cm
PESO MOLDE	4100	g
VOLUMEN MOLDE	932,66	cm ³

PROCTOR MODIFICADO					
DETERMINACION	1	2	3	4	
Peso Molde + Suelo húmedo	6050	6160	6140	6070	
Peso Suelo húmedo	1950	2060	2040	1970	
Peso específico Húmedo	2,09	2,21	2,19	2,11	
HUMEDAD					
CAPSULA No.	15	24	4	18	
Peso Capsula+ Suelo Húmedo	107,8	106,42	120,1	129,53	
Peso Capsula+Suelo Seco	99,3	97	108,1	114,4	
Peso Capsula	21,1	20,91	27,2	27	
Peso del Agua	8,5	9,42	12	15,13	
Peso del Suelo Seco	78,2	76,09	80,9	87,4	
Humedad (%)	10,87	12,38	14,83	17,31	
PESO ESPECIFICO SECO					
Peso específico seco	1,89	1,965	1,905	1,80	

w optima	12,70%
γd max	1,968 g/cm ³



Anexo D. Ensayo de gravedad específica

Nº Ensayo 1	Dir. Proyecto María Fernanda Serrano Guzmán	Realizó Carlos Andrés Rueda Velasco
Nombre del ensayo Determinación del gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos	Norma INV-E 128 - 13	Laboratorio de geotecnia y pavimentos Universidad Pontificia Bolivariana

“calibración” masa picnómetro + agua

lecturas	1	2	3	4
Masa picnómetro	154,82	154,85	155,22	154,85
Masa picnómetro promedio	154,935			
temperatura	19,6	25,3	41,5	
Masa picnómetro + agua	653,46	652,67	649,5	

Valores obtenidos

Masa suelo seco al horno	44,9
Masa picnómetro+agua+ suelo (a 27,6 °C)	682,86
Masa picnómetro +agua a (27,6° C)	652,4
Gravedad específica a 27,6°C	3,109
Corrección por temperatura K	0,99814
Gravedad específica a 20°C	3,104

Anexo E. Ficha Técnica fibra de vidrio

JUSHI SROUP (HK) SINOSIA COMPOSITE MATERIALS CO.,LTD.

CENTRAL, HONG KONG,

TEL (852) 25411114 FAX: (852) 2854 0404

TO: QUIMICA COMERCIAL ANDINA S.A.

CALLE 12 N° 68C-03, Zone industrial

Montevideo Bogotá, Colombia

Tel: (571) 4178800

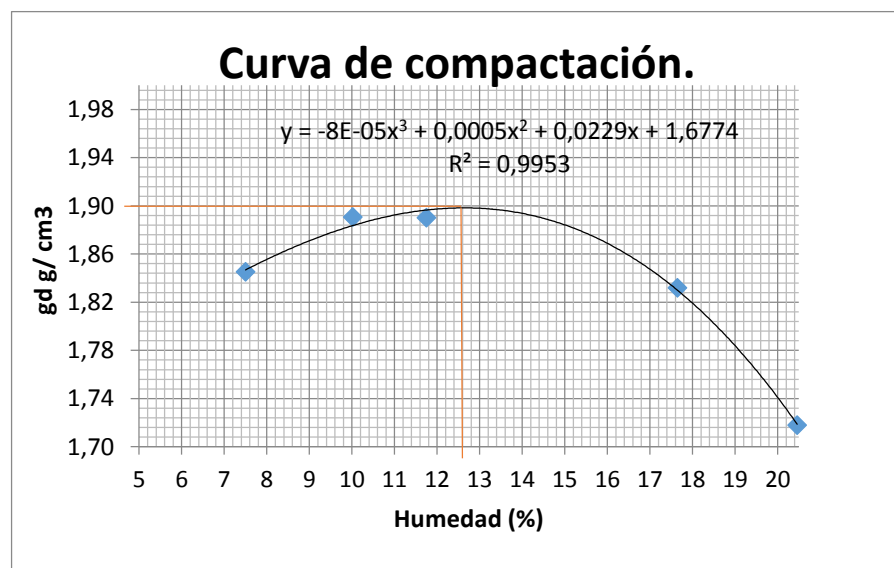
PRODUCT NAME	E-GLASS CHOPPED STRAND MAT, POWDER BONDED 450GM*1524MM		PRODUCTION DATE	2013.07.15
SPECIFICATION AND TYPE	EMC450-1524-P20		TEST DATE	2013.07.15
SAMPLED SPOT	ROVING FORMING WORKSHOP		TOTAL AMOUNT	13,860 Kg
SAMPLED DEPARTMENT	TESTING CENTER			
VARIOUS TESTS CONDUCTED	ACCEPTED STANDARD		TEST DATE	
	STANDARD NO.	STANDARD VALUE	AVERAGE VALUE	PASSED? / YES OR NO
MASS PER UNIT AREA(g/m ²)	ISO 3374-2000	416-484	457	YES
LOSS ON IGNITION (%)	ISO1887-1995	1,73-3,28	2,68	YES
MOISTURE CONTENT (%)	ISO 3344-1977	≤0,20	0,03	YES
TENSILE BREAKING FORCE (N)	ISO 3342-1995	≥120	415	YES
TEST CONDITIONS	TESTING TEMPERATURE	25°C	RELATIVE HUMIDITY	58%
TEST CONCLUSION	CONFORMED TO ALL ABOVE SPECIFICATION PASSED ALL REQUIREMENTS			
TEST CONDUCTED BY	JIN GENXIAN		DATE 2013.07.15	

Anexo F. Relación humedad- Pesos específico seco del Suelo + Cemento 5%

DIAMETRO MOLDE	10,103 cm
ALTURA MOLDE	11,633 cm
PESO MOLDE	4100 g
VOLUMEN MOLDE	932,66 cm ³

PROCTOR MODIFICADO					
DETERMINACION	1	2	3	4	5
Peso Molde + Suelo húmedo	5950	6040	6070	6110	6030
Peso Molde	4100	4100	4100	4100	4100
Peso Suelo Húmedo	1850	1940	1970	2010	1930
Peso específico Húmedo	1,98	2,08	2,11	2,16	2,07
HUMEDAD					
CAPSULA No.	18	26	61	143	122
Peso Capsula+ Suelo Húmedo	75,74	110,3	148,65	131,63	72,43
Peso Capsula+Suelo Seco	71,93	102,15	135,85	115,07	63,03
Peso Capsula	21,14	20,84	26,9	21,21	17,09
Peso del Agua	3,81	8,15	12,8	16,56	9,4
Peso del Suelo Seco	50,79	81,31	108,95	93,86	45,94
Humedad (%)	7,50	10,02	11,75	17,64	20,46
PESO ESPECIFICO SECO					
Peso específico seco	1,85	1,891	1,89	1,83	1,718

w optima	12,60%
γ_d max	1,899 g/cm ³

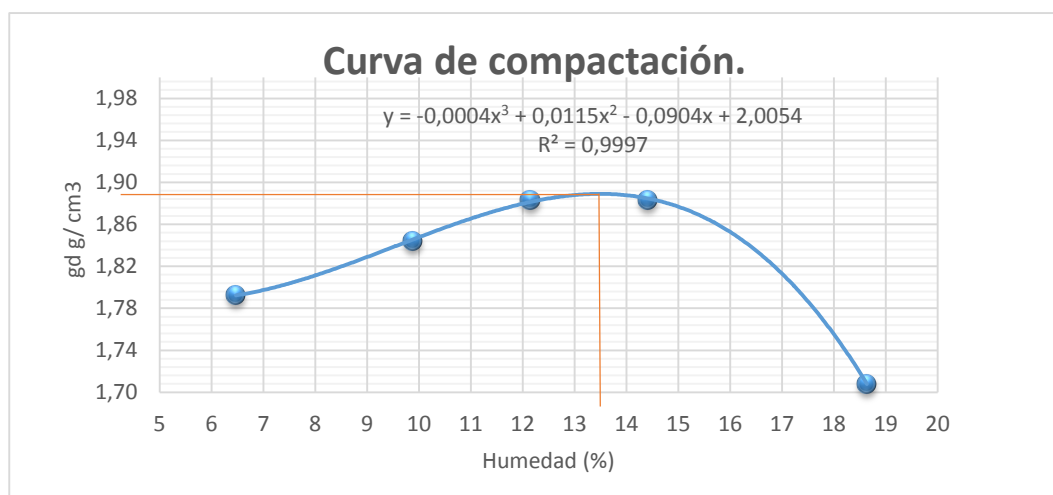


Anexo G Relación humedad- Pesos específico seco del suelo + ceniza 5%

DIAMETRO MOLDE	10,103 cm
ALTURA MOLDE	11,633 cm
PESO MOLDE	4100 g
VOLUMEN MOLDE	932,66 cm ³

PROCTOR MODIFICADO					
DETERMINACION	1	2	3	4	5
Peso Molde + Suelo húmedo	5880	5990	6070	6110	5990
Peso Molde	4100	4100	4100	4100	4100
Peso Suelo Húmedo	1780	1890	1970	2010	1890
Peso específico Húmedo	1,91	2,03	2,11	2,16	2,03
HUMEDAD					
CAPSULA No.	56	18	60	58	122
Peso Capsula+ Suelo Húmedo	100,27	151,1	156,91	125,8	110
Peso Capsula+Suelo Seco	95,8	139,94	142,85	113,37	95
Peso Capsula	26,72	27	27,14	27,2	14,53333
Peso del Agua	4,47	11,16	14,06	12,43	15
Peso del Suelo Seco	69,08	112,94	115,71	86,17	80,46667
Humedad (%)	6,47	9,88	12,15	14,42	18,64
PESO ESPECIFICO SECO					
Peso específico seco	1,79	1,844	1,88	1,88	1,708

w optima	13,50%
γ_d max	1,888 g/cm ³

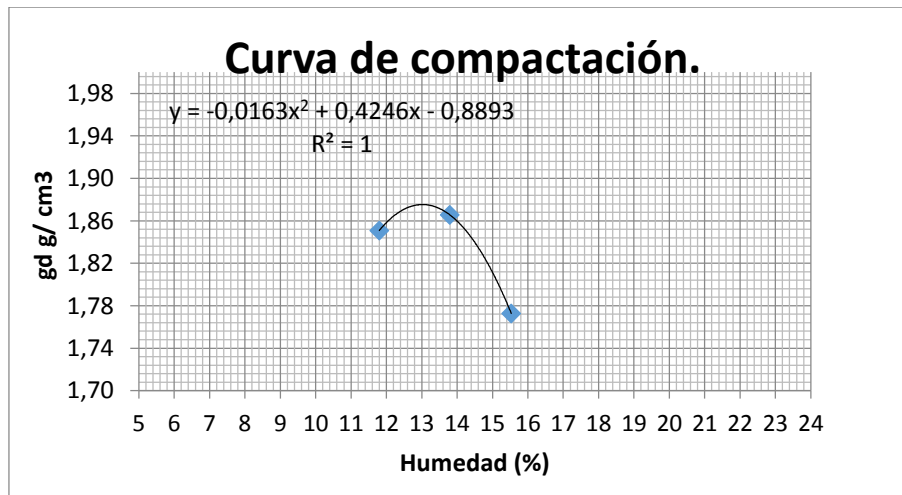


Anexo H Relación humedad – Peso específico seco suelo + ceniza 10%

DIAMETRO MOLDE	10,103 cm
ALTURA MOLDE	11,633 cm
PESO MOLDE	4100 g
VOLUMEN MOLDE	932,66 cm ³

PROCTOR MODIFICADO					
DETERMINACION	1	2	3	4	5
Peso Molde + Suelo húmedo	6030	6080	6010		
Peso Molde	4100	4100	4100		
Peso Suelo Húmedo	1930	1980	1910		
Peso específico Húmedo	2,07	2,12	2,05		
HUMEDAD					
CAPSULA No.	131	122	47		
Peso Capsula+ Suelo Húmedo	114,27	106,42	50,15		
Peso Capsula+Suelo Seco	104,45	96,08	44,88		
Peso Capsula	21,22	21,12	10,95		
Peso del Agua	9,82	10,34	5,27		
Peso del Suelo Seco	83,23	74,96	33,93		
Humedad (%)	11,80	13,79	15,53		
PESO ESPECIFICO SECO					
Peso específico seco	1,85	1,866	1,77	0,00	0,000

w optima	13,00%	γ_d max	1,876 g/cm ³
----------	--------	----------------	-------------------------

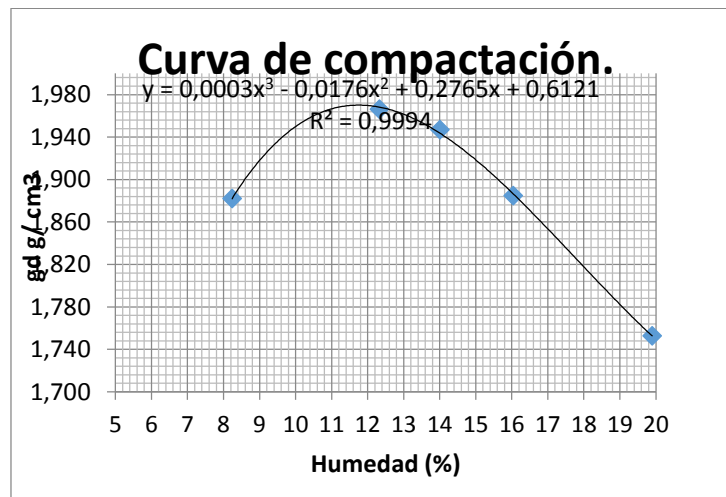


**Anexo I Relación humedad – Peso específico seco suelo + fibra de vidrio
0,5%**

DIAMETRO MOLDE	10,103 cm
ALTURA MOLDE	11,633 cm
PESO MOLDE	4100 g
VOLUMEN MOLDE	932,66 cm ³

PROCTOR MODIFICADO					
DETERMINACION	1	2	3	4	5
Peso Molde + Suelo húmedo	6000	6160	6170	6140	6060
Peso Molde	4100	4100	4100	4100	4100
Peso Suelo Húmedo	1900	2060	2070	2040	1960
Peso específico Húmedo	2,04	2,21	2,22	2,19	2,10
HUMEDAD					
CAPSULA No.	46	12	27	57	91
Peso Capsula+ Suelo Húmedo	67,45	64,73	131,3	66,94	52
Peso Capsula+Suelo Seco	63,13	59,63	117,71	60,52	46,39
Peso Capsula	10,68	18,25	20,66	20,5	18,19
Peso del Agua	4,32	5,1	13,59	6,42	5,61
Peso del Suelo Seco	52,45	41,38	97,05	40,02	28,2
Humedad (%)	8,24	12,32	14,00	16,04	19,89
PESO ESPECIFICO SECO					
Peso específico seco	1,882	1,966	1,947	1,885	1,753

w optima	11,80%	γd max	1,97 g/cm ³
----------	--------	--------	------------------------

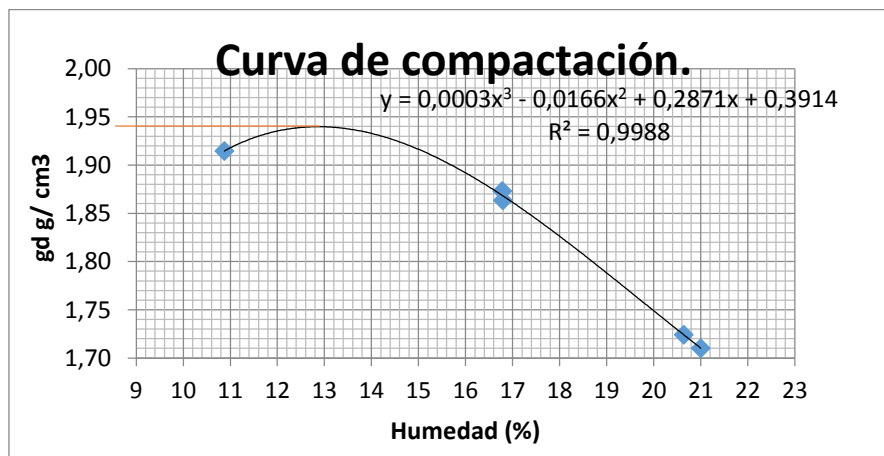


**Anexo J Relación de humedad – Peso específico seco suelo + fibra de vidrio
1%**

DIAMETRO MOLDE	10,103 cm
ALTURA MOLDE	11,633 cm
PESO MOLDE	4100 g
VOLUMEN MOLDE	932,66 cm ³

PROCTOR MODIFICADO					
DETERMINACION	1	2	3	4	5
Peso Molde + Suelo húmedo	6080	6130	6140	6040	6030
Peso Molde	4100	4100	4100	4100	4100
Peso Suelo Húmedo	1980	2030	2040	1940	1930
Peso específico Húmedo	2,12	2,18	2,19	2,08	2,07
HUMEDAD					
CAPSULA No.	136	18	2	36	36
Peso Capsula+ Suelo Húmedo	117,66	84	86,25	91,23	96,43
Peso Capsula+Suelo Seco	108,19	74,96	76,91	79,22	87,49
Peso Capsula	21,1	21,14	21,26	21,03	21,05
Peso del Agua	9,47	9,04	9,34	12,01	8,94
Peso del Suelo Seco	87,09	53,82	55,65	58,19	66,44
Humedad (%)	10,87	16,80	16,78	20,64	21,00
PESO ESPECIFICO SECO					
Peso específico seco	1,91	1,864	1,87	1,72	1,710

w optima	12,90%	γd máx.	1,94 g/cm ³
----------	--------	---------	------------------------



Anexo K. Ensayo de resistencia a la compresión seca.

Nombre del ensayo	Norma	Realizó
Resistencia a la compresión seca	NTC 5324	Carlos Andrés Rueda Velasco

Bloques de suelo virgen								
Espécimen (No)	1	2	3	4	5	6	7	8
ancho efectivo (mm)	14,89	14,89	14,91	14,9	14,89	14,89	14,9	14,89
Largo (mm)	14,8	14,89	14,65	14,5	14,65	14,55	14	14,45
Área sección transversal (mm ²)	220,4	221,7	218,4	216,1	218,1	216,6	208,6	215,2
Carga total (KN)	4,20	4,83	4,95	4,05	4,00	3,82	4,23	3,87
Resistencia (Mpa)	0,191	0,218	0,227	0,203	0,184	0,177	0,203	0,180

Bloques de suelo + cemento 5 %								
Espécimen (No)	1	2	3	4	5	6	7	8
ancho efectivo (mm)	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9
Largo (mm)	14,8	14,2	14,85	14,25	14,35	14,3	14,1	14,5
Área sección transversal (mm ²)	220,5	211,6	221,3	212,3	213,8	213,1	210,1	216,1
Carga total (KN)	11,18	13,83	11,18	12,59	11,77	10,47	11,44	11,09
Resistencia (Mpa)	0,507	0,654	0,505	0,593	0,551	0,492	0,545	0,514

Bloques de suelo + ceniza 5 %								
Espécimen (No)	1	2	3	4	5	6	7	8
ancho efectivo (mm)	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9
Largo (mm)	14,35	15,15	14,4	14,5	14,1	14,2	14,65	14,45
Área sección transversal (mm ²)	213,8	225,7	214,6	216,1	210,1	211,6	218,3	215,3
Carga total (KN)	4,77	4,03	2,06	1,64	3,69	3,41	4,39	3,21
Resistencia (Mpa)	0,223	0,179	0,096	0,076	0,176	0,161	0,201	0,149

Bloques de suelo + ceniza 10%								
Espécimen (No)	1	2	3	4	5	6	7	8
ancho efectivo (mm)	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9
Largo (mm)	14,2	14,7	14,05	14	14,6	14,3	14,6	14,3
Área sección transversal (mm ²)	211,6	219,0	209,3	208,6	217,5	213,1	217,5	213,1
Carga total (KN)	3,03	2,79	2,58	2,25	3,85	2,85	3,53	4,18
Resistencia (Mpa)	0,143	0,128	0,123	0,108	0,177	0,134	0,162	0,196

Bloques de suelo + fibra de vidrio 0,5%					
Espécimen (No)	1	2	3	4	5
ancho efectivo (mm)	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9
Largo (mm)	13,9	13,95	14,4	14,5	14,6
Área sección transversal (mm ²)	207,1	207,9	214,6	216,1	217,5
Carga total (KN)	4,18	3,68	3,38	2,46	2,47
Resistencia (Mpa)	0,202	0,177	0,158	0,114	0,114

Bloques de suelo + fibra de vidrio 1 %							
Espécimen (No)	1	2	3	4	5	6	7
ancho efectivo (mm)	14,91	14,91	14,91	14,91	14,91	14,91	14,91
Largo (mm)	13,35	14,5	14,25	13,9	14,3	13,85	14,25
Área sección transversal (mm ²)	199,0	216,2	212,5	207,2	213,2	206,5	212,5
Carga total (KN)	2,81	4,47	3,49	3,70	2,93	2,46	3,09
Resistencia (Mpa)	0,141	0,207	0,164	0,179	0,138	0,119	0,146