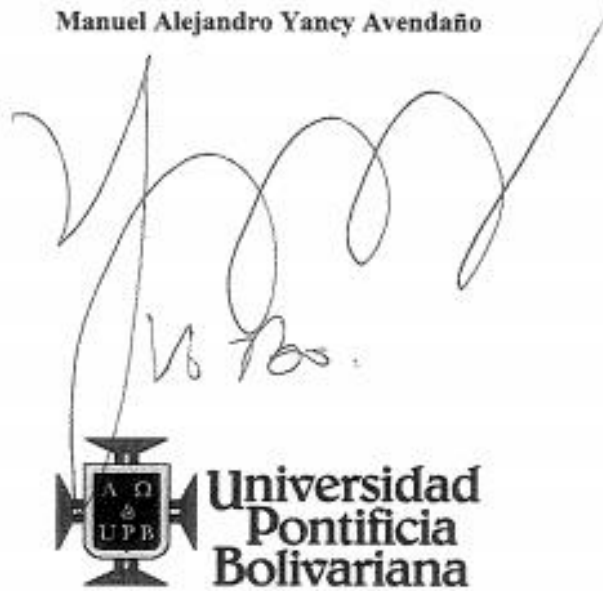


**Comparación de las propiedades mecánicas de bloques de suelo-cemento modificados con
polvo de cerámica**

Álvaro Fernando Medina Ruiz

Manuel Alejandro Yancy Avendaño



Álvaro F. Medina Ruiz



**Universidad
Pontificia
Bolivariana**
SECCIONAL BUCARAMANGA

Universidad Pontificia Bolivariana

Facultad de Ingeniería Civil

2019

**Comparación de las propiedades mecánicas de bloques de suelo-cemento modificados con
polvo de cerámica**

Álvaro Fernando Medina Ruiz

Manuel Alejandro Yancy Avendaño

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Director de Proyecto de Grado

Norma Cristina Solarte



Universidad Pontificia Bolivariana

Facultad de Ingeniería Civil

2019

Nota de Aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma de jurado

Firma de jurado

Bucaramanga, 8 de marzo del 2019

Dedicatoria

A nuestros padres, a su confianza y apoyo incansable que nos ha permitido avanzar en cada paso que hemos dudado, superado y aprendido durante este proceso

Agradecimientos

A la Universidad Pontificia Bolivariana por brindarnos la oportunidad de desarrollar nuestra formación profesional en la institución

Al personal de laboratorios por su apoyo constante

A nuestros padres, piedra angular de cada iniciativa y cada meta lograda

A la ingeniera Norma cristina solarte Vanegas, Directora del proyecto de grado.

Tabla de Contenido

	pág.
Introducción	Error! Bookmark not defined.
1. Descripción del Problema	16
1.1 Objetivos	17
1.1.1 Objetivo General	17
1.2 Justificación	17
2. Marco Teórico	19
2.1 Características físico-mecánicas de los materiales	19
2.1.1 Características Mecánicas de los materiales	22
2.2 Materiales cementantes	25
2.3 Materiales Cerámicos	25
2.4 Propiedades de los suelos	27
2.4.1 Propiedades físicas de los suelos	27
2.4.2 Clasificación y descripción de los suelos utilizados en la Ingeniería Civil	Error!
Bookmark not defined.	
2.4.3 Tierra comprimida como material de uso en la Construcción	29
2.5 Marco Legal	30
2.6 Normatividad	31

COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE BLOQUES DE SUELO-CEMENTO...	7
2.7 Impacto ambiental	32
3. Antecedentes Investigativos	35
4. Metodología	38
4.1 Selección y caracterización del suelo	38
4.1.1 Granulometría	39
4.1.2 Determinación de límite líquido	41
4.1.3 Limite plástico	45
4.1.4 Proctor modificado	46
4.2 Caracterización de la cerámica	48
4.3 Caracterización del cemento	48
4.3.1 Bloques suelo-cemento	50
4.3.2 Bloques suelo-cerámica	52
4.3.3 Compresión Seca	57
4.3.4 Capilaridad	61
5. Resultados	63
5.1 Granulometría	63
5.2 Limites de Atterberg	63
5.3 Compresión Seca	65
5.3.1 Bloques suelo-cemento	66
5.3.2 Bloques suelo-cerámica	66

COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE BLOQUES DE SUELO-CEMENTO...	8
6. Análisis de Resultados	74
6.1 Respecto a la clasificación según S.U.C.S.	74
6.2 Naturaleza del material	75
6.3 Plasticidad	76
6.4 Capilaridad	77
6.5 Comparación mecánica de los bloques de los mampuestos	78
7. Observaciones y Recomendaciones	82
8. Conclusiones	83
Referencias	86
Anexos	89

Lista de Figuras

	pág.
<i>Figura 1.</i> Elemento Sometido a Tensión.....	24
<i>Figura 2.</i> Lugar donde se sustrajo el material	38
<i>Figura 3.</i> Forma en la que se sustrajo el material.....	39
<i>Figura 4.</i> Lavado	40
<i>Figura 5.</i> Muestra seca.....	40
<i>Figura 6.</i> Tamizado de la muestra	41
<i>Figura 7.</i> Cernido del material por tamiz No 40.	42
<i>Figura 8.</i> Mezcla con espátula.....	43
<i>Figura 9.</i> Ranura limpia de la muestra.....	44
<i>Figura 10.</i> Ensayo limite plástico	45
<i>Figura 11.</i> Cápsulas las muestras secas del límite líquido y plástico	46
<i>Figura 12.</i> Proctor modificado	47
<i>Figura 13.</i> Cernido del material por el tamiz No. 4.....	50
<i>Figura 14.</i> Homogeneidad en la mezcla	51
<i>Figura 15.</i> Obtención de los bloques	51
<i>Figura 16.</i> Homogeneidad en la mezcla	52
<i>Figura 17.</i> Bloques suelo-cerámica	53
<i>Figura 18.</i> Material dentro de la máquina de los angeles.	54
<i>Figura 19.</i> Procedimiento para la elaboración de bloques de suelo-cerámica	55
<i>Figura 20.</i> Homogeneidad en la mezcla.	56

<i>Figura 21.</i> Bloques de suelo-cerámica.....	57
<i>Figura 22.</i> Terminado de bloques de cerámica	58
<i>Figura 23.</i> Corte de los bloques.....	59
<i>Figura 24.</i> Orientación del Mortero en cada bloque.....	59
<i>Figura 25.</i> Unión de mitades	60
<i>Figura 26.</i> Prueba de compresión a espécimen	61
<i>Figura 27.</i> Bloques en el horno	62
<i>Figura 28.</i> Capilaridad	62
<i>Figura 29.</i> Límite líquido	64
<i>Figura 30.</i> Curva de Proctor modificado	65
<i>Figura 31.</i> Prueba de Compresión del Bloque suelo-cemento	66
<i>Figura 32.</i> Prueba de Compresión del Bloque suelo-cerámica	67
<i>Figura 33.</i> Esfuerzo de Rotura Promedio (Mpa)	68
<i>Figura 34.</i> Esfuerzo de Rotura Promedio (Mpa)	69
<i>Figura 35.</i> Esfuerzo de Rotura Promedio (Mpa)	70
<i>Figura 36.</i> Esfuerzo de Rotura Promedio (Mpa)	71
<i>Figura 37.</i> Esfuerzo de Rotura Promedio (Mpa)	72
<i>Figura 38.</i> Esfuerzo de Rotura Promedio (Mpa)	73
<i>Figura 39.</i> Resultados... ..	74
<i>Figura 40.</i> Carta de plasticidad de Casagrande	75
<i>Figura 41.</i> Clasificación del material.....	75
<i>Figura 42.</i> Diagrama de plasticidad.....	76
<i>Figura 43.</i> Esfuerzo de rotura promedio (Mpa)	79

Figura 44. Esfuerzo de rotura promedio (Mpa)81

Lista de Tablas

	pág.
Tabla 1. <i>Descripción técnica del material</i>	49
Tabla 2. <i>Parámetros físicos del cemento</i>	49
Tabla 3. <i>Curva granulométrica</i>	63
Tabla 4. <i>Valores de los límites de Atterberg</i>	64
Tabla 5. <i>Prueba de compactación. (Proctor modificado) Según norma INV E 141-13</i>	64
Tabla 6. <i>Valores de la resistencia a la compresión seca en Mpa, 5% de cemento</i>	68
Tabla 7. <i>Valores de la resistencia a la compresión seca en Mpa, 8% de cemento</i>	69
Tabla 8. <i>Valores de la resistencia a la compresión seca en Mpa, 12% de cemento</i>	70
Tabla 9. <i>Valores de la resistencia a la compresión seca en Mpa, 5% de cerámica</i>	71
Tabla 10. <i>Valores de la resistencia a la compresión seca en Mpa, 8% de cerámica</i>	72
Tabla 11. <i>Valores de la resistencia a la compresión seca en Mpa, 12% de cerámica</i>	72
Tabla 12. <i>Cálculo de capilaridad suelo-cemento</i>	77
Tabla 13. <i>Cálculo de capilaridad suelo-cerámica</i>	77
Tabla 14. <i>Valor Cb suelo-cemento</i>	78
Tabla 15. <i>Valor Cb suelo-cerámica</i>	78
Tabla 16. <i>BSCemento 8%</i>	79
Tabla 17. <i>BSCerámica 8%</i>	79
Tabla 18. <i>Comparacion BSCemento y BSCerámica de 8%</i>	79
Tabla 19. <i>Comparación de resistencia mínima de los bloques</i>	80

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE BLOQUES DE SUELO-CEMENTO MODIFICADOS CON POLVO DE CERÁMICA

AUTOR(ES): Álvaro Fernando Medina Ruiz.
Manuel Alejandro Yancy Avendaño.

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): Norma Cristina Solarte Vanegas

RESUMEN

En el presente proyecto de grado se evaluaron las propiedades físico-mecánicas de los bloques de suelo comprimido, estabilizados con cemento y cerámica, partiendo desde la caracterización de los materiales que componen los bloques, mediante los ensayos recomendados en la norma técnica colombiana NTC 5324. Los bloques se fabricaron en el laboratorio de construcciones de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga con la utilización de la prensa manual CINVA-RAM. seguido de los ensayos de compresión seca después de un tiempo de 7,14 y 28 días, además el ensayo de capilaridad; se evidencio que los bloques estabilizados con cerámica, a largo plazo presentaban pocas mejoras en la resistencia a compresión seca con respecto a los obtenidos en los bloques de suelo cemento, rescatando que los bloques de suelo cerámica en el porcentaje del 5% presentaron baja capilaridad a diferencia de los demás porcentajes tanto de cerámica como de cemento en donde hubo una absorción de agua mayor, así mismo el porcentaje del 8% de cerámica ensayado a los 7 días de su fabricación fue el que mejor se comportó en la prueba de compresión seca

PALABRAS CLAVE:

Bloque de suelo comprimido, Cerámica, Cemento, Compresión seca, Capilaridad

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: COMPARISON OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF SOIL-CEMENT BLOCKS MODIFIED WITH CERAMIC POWDER

AUTHOR(S): Álvaro Fernando Medina Ruiz.
Manuel Alejandro Yancy Avendaño.

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: Norma Cristina Solarte Vanegas

ABSTRACT

In the present project of degree they evaluated the physico-mechanical properties of the blocks of compressed soil, stabilized with cement and ceramics, starting from the characterization of the materials that make up the blocks, through the tests recommended in the Colombian technical norm NTC 5324. The blocks were manufactured in the construction laboratory of the Universidad Pontificia Bolivariana Bucaramanga section with the use of the manual press CINVARAM. followed by dry compression tests after a time of 7.14 and 28 days, in addition to the capillarity test; it was evidenced that the blocks stabilized with ceramics, in the long term presented few improvements in the resistance to dry compression with respect to those obtained in the blocks of cement floor, recovering that the blocks of ceramic floor in the percentage of 5% presented low capillarity to Unlike the other percentages of both ceramics and cement where there was a greater absorption of water, likewise the percentage of 8% of ceramic tested 7 days after its manufacture was the one that behaved better in the dry compression test.

KEYWORDS:

Block of compressed soil, Ceramic, Cement, Dry compression, Capillarity

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

Introducción.

En el presente proyecto de grado, se describen los diferentes conceptos sobre las propiedades físico-mecánicas de los bloques de suelo comprimido estabilizados con el cemento y cerámica; también se presentan los resultados encontrados en el desarrollo de los diferentes objetivos específicos.

Sin dudas la tierra es el material de construcción más antiguo de los utilizados por el hombre en su desarrollo histórico. Paradójicamente, ha llegado hasta el presente constituyendo prácticamente la única solución para que una parte específica de la humanidad pueda disponer de unas condiciones mínimas de alta seguridad.

Se requiere de la atención de reconocidas instituciones técnicas y científicas en diferentes partes del planeta, estas instituciones han emprendido el estudio riguroso y sistemático de la tierra, en las diferentes técnicas constructivas que la emplean, para superar sus raíces empíricas, dominar científicamente todos los aspectos del tema y conducir su aplicación práctica por las vías más racionales, económicas y seguras.

En el primer objetivo específico se van a encontrar variables, resultados comparativos, para las recomendaciones de sus diferentes usos, el desarrollo de una base material y tecnología para la producción industrializada de materiales y componentes con toda una técnica complementaria de transportación, montaje y acabados, hacen de un desarrollo significativo en el campo de la construcción.

En el segundo objetivo específico se encuentran los diferentes documentos de investigación y apoyo de resultados como consecuencia de avances de la técnica cada vez más amplia y confortable de los proyectos urbanísticos de las principales ciudades del país.

1. Descripción del Problema

Desde los primeros asentamientos humanos que datan desde hace más de 10.000 años, todas las personas han estado sujetas a emplear la tierra – soporte para el sustento de sus vidas, levantar viviendas y crear ciudades; dichas ciudades no solo están constituidas de viviendas, sino también de parques, iglesias, palacios, de los cuales aquellos que sobreviven hoy son declarados patrimonios culturales, debido a la época en las que fueron construidos.

Existen reportes significativos de la ONU, afirmando que hasta un tercio de la población posee edificaciones de tierra; sin embargo, en la actualidad no solo se ven casas, si no el avance de las ciudades ha consolidado las construcciones verticales, con grandes rascacielos, y demás edificaciones de ámbito común en la sociedad como escuelas, hospitales etc. Siendo así que la construcción en tierra es considerado un amplio campo de desarrollo, Siendo una posible solución a la hora de la construcción de viviendas de interés social, Por lo que es una tentativa razonable actualizar y perfeccionar los procesos de construcción por mejorar en esta práctica y tipo de construcción con tierra (Yepes, O. & Bedoya, C. 2012). (O & C, 2015)

Con el crecimiento de las grandes ciudades y la necesidad de una vivienda digna que permitan a las personas cumplir con todas las necesidades, las viviendas se convierten en un bien necesario, donde hace unos años han generado un crecimiento considerable de la población, el número de habitantes ha aumentado, por consiguiente los proyectos de edificaciones que aún se están ejecutando seguirá creciendo, haciendo notoria la necesidad de implementar materiales reciclables y aquellos que generan un impacto menor negativo en el medio ambiente. (Toharia, 2015)

Hace algunos años era común ver como los alcaldes invertían en la construcción de zonas verdes o campos deportivos en las comunidades o en el mejoramiento de los mismos, pero con el auge de la construcción vertical se ha hecho evidente la falta de interés hacia los espacios públicos.

Por diversas razones en Colombia es difícil acceder a una vivienda digna, por lo tanto, se debe plantear nuevas alternativas en el uso de suelos y materiales para la construcción; por consiguiente, con el presente proyecto. (Yepes & Bedoya, 2012)

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General. Comparar las características mecánicas de los bloques de suelo-cemento con los bloques modificados con polvo de cerámica.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Evaluar los resultados comparativos obtenidos y establecer recomendaciones de uso.
- Documentar los hallazgos encontrados en el desarrollo de la presente investigación, para que sirvan de apoyo a todas las futuras investigaciones relacionadas con el uso polvo de cerámica.

1.2 Justificación

Ante la inminente necesidad de búsqueda para materiales de todo tipo de usos en la construcción

, nace la necesidad de encontrar soluciones acordes a los tiempos actuales, donde la aparición de nuevas técnicas y materiales juega un papel fundamental a la hora de brindar más

eslabones dentro del espectro de materiales que se encuentran a disposición (Medina y otros, 2011).

Es por ello, que la propuesta del presente trabajo trae como eje fundamental un material fácil de conseguir, con pocos requerimientos técnicos para su aprovechamiento y totalmente amigable con el ambiente, pues es un hecho que todas las investigaciones concernientes al mantenimiento del ecosistema en materia de construcción son bien vistas en todos los niveles de la sociedad.

A pesar de que los bloques de suelo-cemento poseen grandes ventajas y son tenidos en cuenta para muchos tipos de obras, su gran debilidad se basa en su poca resistencia mecánica, una característica poco deseada en los elementos de mampostería, y es precisamente que inspirados en esta debilidad y atendiendo a la necesidad de dar solución a este inconveniente, se busca mejorar las propiedades mecánicas de los bloques de suelo-cemento modificándolos con polvo de cerámica.

2. Marco Teórico

2.1 Características físico-mecánicas de los materiales

La importancia de la construcción radica en el empleo que genera y en su demanda por insumos, que exhibe una característica de gran trascendencia como es su escasa demanda por insumos importados (CAMACOL, 2012). En Colombia, el sector de la construcción es un importante dinamizador de la economía. La participación en el PIB colombiano es cercana del 7%. La producción del sector construcción tiene tendencia creciente por su desempeño en la última década, que en promedio ha estado por encima de los niveles de crecimiento del PIB. Para el último año, el ICCV ha estado por encima del IPC, es decir, que la industria construcción enfrenta un reto en mantener precios de mercados competitivos.

La cadena de valor comienza desde los servicios asociados a los proveedores de insumos, considerando el primer eslabón la explotación y extracción de minerales destinados a sectores de cementos, concretos y la industria maderera. En cuanto a transformación, las actividades se relacionan con fabricación de tuberías, perfiles, resinas, servicios de transporte de materiales, estudios técnicos y consultoría. Así mismo, la transformación y elaboración de materiales para el sector como sanitarios, ladrillo, carpintería y vidrios. Finalmente, los productos obtenidos, entre otros, están vías, viviendas, edificaciones y bodegas. (Migración Colombia, 2015)

La industria de la construcción se ha convertido en un sector líder de la actividad económica del país por su efecto multiplicador. Además, porque la culminación exitosa de proyectos de infraestructura hace que el país sea competitivo incidiendo en la minimización de costos de los empresarios y activando el turismo interregional. (Morales, 2015)

Existen 3.162 empresas que tienen como actividad económica la adecuación y/o construcción de obras civiles y residenciales (Supersociedades, 2011). En promedio tienen 14 mil 882 millones de pesos en activos y 9 mil 600 millones de pesos en ventas. Para la industria el promedio ROE es de 6,52%.

La determinación de la demanda en construcción está determinada por agentes agrupados en los sectores público y privado (CAMACOL, 2012). Del primero, el gobierno nacional y los entes territoriales demandan generalmente construcciones civiles como colegios y parques y grandes proyectos de infraestructura, como vías y presas, además de construcciones residenciales como casas de interés social. Del sector privado, las familias y las empresas demandan proyectos de inversión para la construcción de capital físico en plantas y bodegas, y viviendas.

Tomando los diferentes campos de la construcción, o casos específicos de los sitios, que, por causas de tiempos derrumbe o riesgo, deben ser demolidas; cuando se realizan estas demoliciones, se producen escombros generando una problemática para las poblaciones organizadas obligando a destinar terrenos para el descarte de los residuos conllevando el costo que la manipulación requiere, como también el alto costo que implica su manejo. Las leyes de la naturaleza y el hombre han tomado la decisión de reciclar, por lo que los desechos generados por el campo relacionado con la construcción, son considerados de gran importancia. (Poon et al., 2002). Estudios desarrollados en Hong Kong certifican que un 55% de la generación de los desechos producidos por esta rama de estudio esta constituidos por concreto reforzado y sin reforzar (Poon et al., 2001), un estado sumamente preocupante por los niveles que ocasiona de contaminación y alteración.

Según Carvalho M., Ramos F. & Zegarra J. (2015), actualmente no existe la suficiente materia prima para satisfacer las necesidades de todas las obras civiles en el mundo, por lo que el uso de elementos ambientalmente productivos, hacen contrapeso a favor del uso de la tierra como

construcción. La fabricación de bloques, atribuye un menor uso de la fuerza de moldura por ser hecho con prensado y en la utilización de agregados por su mínima utilización de cemento. Ya que en comparación a la fabricación de los bloques convencionales, debido a la supresión del proceso de la quema. Además, proporcionan una mayor permeabilidad cuando utilizados como camada de revestimiento en pavimento, cuando comparados con los revestimientos asfálticos y de concreto (Grande, 2003; Souza et al., 2008).

Yepes y Bedoya (2012) definen el cemento Como una mezcla de cal con arcilla cocida en hornos y pulverizada. Además de clasificar el cemento, según detalles relevantes como la composición físico química, el fraguado en la aplicación los nuevos cementantes ambientales proponen soluciones más significativas en la producción constructiva de los bloques.

Toirac (2008) manifiesta que “el suelo-cemento es un producto resultante de la mezcla de suelo, cemento Portland y agua que, compactados en un porcentaje óptimo de humedad, bajo la máxima densidad, adquieren resistencia y durabilidad a través de las reacciones de hidratación del cemento”.

Como objeto de estudio del presente proyecto se plantea realizar una comparación de propiedades mecánicas de bloques de suelo de cemento con bloques de uso modificados con polvo de cerámica, por lo que es de vital importancia el estudio de las propiedades de los materiales de la cual está constituida y sobre todo la importancia de la materia prima.

La mezcla para el BSC lleva en su composición (limo por granos finos amarillentos compuesto de un 70 a 80% de arena, 20 a 30% de limo, 5 a 10% de arcilla), agregado de cemento entre un 6% y un 12% total (Bedoya, 2007).

Se logra la estabilización del bloque, por medio de un proceso de compactación con Cinva-Ram, que mediante la compactación incrementa la densidad del material reduciendo porosidad y

permeabilidad, mejorando el comportamiento y la respuesta mecánica. Luego de almacenado se moja dos o más veces por día (según la temperatura ambiente) con una lluvia fina ya que por contener vestigios de cemento exige el debido curado. La NTC 5324 exige una resistencia a la compresión entre 2 y 6 MPa y la NTC 4017 regula los procedimientos para su muestreo y ensayos.

2.1.1 Características Mecánicas de los materiales. Permitiendo la objetiva diferencia para separar entre materiales y su reconocimiento, usadas estas propiedades para la efectiva utilización según gustos y afines las exigencias presentadas en la construcción (Triana, K. 2013)

Propiedad mecánicas son aquellas en que el estado permite esta ofrese oposición a la deformación (Revista Digital, 2011)

- Rigidez: Capacidad de oponerse a las deformaciones
- Resistencia: Capacidad de oponerse a la rotura
- Ductilidad: Capacidad de deformarse antes de romperse.

La ingeniería siendo una ciencia que presenta un rango de incertidumbre relativo exige la utilización de cálculos para la definición más aproximada de la cargas a efectuar, Obligando al ingeniero a prever y mayorar cargas buscando evitar las sorpresa en fallas garanticen con una alta probabilidad que no se producirán fallas. Estas previsiones se denominan factores de seguridad. (Salazar, JE. 2007). Las incertidumbres que se presentan se deben a los siguientes factores:

- Incertidumbre en las cargas a considerar: A pesar de todos los estudios estadísticos que se hagan para determinar las cargas máximas que actuarán sobre una estructura durante su vida útil, nunca será posible hacerlo con total exactitud. (Salazar, JE. 2007).

- Incertidumbre en las propiedades mecánicas de los materiales: Se calculan a partir de análisis estadísticos de los resultados de ensayos practicados a muestras de los materiales que se emplearán en la construcción de estructuras. Es obvio que los propios materiales con los cuales se construyen las estructuras no se ensayan para cada construcción. Por lo tanto, en este caso también se tienen aproximaciones derivadas de los métodos estadísticos empleados y de los procedimientos de los ensayos de laboratorio utilizados. (Salazar, JE. 2007).

- Incertidumbre en la precisión de los cálculos: En los métodos de cálculo de estructura se hacen suposiciones que simplifiquen el análisis y disminuyan los tiempos del análisis. Esto obviamente tiene un costo en el sentido de que los modelos matemáticos empleados no siempre representan de manera exacta la manera como se comportará la estructura en la realidad. (Salazar, JE. 2007).

La resistencia mecánica de un material es su capacidad de resistir fuerzas o esfuerzos. Esfuerzos admisibles: Se calcula dividiendo el esfuerzo que resiste el material por el factor de seguridad (mayor que 1), de tal manera que, aunque uno "sabe" que el material tiene una resistencia dada lo "pone a trabajar" a un esfuerzo menor (el esfuerzo admisible). (Salazar, JE. 2007)

Sin embargo, en las situaciones más generales en las estructuras los miembros quedan sometidos simultáneamente a fuerzas axiales y transversales debidas tanto a la forma de aplicación de las cargas como a la manera como se construyen dichas estructuras

Los dos esfuerzos básicos son:

Esfuerzo por tensión. Tal como se observa en la figura 1 el esfuerzo de tensión es la fuerza por unidad de área F / A , cuya deformación es el estiramiento por unidad de longitud; es un número puro y sin unidades. Como por ejemplo se tiene un objeto que inicialmente tiene un área de sección transversal uniforme A y una longitud L_0 . (Medina, H., 2009)

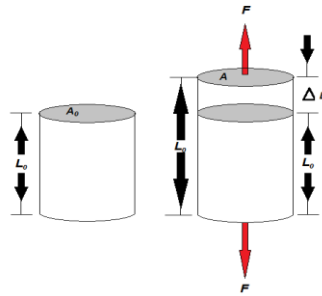


Figura 1. Elemento Sometido a Tensión

Fuente.

Esfuerzo por compresión. En muchas situaciones, los cuerpos experimentan esfuerzos de tensión y compresión al mismo tiempo. Ej.: una viga horizontal apoyada en sus extremos se pandea por su propio peso. La parte superior de la viga está en compresión y la inferior en tensión. Si las fuerzas en los extremos de una barra empujan en lugar de tirar, la barra está en compresión y el esfuerzo es un esfuerzo de compresión. Se define del mismo modo que la deformación por tensión, pero, L tiene la dirección opuesta. (Cecyte, Z)

2.2 Materiales cementantes

De acuerdo a la NCh 148 of.68, se clasifica según su composición y resistencia como cemento Portland siderúrgico, se clasifica como Slag Modified Portland Cement. Según la Norma BS EN 197-1:2000, notación II/A-S. grado alta resistencia. El material cementicio utilizado corresponde a un cemento de alta resistencia inicial elaborado sobre la base de clinker, escoria básica granulada de alto horno y yeso. Según la norma ASTM C-595 (USA),

2.3 Materiales Cerámicos

Todos ellos se adquieren cuando horneamos los diferentes materiales naturales, tales como la arcilla o el caolín, Los materiales solidos no metálicos generados y cocido en un horno en ocasiones continuas durante el tratamiento térmico. Además una serie de aditivos, como desengrasantes, colorantes, entre otros., todo ello mezclado. (Pereyra, M., s.f.), se distinguen dos grandes grupos de materiales cerámicos: las cerámicas gruesas y las cerámicas finas. y que dependiendo de la naturaleza y tratamiento de las materias primas y del proceso de cocción, (Materiales cerámicos, 2010)

Su fractura (al romperse) es terrosa, siendo totalmente permeables a los gases, líquidos y grasas. A continuación, tenemos los más importantes Los diferentes materiales cerámicos gruesos, porosos. No han sufrido vitrificación, es decir, no se llega a fundir el cuarzo con la arena debido a que la temperatura del horno es baja:

- **cocida:** La pieza se recubre con esmalte de color blanco (óxido de estaño) y se denomina loza estannífera de color rojiza debido al óxido de hierro de las arcillas empleadas. La temperatura de cocción es de unos 800°C. (Martin, R., 2015, p-80)

- **Italiana:** La temperatura de cocción ronda los 1000°C. Se emplea para fabricar vajillas baratas, adornos, tiestos. Se fabrica con, pudiendo recubrirse de barniz transparente arcilla entre amarilla-rojiza mezclada con arena. (Sanz, K., 2015)

- **Inglesa:** La cocción se realiza en dos fases, la primera se cuece a unos 1100°C. Caolín para mejorar la blancura de la pasta. Se emplea para vajilla y objetos de decoración. Fabricada de arcilla arenosa a la cual se le ha eliminado el óxido de hierro y se le ha añadido sílex, yeso, feldespato (bajando el punto de fusión de la mezcla) y (Sanz, K., 2015) y la segunda se introduce de nuevo en el horno a la misma temperatura, tras lo cual se saca del horno y se recubre con esmalte.

- **Refractarios:** Se obtienen productos que pueden resistir temperaturas de hasta 3.000 °C. La cocción se efectúa entre los 1.300 y los 1.600 °C. Se fabrican a partir de arcillas mezcladas con óxidos de aluminio, torio, berilio y circonio. , seguidos de enfriamientos muy lentos para evitar agrietamientos y tensiones (Martin, R., 2015, p-110)

- **Cerámicos impermeables o finos:** Se someten a temperaturas suficientemente altas como para vitrificar completamente la arena de cuarzo. Se obtienen productos impermeables y más resistentes (Martin, R., 2015, p-110) Los más importantes son:

- **Gres cerámico común:** A partir de arcillas, expuesta a temperaturas de unos 1.300 °C. Es muy empleado en pavimentos y paredes.

- **Porcelana:** Su cocción se realiza en dos fases: una a una temperatura de entre 1.000 y 1.300 °C Teniendo multitud de aplicaciones en el hogar (pilas de cocina, vajillas, tazas

de café, etc.) Obtenido a partir de una arcilla muy pura. y, tras aplicarle un esmalte otra a más alta temperatura pudiendo llegar a los 1.800 °C (Martin, R., 2015, p-111)

2.4 Propiedades de los suelos

2.4.1 Características físicas de un suelo. Las características físicas de un suelo están limitadas también al tipo de estructura del mismo, las fracciones que conforman el suelo las cuales incluyen limo, arcilla y arena se aglomeran para formar estructuras de un tamaño mayor. Existen ciertas propiedades que se ven afectadas según la conformación morfológica del suelo, tales como el flujo de agua, aireación, la conducción del calor, y la resistencia que presenta a la erosión. Cabe resaltar que el agua es el principal responsable de las modificaciones que sufre la estructura de un suelo, ya que es capaz de disolver sustancias, transportar minerales y sus posibles consecuencias en el crecimiento de la vida vegetal.

En sus principales características podemos incluir:

- **Recurso agua presente en suelo:** El recurso hídrico almacenado en los suelos, ya sea estancado o en flujo afecta directamente la formación de suelo, sus propiedades, consolidación, y erosión. El agua almacenada en el suelo es la principal fuente de agua para las plantas.
- **El agua y su disponibilidad según el suelo:** Cuando una extensión de tierra se encuentra saturado, quiere decir que los espacios que antes ocupaba el aire, ahora se encuentra ocupado por agua. La capacidad de campo o CC es la cantidad de líquido que puede retener el suelo después de encontrarse en estado de saturación, y después de haberle permitido drenar después de pasado 48 horas desde la última lluvia o evento de riego.
 - **La disposición del suelo (contextura):** La disposición del suelo hace referencia todos aquellos elementos que hacen parte y terminan conformando toda la estructura del suelo, donde se incluyen la arcilla, la arena y el limo. La importante de la contextura del suelo es de vital importancia debido a que afecta propiedades como la capacidad de este para contener y retener agua, drenaje de la misma, cantidad de materia orgánica comprendida entre algunas otras características. (Guía para la descripción de suelo, 4a edición, 2006).
- **Color de Suelos:** El suelo presenta diferentes colores, los cuales están determinados por los componentes presentes y por el contenido de agua que tengan, material orgánico y el estado de algunos minerales en cuanto su oxidación. El color está ligado a ciertas propiedades, especialmente cuando se identifican varias fases en una muestra de perfil de suelo.
- **Firmeza del Suelo:** La firmeza es la propiedad que determina oposición del suelo a cambiar de forma o al quiebre que se puede administrar sobre él. La firmeza depende en gran medida de cuánta agua posee el suelo, pues según su contenido su consistencia puede ser suave, muy duro o duro.

- Cantidad de poros del suelo: Este concepto hace referencia a la cantidad de espacio vacío dentro del suelo en volumen-porcentaje. Generalmente el volumen de espacio vacío dentro del suelo corresponde a un 40% o 50% del volumen total de la muestra. Existen poros más grandes que otros, donde a los poros más grandes se le conoce como macroporos y a los más pequeños se les llama microporos donde se pueden alojar aire, agua o minerales. La principal característica de los microporos es que, al contrario de los macroporos, estos pueden retener líquido y dejarla disponible a las plantas.
- Relación masa-volumen del suelo (densidad): Teniendo la densidad de un suelo se puede encontrar el índice de poros del mismo. Sin embargo, hay que hacer énfasis en que existen dos diferentes tipos de densidad, la aparente y la real.

2.4.1 Clasificación y descripción de suelos utilizados en ingeniería civil.

En las construcciones el suelo es el principal material con mayor participación en las construcciones civiles, pues es el medio sobre el cual se soportan todas las obras como lo son represas, casas, torres, puentes, carreteras, muros y canales (Duque, G., 2016)

La importancia del suelo como soporte radica en que sobre este se cimentan las construcciones, brindan la estabilidad necesaria para que una edificación se encuentre físicamente en equilibrio en todos sus componentes. Existen diversos conceptos que merecen especial atención a la hora de estudiar los suelos, como lo son el grado de consolidación del suelo, la estabilidad o inestabilidad de sus taludes, capacidad portante, grado de saturación alcanzado, resistencia a la erosión sin dejar de lado los estudios sobre mecánica de suelos.

2.4.3 Tierra comprimida como material de uso en la Construcción. La tierra es el material de construcción utilizado con mayor antigüedad por la humanidad, y es la base de una de

las tecnologías que mejor se adaptan al medioambiente y a formas contemporáneas de concebir la construcción sostenible. El impacto que genera la construcción en el medioambiente hace que la humanidad busque alternativas para aprovechar de forma adecuada los recursos que ofrece la naturaleza, aún más si se consideran las actuales proporciones de contaminación. A través de la construcción con tierra se disminuye este impacto, dado que se evita la alteración de los ecosistemas. Algunos de los materiales utilizados desde el inicio de la construcción eran el lodo, grumos de barro, piedras, madera y fibras naturales, que corresponden con sistemas constructivos tradicionales y dignos. La implementación de los materiales dependía del lugar en el cual se realizaba la construcción, pero siempre se utilizaba la tierra o el barro. (Arteaga, K., Medina, O. & Gutiérrez, O., 2011)

2.5 Marco Legal

La Constitución Política de la Republica de Colombia del año 1991 promovió a ley constitucional el buen manejo, tenencia en cuenta y preservación de todos los recursos naturales del ecosistema, mediante los siguientes postulados:

Derecho a un ambiente sano. En el Artículo número 79, la Constitución Nacional dice que: " Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La Ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines ".

Este postulado se podría explicarse, como un principio fundamental ya que teniendo en cuenta unos de los derechos más importantes según el conceso internacional, como lo es el derecho

a la vida, es necesario gozar de una buena calidad en el medio ambiente para disfrutar apropiadamente de la existencia.

El medio ambiente es patrimonio de todos, un bien común. Es obligación del estado y los ciudadanos proteger y cuidar todos los recursos naturales del país (Artículo 8) promover y cuidar el medio ambiente (Artículo 95).

2.6 Normatividad

Las siguientes normas fueron utilizadas como soporte y guía a lo largo del desarrollo del presente proyecto de grado:

Norma BS EN 197-1:2000, notación II/A-S, del 20 de febrero de 2000. Las características técnicas del cemento.

Norma Técnica Colombiana 5324 del 1 de diciembre de 2004: Bloques de suelo cemento para muros y divisiones. Definiciones. Especificaciones. Métodos de ensayo. Condiciones de entrega

Norma Técnica Colombiana 4017 del 23 de mayo de 2018: Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla.

Norma Técnica Colombiana 121 del 5 de mayo de 1982: Ingeniería Civil y arquitectura: Cemento Portland. Especificaciones Físicas y Mecánicas.

Norma Técnica Colombiana 321 del 4 de agosto de 1982: Ingeniería Civil y arquitectura: Cemento Portland. Especificaciones Químicas.

Norma Técnica Colombiana 1362 del 13 de junio de 2018: Cemento Portland Blanco

Norma Técnica Colombiana 3459 del 31 de octubre de 2001: Concretos. Agua para la elaboración de concreto.

2.7 Impacto ambiental

La alteración del medio ambiente es conocido como impacto ambiental, provocado por un proyecto determinado generando influencia directa o indirecta, siendo esto la influencia en el cambio o modificación del medio por la interferencia directa de la mano del hombre. La gran mayoría de las actividades económicas implica y conlleva un impacto ambiental. La evaluación de opciones en el análisis del impacto ambiental, hoy en día, hace parte de requisitos fundamentales para el desarrollo de un proyecto como tal.

En la investigación analizamos el impacto social que se genera en la contribución al progreso y desarrollo de una nación, la capacidad de decidir y actuar en el mercado es vital, ya que al aportar al progreso también se están generando fuentes de empleo y generando riquezas. Esta fuente de empleo parte del proveedor hasta el usuario final, quien tiene la necesidad de contratar personas para que hagan uso de los materiales.

Las empresas constructoras que generan empleo y un buen bienestar social van bajando los índices de pobreza en los colombianos, siendo esta una oportunidad de crear rentabilidad y cumplimiento de metas desde el punto de vista personal. Mejorando los índices de la calidad de vida en los colombianos, nace una inquietud y es el daño que se hace al medio ambiente, por lo que la empresa debe ejercer acciones para proteger el hábitat natural y las sanas vivencias de las personas.

Dentro del progreso sostenible, que es la base ambiental en Colombia y el mundo entero, la utilización de fuentes renovables en la construcción y el desecho de bajos índices de residuos sólidos hacen de un entorno el mejor lugar para vivir. Dentro del historial de una compañía proyectada a la comercialización de materiales, hay grupos de personas organizados, que a través de un capital propio o por parte de terceros, ejercen sus acciones en este sector.

Las organizaciones dedicadas a ejecutar este tipo de actividad utilizan productos que afectan la atmosfera y Litosfera por las emisiones de CO₂, extracción de materia primas de la naturaleza y de energías no renovables. Por esta razón se considera importante la exclusión de residuos, que no se trata de reducirlo gradualmente, ya que estos residuos van a los botaderos de basura y contaminan el medio ambiente.

Podemos evaluar que lo que se pretende es disminuir las emisiones, primordialmente los residuos moleculares, también los agentes tóxicos que emiten el medio ambiente la disminución de la energía empleada; reemplazar las energías no renovables o extraídas de la naturaleza por nuevas fuentes de energías renovables. Es muy importante abordar el tema del impacto ambiental debido a las circunstancias y realizar un proceso de reingeniería o rediseñar procesos y productos de una forma cíclica. El transporte eficiente de la materia prima, además de la sensibilidad Conexión.

La evaluación del impacto ambiental no solo permite evitar el impacto negativo de la venta de materiales para la construcción, sino además sensibiliza a la comunidad sobre la conservación del medio ambiente y el impacto que se produce.

Cuando se obtiene la materia prima para la construcción, está aumentando en consideración, beneficiando de forma adecuada a la economía nacional, con nuevas fuentes de empleos, pero generando una mala imagen en los recursos naturales, por la explotación de los suelos. Los

proyectos de urbanización consumen grandes cantidades de tierra, en ambientes naturales, a la vez se componen de pequeñas unidades de vivienda.

El proceso de elaboración y manipulación de los materiales aportan un considerable valor medioambiental igualmente energético, generando de los aprendizajes previos una negada idea de que no sea posible avanzar cambiando los pre saberes evitando el abuso en la utilización de los recursos no renovables, donde las prioridades de reutilización y reciclaje de materiales son nulos frente al modelo de derroche utilizado actualmente.

3. Antecedentes Investigativos

Ruiz (2018) en su estudio titulado "Diseño y evaluación de un ladrillo de suelo estabilizado con escoria metalúrgica activada alcalinamente" analiza la incorporación de escorias activadas con el fin de fabricar bloques de tierra compactada, evaluando su composición química y activándolas con NaOH en concentraciones 8 M, 10 M, 12 M, 14 M; evaluando relaciones l/s de 0.4, 0.6, 0.8, y obteniendo resultados de 8 MPa hasta 56 MPa. El presente estudio se desarrolla a través de porcentajes de escorias activadas de 5% al 25%, obtenido resistencias de 4 MPa a 12 MPa, con absorciones de agua de 15% en promedio. Una vez obtenidos los resultados esperado, se procede diseñar una mezcla final con 23% de escoria activada, obteniendo un resultado a la compresión de 12 MPa en estado seco y 6.4 MPa estado húmedo con una absorción promedio de 12%.

Por otra parte Corrales & Montoya (2017) en su estudio titulado "Evaluación de las propiedades mecánicas de muretes elaborados con bloques de tierra comprimida (BTC), como alternativa de construcción de vivienda sostenible en el municipio de Pereira" estudia los bloques de tierra comprimida (BTC), para ser empleados en las construcciones, debido a que este material tiene propiedades sostenibles y considerables, beneficiando al medio ambiente y por esta razón se inicia el proyecto con la intención de evaluar las propiedades mecánicas de BTC como también de muretes elaborados con este mismo en el municipio de Pereira ya que esto optimizaría mejor los procesos constructivos y reduciría los costos de construcciones de este tipo.

Medina & Chimbo (2017) en su estudio titulado "Análisis de la resistencia a la compresión de ladrillos prensados interconectables elaborados de barro, cangahua y puzolana, con adiciones de cemento, cumpliendo la norma ecuatoriana de la construcción (NEC 2015)" Determinando las propiedades necesarias del espécimen proveniente del punto de origen en Cotopaxi, mediante este

estudio se estudia el índice de plasticidad de cada material cumpliendo las especificaciones de las normas ASTM 421-78 e INEN 691 respectivamente. Mostrando como mínimo la evaluación de tres porcentajes como de 10%, 15% y 20% de cemento para cada tipo de material y obtener tres muestras de ladrillos de cada porcentaje de mezcla establecido (nueve muestras) para tener un valor de resistencia más real. Los ensayos se realizaron en intervalos de tiempos de 7, 14 y 28 días, por lo que se tendría 27 muestras para cada mezcla, teniendo un total de 81 muestras. Los resultados obtenidos establecen un porcentaje de 15%, el cual alcanza Resistencias importantes mayores al menor nombrado en NEC de 3MPa (30 kg/cm²) para muros de mampostería confinada, siendo superior al mínimo de 20kg/cm² para los ladrillos artesanales.

Almeida & Hidalgo (2016) en su estudio titulado "Análisis comparativo de los procesos de estabilización de suelo con enzimas orgánicas y suelo-cemento, aplicado a suelos arcillosos de sub-rasante" realiza un experimento con el fin de definir los procesos de estabilización de suelo con enzimas orgánicas y suelo-cemento, aplicado a suelos arcillosos de sub-rasante en la ciudad de Puyo, Pastaza, diferenciándolos bajo inspección visual como anaranjado-rojizo obtenido del Barrio

Molina (2016), en su estudio titulado "Bloques de tierra comprimida con adición de residuos de concreto y cemento como solución sostenible para la construcción de muros no estructurales" considera a la industria de la construcción como una amenaza constante para el medio ambiente; los materiales con los que se realiza, por ejemplo, son elementos que representan un peligro, ya que a futuro sus escombros no serán reutilizables y se convertirán en un contaminante del suelo y en un acaparador de las zonas verdes de la ciudad.

Galvis, León & Salazar (2016) en su estudio titulado "Bloques de tierra comprimida con adición de residuos de concreto y cemento como solución sostenible para la construcción de muros

no estructurales” presentan en su estudio una forma de mitigar los impactos ambientales al utilizar elementos amigables con el medio ambiente para la construcción, el cual resulta también más económico en comparación con los que actualmente se usan en la construcción de viviendas.

Galindez (2007) en su estudio titulado “Bloques de tierra comprimida (BTC) sin adición de cemento” realiza un estudio con un material alternativo para la construcción de muros, al eliminar el cemento en las mezclas base del mampuesto BTC, beneficia económicamente y añade un costo ambiental al bloque de suelo-cemento, a pesar de tener mucho menor impacto ambiental que los ladrillos de tierra cocida, habida cuenta que el material es crudo.

4. Metodología

4.1 Selección y caracterización del suelo

El suelo utilizado para este proyecto de grado fue sustraído de la zona aledaña al laboratorio de construcciones ubicado en el edificio K de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. Campus universitario ubicado en el kilómetro 7 vía Piedecuesta. (Figura 2).

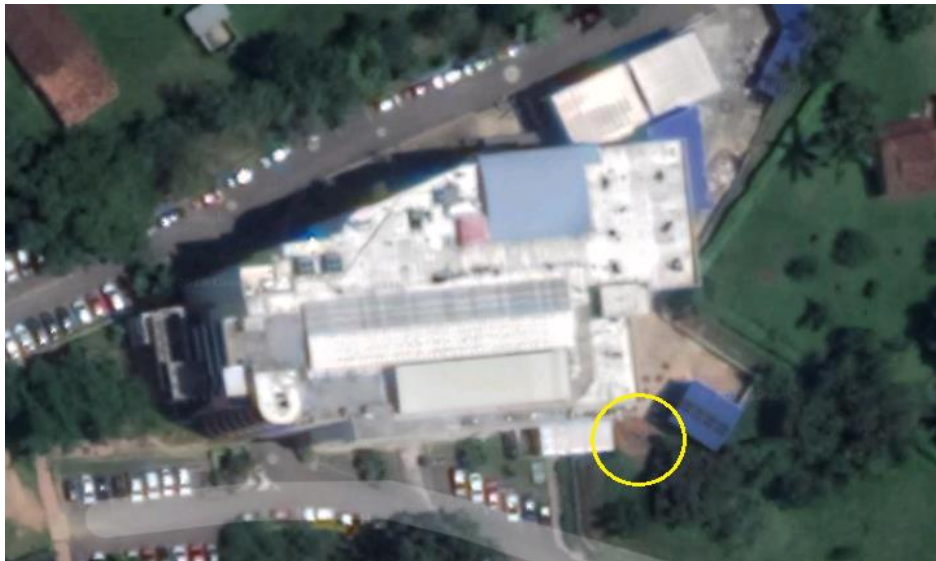


Figura 2. Lugar donde se sustrajo el material

Fuente. Google Earth Pro

Dicho material se sustrajo manualmente mediante el uso de pica y pala, tal como se observa en la figura 3.



Figura 3. Forma en la que se sustrajo el material

Fuente. Autor

4.1.1 Granulometría. El primer paso consistió en realizar el lavado de la muestra para retirar los agregados finos, (figura 4). Una vez realizado el lavado, se procede al introducir la muestra en el horno a una temperatura constante de 110°C durante 3 días obteniendo una muestra libre de humedad.



Figura 4. Lavado

Fuente. Autor

Después de esto introducimos la muestra en el horno a una temperatura constante de 110°C durante 3 días obteniendo una muestra libre de humedad (Figura 5).



Figura 5. Muestra seca

Fuente. Autor

Con la muestra ya lista para ser pasada por los tamices No 4, 10, 20, 40, 60, 140 Y No 200, según recomienda la NTC 1522. Se procedió a realizar los procedimientos que se visualizan en la figura 5 y figura 6.



Figura 6. Tamizado de la muestra

Fuente. Autor

A medida en que se va tamizando la muestra se debe ir tomando el dato en gramos de cuanto material se está reteniendo por tamiz, incluyendo el fondo y de esta manera realizar la caracterización del tipo de suelo que se va a utilizar. Los datos obtenidos se visualizan en la tabla

4.1.2 Determinación de límite líquido. El límite líquido de un suelo es el contenido de humedad expresado en porcentaje de suelo secado en el horno, Cuando este se halla en el límite

entre el estado líquido y el estado plástico. (INV E 125), Aplicamos el método A de la determinación del límite líquido. Para el desarrollo de este ensayo se procesó la muestra a través del tamiz No 40 tal como lo recomienda el método descrito en la norma INV E – 106 e INV E – 107.



Figura 7. Cernido del material por tamiz No 40.

Fuente. Autor

Se coloca la muestra de suelo en una vasija de evaporación y se mezcla con una espátula adicionándole entre 15 y 20 ml de agua logrando una mezcla uniforme. Es posible que algunos suelos absorban el agua lentamente por lo que debe adicionarse agua hasta lograr una pasta uniforme de suelo que presente consistencia dura.



Figura 8. Mezcla con espátula

Fuente. Autor

Después de lograr una muestra uniforme y de consistencia dura se coloca una cantidad adecuada en la cazuela de cobre y se comprime extendiéndose con la espátula nivelándola y dejándola con una profundidad de 10mm en el punto de su máximo espesor. Con ayuda del ranurador se divide la muestra en la cazuela de bronce generando una ranura limpia como se muestra en la figura 9.



Figura 9. Ranura limpia de la muestra.

Fuente. Autor

Teniendo preparada la muestra cómo se observa en la figura 8, se coloca en funcionamiento la maquina hasta que el material logro unirse en la ranura del centro.

Se sacó una tajada de suelo, aproximadamente del ancho de la espátula, para luego ser almacenada en una capsula se pesa y se anota el valor, repetimos el procedimiento anterior dos veces más agregando agua para poner la muestra en un estado de fluidez mayor buscando obtener que los números de golpes con los que las muestras lograron cerrar la ranura están entre los intervalos 25-35, 20-30, 15-25 de manera que la diferencia de golpes entre las muestras sean aproximadamente 10. Se ubicaron las capsulas dentro del horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$). Durante 12, 24 y 48 horas se mantuvo control sobre el paso de las muestras hasta obtener de esta una masa constante. Se anota el peso del suelo seco.

4.1.3 Limite plástico. Para el desarrollo de este ensayo, se preparó la muestra tal como lo recomienda la norma INV E-106 o INV E-107 (Preparación en seco y en húmedo de muestras de suelo para análisis granulométrico y determinación de las constantes físicas). Se utilizó una cantidad aproximada de 20 g de muestra que haya pasado por el tamiz No 40 y se le agregó agua hasta que se pueda hacer una esfera con la masa de suelo.

Usando la mitad de la muestra en forma de esfera se moldea en formando un elipsoide haciendo la presión necesaria para formar un cilindro y se moldea hasta que en un diámetro de 3.2 mm la muestra se desmorone, (Si llegando a este diámetro la muestra no se desmorona debe repetirse el procedimiento hasta que esto suceda), Se realiza el procedimiento tal como se muestra en la figura 10.



Figura 10. Ensayo limite plástico

Fuente. Autor

Después de lograr el desmoronamiento de la muestra, se anota el peso de las muestras y utilizamos la otra mitad del material para repetir el procedimiento anterior obteniendo dos muestras las cuales se guardaron en capsulas previamente pesadas y se ubicaron en un horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$).

Se monitorearon los pesos de las muestras durante 48 horas hasta obtener un peso constante de las muestras garantizando que se encontraba libre de humedad.



Figura 11. Cápsulas las muestras secas del límite líquido y plástico

Fuente. Autor

4.1.4 Proctor modificado. El ensayo de Proctor modificado fue necesario para encontrar la cantidad de agua óptima para la compactación máxima del material con el que se está trabajando. Para este ensayo se siguieron los lineamientos de la norma INVE 142 E-13 (INVÍAS, 2013), método A, donde se recomienda proceder así: la mezcla representativa de material debe tener un peso de unos 3kg totalmente seca, por lo que la muestra empleada permaneció 48 horas en el horno

a 110°C, tiempo durante el cual se le hicieron monitoreos para garantizar que ya se encontraba con un peso constante.

Una vez listo el material, se humedece con un 8% de agua y se prepara el espécimen compactando el suelo humedecido en el molde de 4" de diámetro en cinco capas distribuidas de manera que cada capa contenga la misma cantidad de material hasta llegar a los 5" de altura, para la compactación se empleará el martillo con el cual se le suministraron 25 golpes distribuidos uniformemente por todo el molde, accionándolo desde una altura de caída libre de 18". Este procedimiento se realizó 4 veces, adicionándole cada vez más agua a la mezcla para así poder tener 4 puntos para generar una gráfica y de esta manera conseguir el porcentaje de agua óptimo para la compactación.



Figura 12. Proctor modificado

Fuente. Autor.

4.2 Caracterización de la cerámica

La arcilla con la cual se obtiene la cerámica es proveniente de la vereda barro blanco en donde se encuentra un depósito de caolín a 15 km al este de Oiba, municipio de Santander. (Unisima, s.f.)

El caolín proveniente de esta zona es de color blanco, esto indica que a diferencia de otras arcillas su composición fina es más rica en aluminio, pero a su vez más pobre en el contenido de óxido de hierro, fosforo, cloro y zinc. Esta arcilla es lavada por agua de lluvias y el arrastre de ella mismas así surge su color blanco característico.

La cerámica utilizada para el desarrollo de este proyecto de grado se clasifica como loza inglesa debido a su composición carente de óxido de hierro y la temperatura a la cual es cocinada ya que estuvo sometida a una temperatura de 1100°C, dicha temperatura no se le aplica desde el principio ya que un cambio de temperatura drástico hace que el espécimen se rompa, por esto el caolín se ingresa al horno en donde su temperatura incrementa lentamente desde la temperatura ambiente hasta llegar a 1100°C, esto en un lapso de 6 horas, la cerámica utilizada se obtuvo del taller llamado “Keramos de Colombia”, ubicado en la carrera 9 # 7 – 26 del municipio de Oiba, Santander.

4.3 Caracterización del cemento

Para el desarrollo de este proyecto de grado se utilizó cemento gris Cemex de uso general ideal para la elaboración de morteros y concretos de uso general cumpliendo la norma NTC 121 para cemento UG. La descripción técnica de este material se encuentra en la tabla 1.

Tabla 1. *Descripción técnica del material*

Resistencia a compresión (Mpa)	Método de ensayo	Rango de resultados	Requisitos de norma.
1 día	NTC 220	8.0 - 13.0	No especificado
3 días	NTC 220	14.0 - 21.0	Mínimo 8.0
7 días	NTC 220	18.0 - 24.0	Mínimo 15.0
28 días	NTC 220	24.0 - 28.0	Mínimo 24.0

Fuente: CEMEX (2015). Cemento hidráulico. Uso general. Bogotá, D.C. Recuperado de <https://www.cemexcolombia.com/documents/45752949/45757355/cemento-gris-uso-general.pdf/807460c9-4ace-e73f-a643-e62454d22887>

Haciendo cumplimiento de la ISO 14001:2015 Códigos de construcción sostenible. Este cemento puede contener en su composición materiales regionales, reciclados y/o renovables, de igual manera el embalaje de este producto puede proceder de fuentes gestionadas responsablemente.

Tabla 2. *Parámetros físicos del cemento*

Otros parámetros físicos	Método de ensayo	Rango de resultados	Requisitos norma
Tiempo de fraguado inicial (min)	NTC 118	100 – 150	Mínimo 45 Máximo 420
Contenido de aire en volumen de mortero (%)	NTC 224	4-8	Máximo 12
Expansión de barra de mortero 14 días (%).	NTC 4927	0.000 - 0.016	Máximo 0.020

Fuente: CEMEX (2015). Cemento hidráulico. Uso general. Bogotá, D.C. Recuperado de <https://www.cemexcolombia.com/documents/45752949/45757355/cemento-gris-uso-general.pdf/807460c9-4ace-e73f-a643-e62454d22887>

Este producto fue elaborado bajo sistemas de gestión certificados en calidad ISO 9001 (Reconocimiento nacional e internacional), Seguridad y Salud (OHSAS 18001).

4.3.1 Bloques suelo-cemento. Para la elaboración de los bloques de suelo cemento es muy importante contar con el material de suelo completamente seco, una vez el material se encuentre seco se comenzó a pisar los terrones del material para obtener las partículas lo más sueltas posible para luego cernir el material suelto haciendo uso del tamiz No. 4 tal como se muestra en la figura 13, logrando obtener el material más uniforme para realizar la mezcla del suelo con el cemento.



Figura 13. Cernido del material por el tamiz No. 4

Fuente. Autor

Teniendo el material de suelo con el tamaño de las partículas adecuado, se calcula la proporción que se necesita de agua y cemento para la fabricación de 30 bloques procurando lograr una mezcla homogénea tal como se observa en la figura 14. Para este proyecto el cemento se utilizó en los porcentajes del 5%, 8% y 12% adicionando un 16% de agua.



Figura 14. Homogeneidad en la mezcla

Fuente. Autor

Después de lograr una homogeneidad en la mezcla se comienza a verter el producto en la CINVA-RAM y haciendo uso de esta se elaboran los bloques, como se observa en la figura 15.



Figura 15. Obtención de los bloques

Fuente. Autor

Se repite este proceso hasta fabricar los 30 bloques proyectados por cada porcentaje de cemento, en el proceso de elaboración se debe realizar la inspección visual recomendada por la NTC 5324 en su numeral 3.3 “CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS BLOQUES” procurando cuidar la integridad de los bloques, obteniendo especímenes como se muestra en la figura 16.



Figura 16. Apariencia de los bloques

Fuente. Autor

Dosificación en porcentajes utilizadas en bloques de suelo - cemento:

30 bloques con la dosificación: 5% de cemento y 95% de suelo.

30 bloques con la dosificación: 8% de cemento y 92% de suelo

30 bloques con la dosificación: 12% de cemento y 88% de suelo

4.3.2 Bloques suelo-cerámica. Para la elaboración de los Bloques de suelo cerámica se llevó acabo el procedimiento de preparación de suelo de la misma forma en que se prepara para la elaboración de los Bloques de suelo-cemento. Es decir, pisando los terrones de suelo con un pisón

y pasando por el tamiz No. 4, obteniendo el material de suelo con partículas más adecuadas para la fabricación de los bloques tal como se observa en la figura 17.



Figura 17. Homogeneidad en la mezcla

Fuente. Autor

La cerámica utilizada en la elaboración de los bloques de suelo-cerámica inicialmente estaba en forma de elementos decorativos como casas e iglesias de la región a escala, Se hizo uso de la máquina de los ángeles para triturar los especímenes y obtener el polvo de la cerámica de una manera más sencilla tal como se muestra en la figura 18.



Figura 18. Material dentro de la máquina de los ángeles.

Fuente. Autor

La máquina de los ángeles fue una solución efectiva para obtener cerámica en polvo, aunque se tuvo que hacer uso del tamiz No 140 tal como se muestra en la figura 19, garantizando que el tamaño de las partículas sean lo más finas posible.



Figura 19. Procedimiento para la elaboración de bloques de suelo-cerámica

Fuente. Autor

Los porcentajes en la dosificación de los bloques de Suelo-Cerámica son los mismos que se utilizaron en la elaboración de los bloques de suelo con cemento, es decir; 5%, 8% y 12% así como un porcentaje de agua del 16%.

Cernido el porcentaje en peso de la cerámica a necesitarse para la elaboración de los ladrillos se realizó la mezcla de los materiales buscando obtener una contextura uniforme para comenzar la elaboración de los ladrillos en la CINVA-RAM. Tal como se muestra en la figura 20.



Figura 20. Homogeneidad en la mezcla.

Fuente. Autor

Se utilizó la misma mecánica utilizada con los ladrillos de suelo-cemento para la elaboración de los ladrillos de suelo-cerámica en los porcentajes acordados, fabricando bloques como se muestra en la figura 21.



Figura 21. Bloques de suelo-cerámica

Fuente. Autor

Dosificación en porcentaje, utilizada para la elaboración de bloques de suelo-cerámica.

30 bloques con la dosificación: 5% de cerámica y 95% de suelo.

30 bloques con la dosificación: 8% de cerámica y 92% de suelo.

30 bloques con la dosificación: 12% de cerámica y 88% de suelo.

4.3.3 Compresión Seca. Teniendo en cuenta el tiempo de fraguado del cemento se eligieron tres fechas en las cuales se fallarán los bloques. Esto con la única intención de analizar cuál es el mejor tiempo en que los bloques proporcionan una mejor resistencia a la compresión seca con relación al fraguado y la adherencia de su mezcla, los tiempos de análisis seleccionados son de 7, 14 y 28 días.

La realización de este ensayo se basó en la información de la NTC 5324 “BLOQUES DE SUELO CEMENTO PARA MUROS Y DIVISIONES”. La norma recomienda cortar los bloques

a la mitad realizando trazos guía y mediante un cuchillo o machete ejerciendo golpes secos con un martillo para realizar el corte.



Figura 22. Corte de los bloques según la NTC 5324.

Fuente. Autor

Sin embargo, la precisión del corte es bastante variable ya que depende de la fuerza que se ejerza en el momento del efectuarlo y del filo de la lámina. Teniendo en cuenta esto y después de perder algunos especímenes a causa de que el corte no era lo suficientemente regular decidimos utilizar una sierra universal de mesa para ejecutar el corte de una manera más precisa y limpia como se evidencia en la figura 23.



Figura 23. Corte de los bloques.

Seguidamente se extiende mortero de mezcla 1:3 en la parte superior de la mitad A del bloque y en la mitad del bloque B se extiende mortero en su parte inferior como se puede notar en la figura 24, buscando refrendar estas superficies a nivel

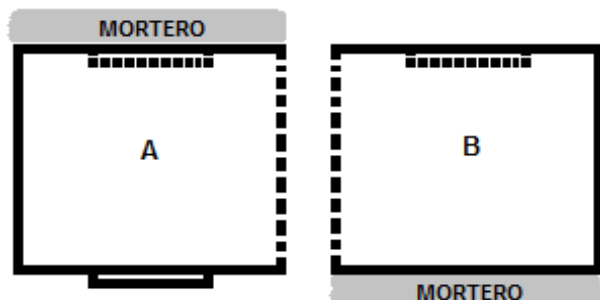


Figura 24. Orientación del Mortero en cada bloque

Transcurridos dos días esperando el endurecimiento del mortero, se sobreponen la mitad A sobre la mitad B, uniéndolas a nivel con una pasta de cemento relación 1:2 como se observa en la

figura 25, simulando un murete real con el objeto de que la carga se distribuya uniformemente y se asegure el paralelismo entre la prensa y el espécimen a ensayar.

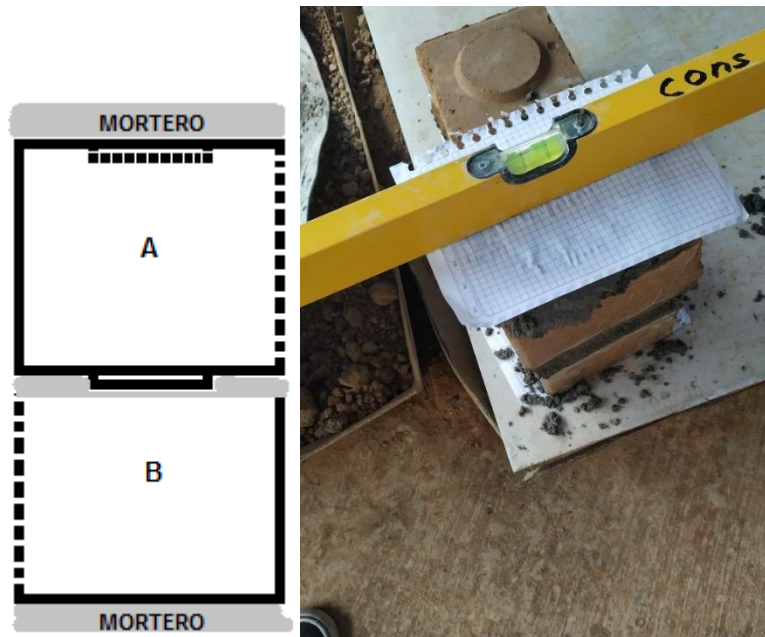


Figura 25. Unión de mitades

Fuente. Autor

Luego de esperar nuevamente dos días a que la mezcla con la cual se ensambló el murete se seque, ubicamos el espécimen como se observa en la figura 26, ajustando la carga que aplica la máquina a un aumento de 0.2 Mpa/s tal como lo indica la NTC 5324.



Figura 26. Prueba de compresión a espécimen

Fuente. Autor

4.3.4 Capilaridad. Para el ensayo de capilaridad se siguió el procedimiento descrito en la NTC 5324, para ello se utilizaron 6 bloques en total, donde 3 bloques corresponden a las mezclas de suelo-cemento de 5%, 8% y 12% y los otros 3 corresponden a las mismas proporciones de suelo-cerámica.

Los bloques deben estar completamente secos, por lo que fue necesario dejarlos en el horno un tiempo de 48 horas para garantizar que no tuvieran agua en su interior, tal como se muestra en la figura 27.



Figura 27. Bloques en el horno

Fuente Autor

Los bloques se pesaron antes de empezar el ensayo, para registrar su peso seco, seguidamente se sumergen 5mm por debajo de la línea de agua, apoyados sobre su cara lisa y apoyados, así mismo, sobre cuñas como se observa en la figura 28, para garantizar que el agua tocara la mayor superficie del bloque durante 10 minutos continuos. Una vez pasado este tiempo se retiran del agua, se seca el exceso de agua y se pesa en la balanza.



Figura 28. Capilaridad

Fuente: Autor

5. Resultados

5.1 Granulometría

Se realizó la granulometría del material siguiendo lo estipulado por la norma INV E-123-13 para este ensayo, obteniendo como resultado una distribución granulométrica como se muestra en la tabla 3 por medio de la cual se identifica que es un suelo fino, ya que el 60,07% del total de la muestra corresponde a partículas que pasan el tamiz 200.

Tabla 3. *Curva granulométrica*

TAMIZ	RETENIDO (G)
No 4	0
No 10	9.10
No 20	62.04
No 40	164.65
No 60	75.10
No 140	100.27
No 200	26.42
FONDO	658.42

5.2 Limites de Atterberg

La siguiente imagen muestra la figura 29, por medio de la cual se encontró el límite líquido del material luego de realizado el ensayo empleando la cazuela de Casagrande, en ella se relaciona el número de golpes y el porcentaje de humedad contenido en la muestra.

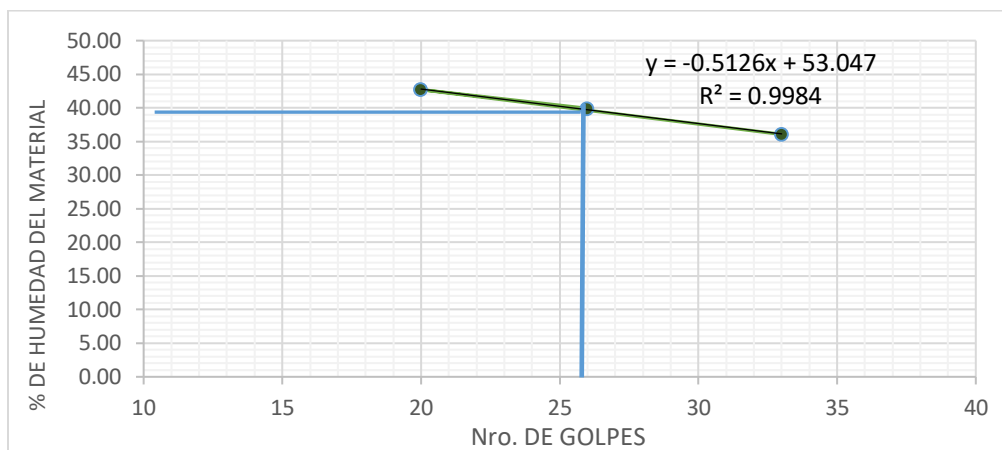


Figura 29. Límite líquido

Tabla 4. Valores de los límites de Atterberg

LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD
40,05	20,07	19,98

Tabla 5. Prueba de compactación. (Proctor modificado) Según norma INV E 141-13

PROCTOR MODIFICADO INV E 141-13					
VOLUMEN DEL MOLDE:		937,38	<i>cm</i> ³		
PRUEBA #		1	2	3	4
Peso suelo + molde	gr	5536	5697	5713	5532
Peso molde	gr	3723	3723	3723	3723
Peso suelo húmedo compactado	gr	1813	1974	1990	1809
Peso suelo húmedo + capsula	gr	99,9	115,8	138,6	112,77
Peso del suelo seco + capsula	gr	93,6	103,8	120,8	95
Peso capsula	gr	40,3	20,9	21	21,14
Peso del agua	gr	6,3	12	17,8	21,14
Peso del suelo seco	gr	53,3	82,9	99,8	73,86
Contenido de agua	%	11,82	14,48	17,84	28,62
Peso específico (húmedo)	gr/cm3	1,93	2,11	2,12	1,93
Peso específico (seco)	gr/cm3	1,73	1,84	1,80	1,50
DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)					1,12
HUMEDAD ÓPTIMA (%)					16,40%

Teniendo en cuenta la tabla anterior, se grafica la curva de compactación de Proctor (figura 30) donde se evidencia una parábola invertida, cuyo vértice indica el punto de mayor compactación del material, en este punto se tiene en cuenta el componente en el eje de las abscisas de la gráfica que resulta ser el porcentaje de agua óptimo para obtener la mayor compactación del material.

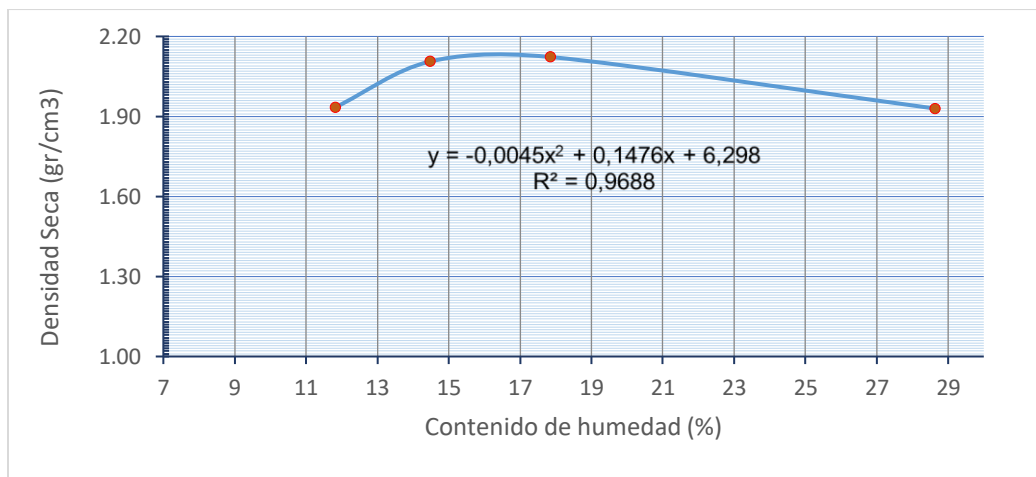


Figura 30. Curva de Proctor modificado

5.3 Compresión Seca

Cada uno de los porcentajes de cemento y cerámica utilizados en la elaboración de los bloques se estudió en un rango de tiempo de entre 7, 14 y 28 días con el fin de evaluar el comportamiento a la compresión seca de los especímenes a medida que secan sus materiales, al igual hallando un valor promedio de rotura con el cual se puede realizar una comparación objetiva del comportamiento de los bloques a compresión seca.

5.3.1 Bloques suelo-cemento. En la mayoría de los especímenes se logró observar una mejora soportando la carga última con el pasar de los días, datos en el Anexo__. A su vez en las diferentes fechas de ensayo la falla típica obtenida se registró a lo largo de su eje vertical comprometiendo el cuerpo del elemento, como se observa en la figura 31.



Figura 31. Prueba de Compresión del Bloque suelo-cemento

5.3.2 Bloques suelo-cerámica. El comportamiento de los bloques de suelo-cerámica frente a la compresión seca mostro un decrecimiento con el paso de los días pues la resistencia a la carga última de los especímenes arrojó valores cada vez menores, datos en el anexo A. Sin embargo, la falla que se evidenció en las diferentes fechas surgió en el eje vertical de los especímenes tal como sucedió con los bloques de suelo-cemento como puede evidenciarse en la figura.



Figura 32. Prueba de Compresión del Bloque suelo-cerámica

Fuente. Autor

Para analizar el comportamiento a la compresión seca presente en las dosificaciones de 5%, 8% y 12% a medida en que se van secando los bloques se calculó el esfuerzo de rotura de los especímenes en base al numeral 4.5.4 de la NTC 5324. Graficando el esfuerzo de rotura en cada una de las fechas nombradas anteriormente tanto para los bloques de suelo-cemento como para los de suelo-cerámica.

Bloques suelo – cemento 5%

Tabla 6. Valores de la resistencia a la compresión seca en Mpa, 5% de cemento

Tiempo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROMEDIO
7 Días	0.749	0.724	0.704	0.580	0.821	0.757	0.728	0.660	0.704	0.780	0.720
14 Días	1.437	1.374	1.443	1.379	1.059	1.324	1.472	1.354	1.260	1.515	1.360
28 Días	1.457	1.418	1.517	1.658	1.399	1.194	1.408	1.646	1.596	1.650	1.490

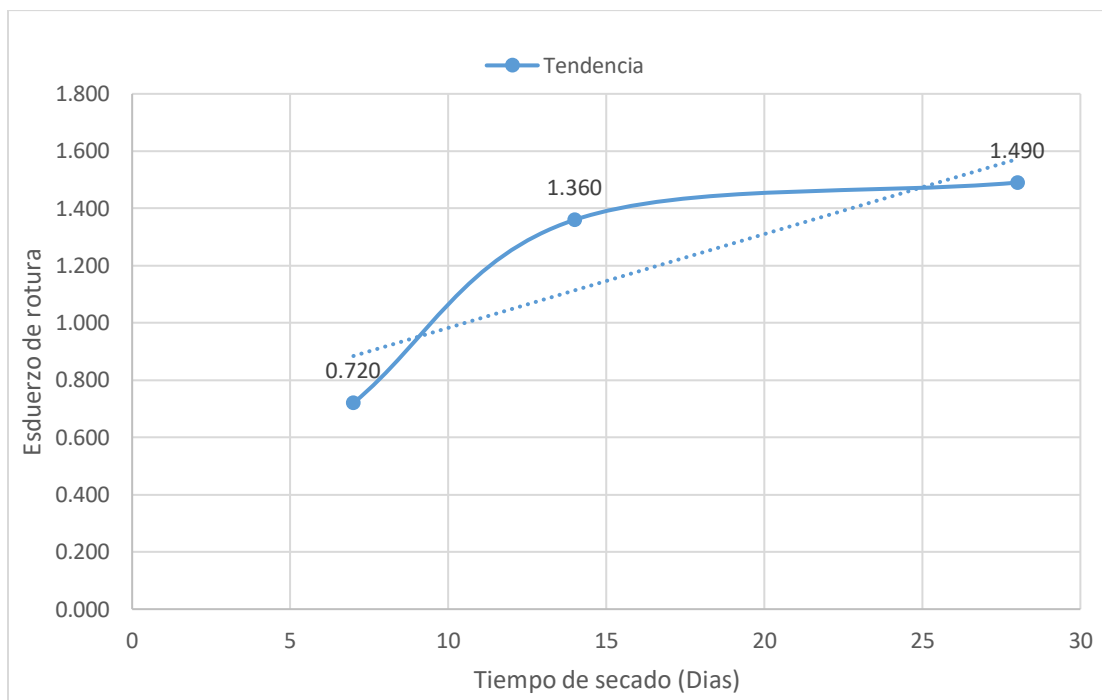


Figura 33. Esfuerzo de Rotura Promedio (Mpa)

El mayor esfuerzo de rotura obtenido fue a los 28 días, siendo este 1.490 Mpa (5% cemento).

Bloques suelo – cemento 8%

Tabla 7. Valores de la resistencia a la compresión seca en Mpa, 8% de cemento

Tiempo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROMEDIO
7 Dias	0.858	0.651	0.799	1.221	0.857	0.850	0.842	1.037	0.743	0.829	0.870
14 Dias	1.236	1.686	1.434	1.289	1.905	1.103	1.344	1.601	1.384	1.239	1.420
28 Dias	2.187	2.423	2.536	2.078	2.206	2.201	2.621	2.253	1.864	2.305	2.270

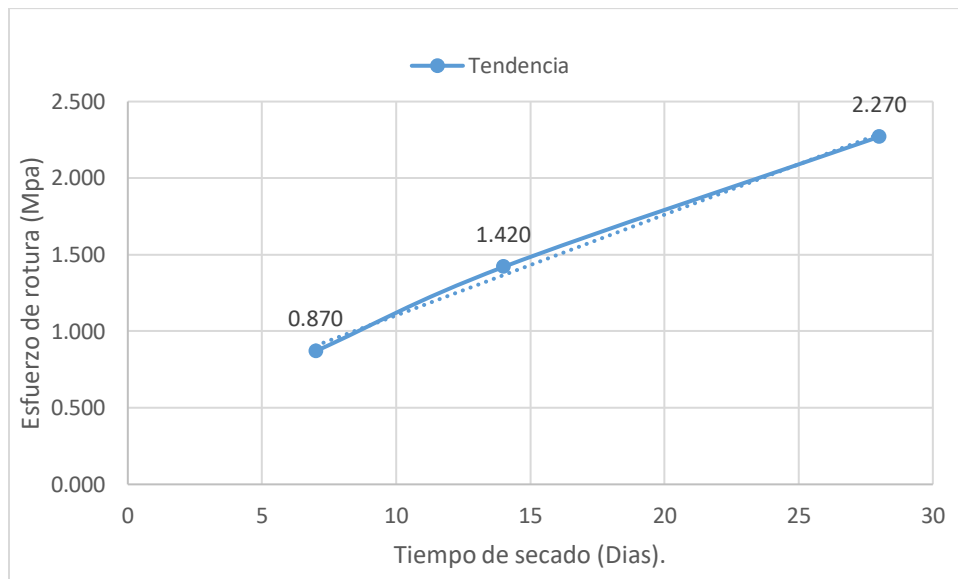


Figura 34. Esfuerzo de Rotura Promedio (Mpa)

El mayor esfuerzo de rotura obtenido fue a los 28 días, siendo este 2.270 Mpa (8% cemento).

Bloques suelo – cemento 12%

Tabla 8. Valores de la resistencia a la compresión seca en Mpa, 12% de cemento

Tiempo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROMEDIO
7 Días	1.628	1.461	1.355	1.805	1.624	1.688	1.502	1.541	1.607	1.519	1.570
14 Días	1.943	1.890	1.346	1.887	1.873	2.044	2.029	2.014	1.394	1.765	1.820
28 Días	2.530	2.320	1.985	1.262	1.521	1.651	2.226	2.054	1.883	2.372	1.980

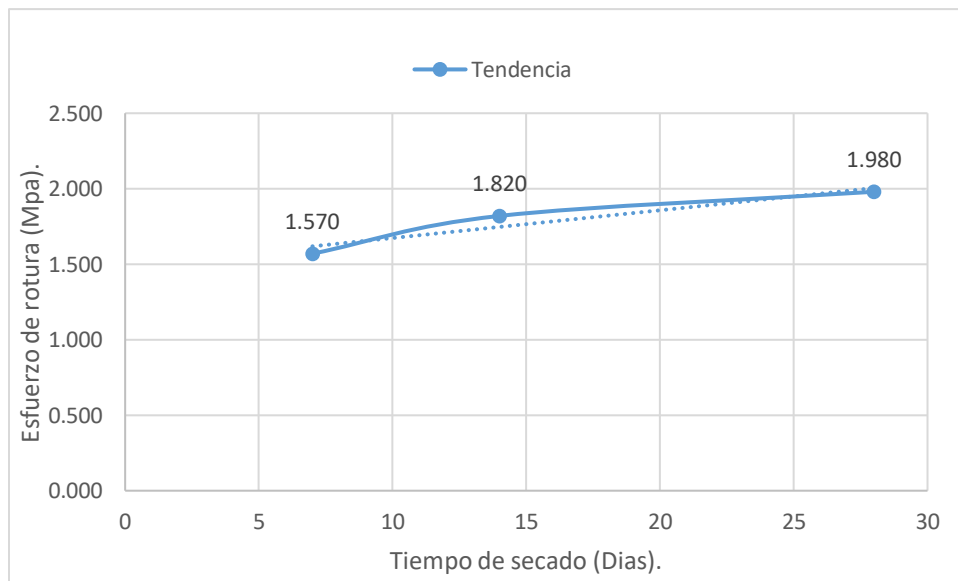


Figura 35. Esfuerzo de Rotura Promedio (Mpa)

El mayor esfuerzo de rotura obtenido fue a los 28 días, siendo este 1.980 Mpa (12% cemento).

Bloques suelo – cerámica 5%

Tabla 9. Valores de la resistencia a la compresión seca en Mpa, 5% de cerámica

Tiempo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROMEDIO
7 Días	1.505	1.153	1.439	1.432	1.707	1.760	1.661	1.570	1.384	1.384	1.500
14 Días	1.118	1.232	1.671	1.609	1.558	1.527	1.708	1.315	1.403	1.155	1.430
28 Días	1.271	1.164	1.059	0.927	1.221	1.190	1.125	1.066	1.104	1.130	1.230

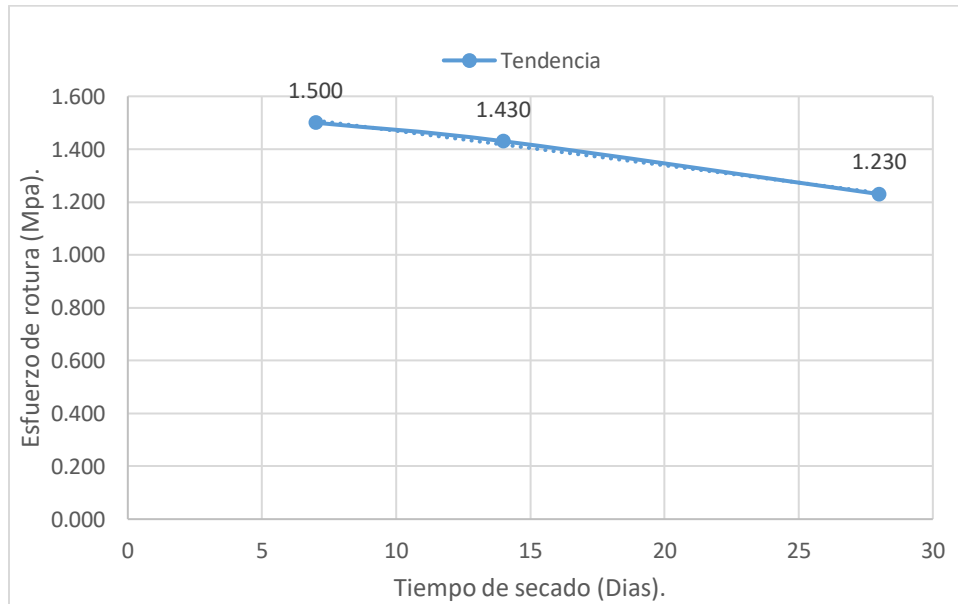


Figura 36. Esfuerzo de Rotura Promedio (Mpa)

El mayor esfuerzo de rotura obtenido fue a los 7 días, siendo este 1.500 Mpa (5% cerámica).

Bloques suelo – cerámica 8%

Tabla 10. Valores de la resistencia a la compresión seca en Mpa, 8% de cerámica

Tiempo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROMEDIO
7 Días	1.655	1.953	1.955	1.949	1.525	1.893	1.954	1.746	1.908	1.884	1.840
14 Días	1.192	1.099	0.911	1.349	1.429	1.264	1.125	1.242	1.319	1.079	1.200
28 Días	0.817	0.939	1.113	1.017	0.937	1.097	0.771	0.949	1.014	0.937	0.960

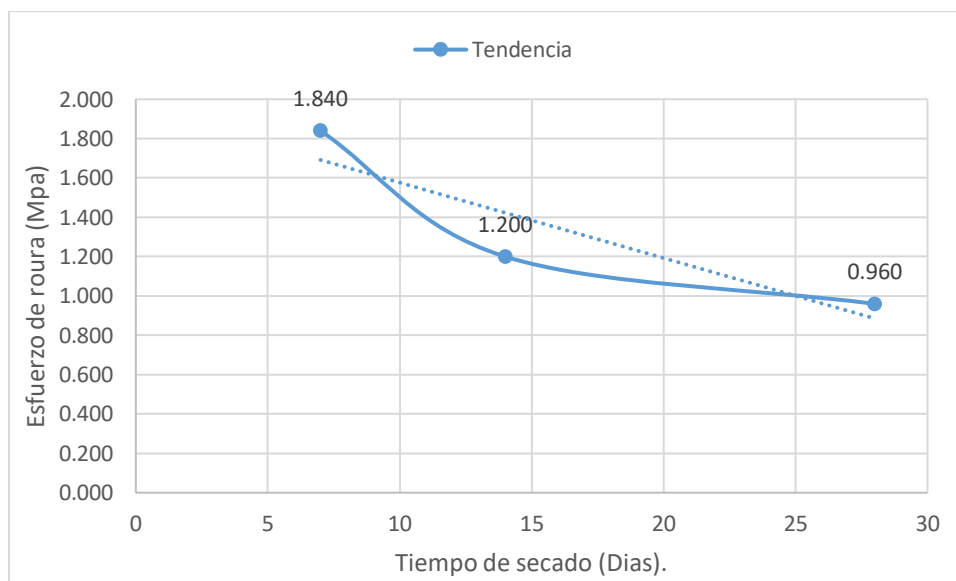


Figura 37. Esfuerzo de Rotura Promedio (Mpa)

El mayor esfuerzo de rotura obtenido fue a los 7 días, siendo este 1.840 Mpa (8% cerámica).

Bloques suelo – cerámica 12%

Tabla 11. Valores de la resistencia a la compresión seca en Mpa, 12% de cerámica

Tiempo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROMEDIO
7 Días	1.477	1.558	1.862	1.656	1.499	1.343	1.518	1.663	1.623	1.494	1.570
14 Días	1.285	1.354	1.335	1.433	1.530	1.220	1.269	1.389	1.458	1.185	1.350
28 Días	0.918	0.864	0.842	0.873	0.971	0.917	0.862	0.870	0.839	1.026	0.900

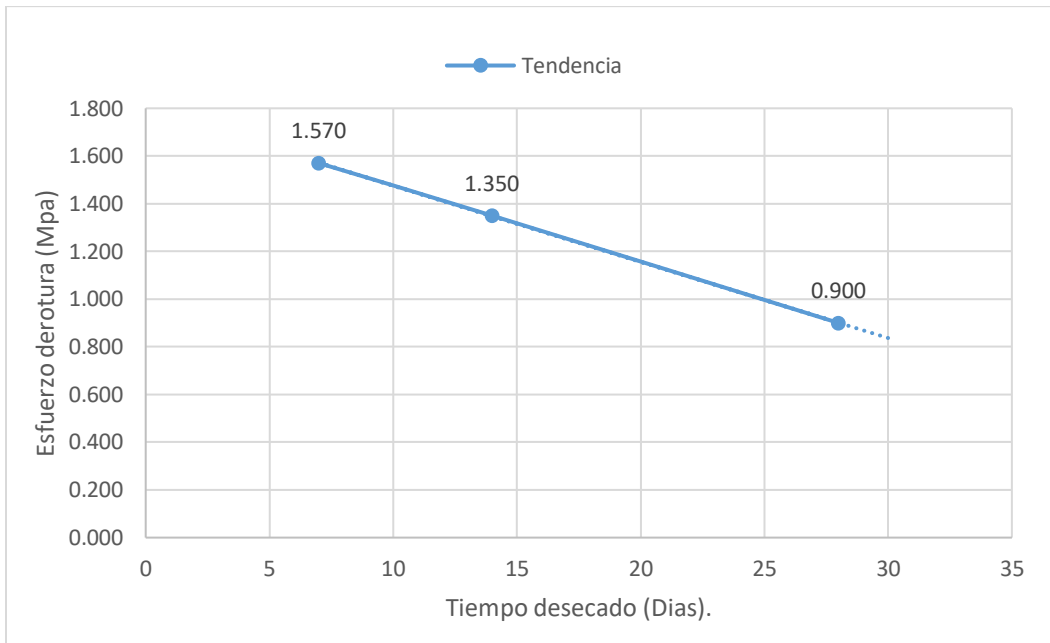


Figura 38. Esfuerzo de Rotura Promedio (Mpa)

El mayor esfuerzo de rotura obtenido fue a los 7 días, siendo este 1.570 Mpa (12% cerámica).

6. Análisis de Resultados

6.1 Respecto a la clasificación según S.U.C.S.

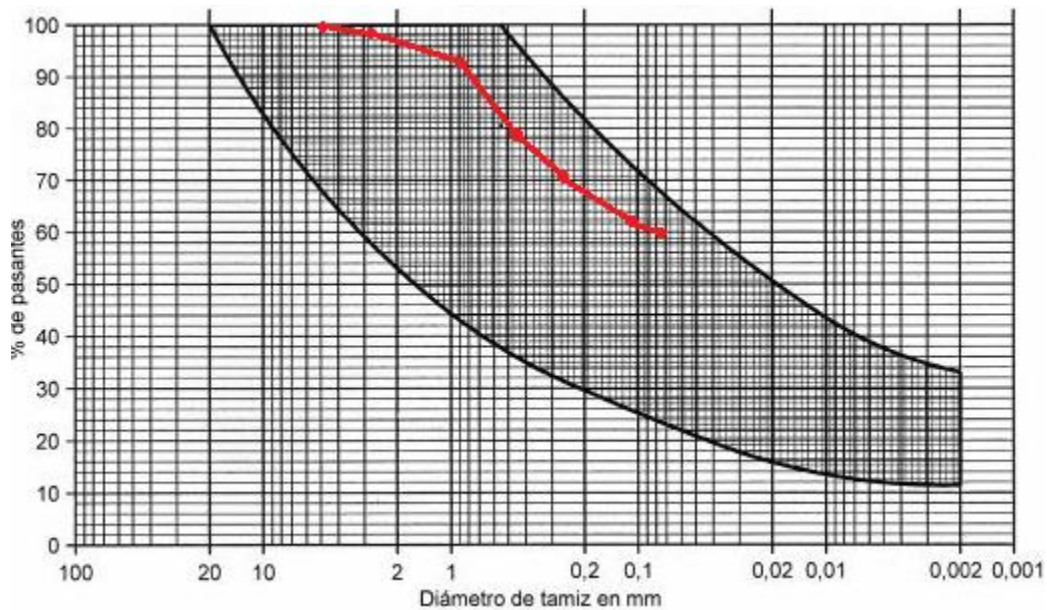


Figura 39. Resultados...

Luego de realizados los ensayos de límites de Atterberg y granulometría se encontró que el suelo usado corresponde a una arcilla de baja/media compresibilidad (CL). Para empezar, se realizó la granulometría encontrando que el suelo posee en mayor parte material que pasa el tamiz 200 (59.05%), por lo que puede ubicarse en una clasificación de suelo “fino”. Seguidamente la clasificación S.U.C.S hace uso de la carta de plasticidad de Casagrande, donde se evalúa el comportamiento del material mediante una gráfica de índice de plasticidad vs. Limite líquido, dando como resultado la ubicación del suelo trabajado dentro del rango perteneciente a la arcilla de baja/media compresibilidad (CL).

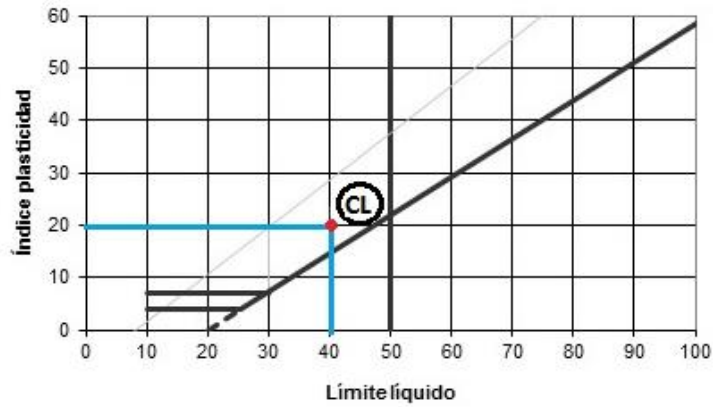


Figura 40. Carta de plasticidad de Casagrande

6.2 Naturaleza del material

La norma NTC 5324 recomienda clasificar al material con una relación entre granulometría y plasticidad, y de esta manera tener alguna certeza de que los bloques serán fabricados con un material óptimo para tal propósito.

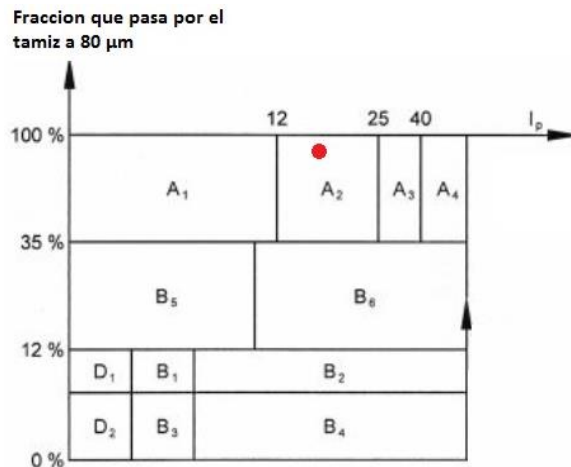


Figura 41. Clasificación del material

Fuente: norma ntc 5324, anexo A, A4.

Como puede observarse en la figura 41, la naturaleza del material se ubica en el rango A2, “material aceptable, pero con pocos finos”. Esto quiere decir, que, aunque el material es apto para la fabricación de bloques, se recomienda que tenga una cantidad mayor de finos para de esa manera, obtener resultados más satisfactorios.

6.3 Plasticidad

Según la NTC 5324, se recomienda que la plasticidad del material a trabajar se encuentre dentro del diagrama mostrado***, ya que si se encuentra dentro de este rango, es altamente probable que se obtengan resultados satisfactorios en todos los ensayos que se le realicen.

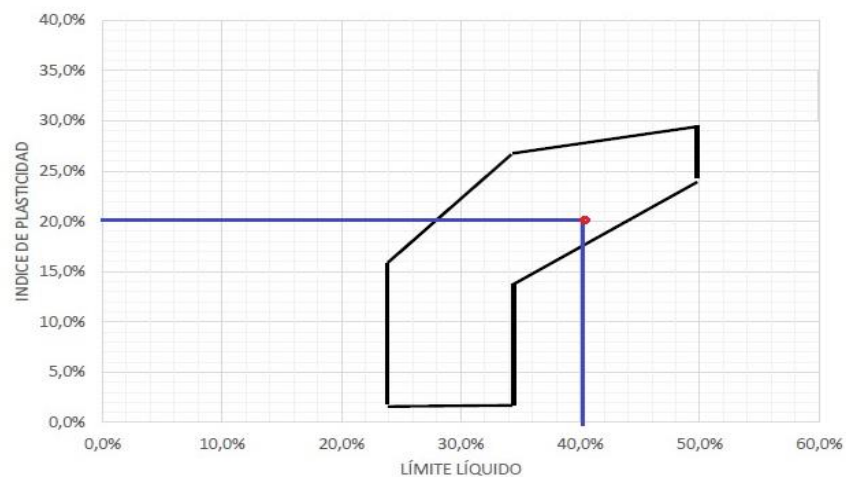


Figura 42. Diagrama de plasticidad

En nuestro caso particular, puede evidenciarse que la plasticidad se encuentra dentro del rango recomendado, por lo que los resultados obtenidos gozan de una alta fiabilidad.

6.4 Capilaridad

Con la aplicación de este ensayo se busca conocer el coeficiente de absorción propio de cada bloque, el cual indica que tan susceptibles son de absorber humedad por medio de un valor matemático, donde entre más alto sea este valor, más agua absorbe el bloque.

Este coeficiente está dado por la ecuación:

$$Cb = \frac{100M}{S\sqrt{t}}$$

Donde:

Cb= coeficiente de capilaridad

M= Masa del agua en gramos, absorbidos por el bloque.

S= Superficie en cm² de la cara sumergida.

t= Tiempo de la inmersión en minutos.

Tabla 12. *Cálculo de capilaridad suelo-cemento*

SUELO CEMENTO	ESPECIMEN	5%	8%	12%
	Área en contacto con el agua (cm)	340	339	340
	Masa de agua absorbida(g)	123	134	155

Tabla 13. *Cálculo de capilaridad suelo-cerámica*

SUELO CERÁMICA	ESPECIMEN	5%	8%	12%
	Área en contacto con el agua(cm ²)	340	338	339
	Masa de agua absorbida(g)	118	139	186

La NTC 5324 en su anexo C numeral C.2.3 recomienda que la verificación del coeficiente de capilaridad debe ser aceptada según se expresa en la NTC-ISO 2859-0, donde se indica que para un C_b menor que 20 hace referencia a un espécimen con poca capilaridad, es decir, que este el valor recomendado para este tipo de bloques y para un C_b menor de 40 hace referencia a un bloque con alta absorción de agua.

Tabla 14. *Valor C_b suelo-cemento*

Valor C_b SUELO	5%	8%	12%
CEMENTO	11,4	12,49	14,41

Tabla 15. *Valor C_b suelo-cerámica*

Valor C_b SUELO	5%	8%	12%
CERÁMICA	10,97	13	17,35

Se evidencia que todos los valores de coeficiente de absorción son menores que 20, por lo que están dentro del rango recomendado por la norma para este tipo de bloques, y se resalta el porcentaje en ambos bloques de cemento y cerámica de 5%, que registraron los valores más bajos de absorción.

6.5 Comparación mecánica de los bloques de los mampuestos

Luego de obtenidos los resultados se organizaron en tablas para su comparación, a continuación, se observan los promedios de R (esfuerzo de rotura) de los mejores resultados obtenidos por porcentaje de cemento y cerámica, el cual en ambos casos fue del 8%.

Tabla 16. *BS Cemento 8%*

PROMEDIO R(Mpa)	Tiempo (Dias)
0.870	7
1.420	14
2.270	28

Tabla 17. *BS Cerámica 8%*

PROMEDIO R(Mpa)	Tiempo (Dias)
1.840	7
1.200	14
0.960	28

Tabla 18. *Comparación BS Cemento y BS Cerámica de 8%*

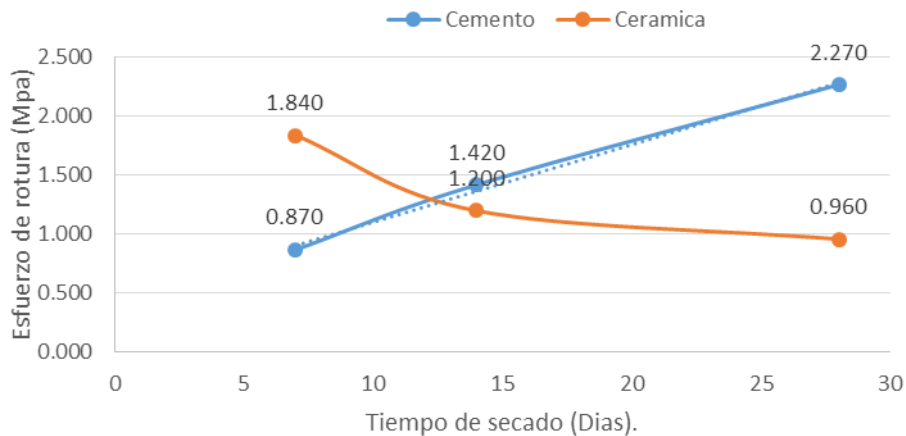


Figura 43. Esfuerzo de rotura promedio (Mpa)

De la tabla 17, se interpreta que los bloques de suelo cemento van mejorando su capacidad de resistencia conforme pasa el tiempo, obteniendo su mayor resistencia a los 28 días, por otra

parte, los bloques de suelo cerámica tienen un comportamiento inverso, teniendo su mejor resistencia a los 7 días, desmejorando la misma al pasar del tiempo.

La norma recomienda tener en cuenta la tabla 19 en la cual se muestra la resistencia mínima que debe tener el bloque para ser usado en la construcción y que bajo ningún caso debe ser menor que 0.8 veces el valor escogido.

Tabla 19. *Comparación de resistencia mínima de los bloques*

BLOQUES LLENOS	BSC 20	BSC 40	BSC 60
Resistencia mínima R para la fracción de 0.05 en Mpa.	2	4	6

Fuente: Norma técnica colombiana 5324, 3.4

Se eligió el valor BSC 20, que corresponde a 2 Mpa lo cual significa que la R no puede estar por debajo de 1.6 Mpa. En base a lo anterior se evidencio que los porcentajes que cumplen con este requerimiento son los de 12% en las 3 fechas y el de 8% a los 28 días para los bloques de suelo-cemento, y en cuanto a los bloques de suelo-cerámica se encontró que el único porcentaje en la única fecha que cumple dicho requerimiento es el porcentaje del 8% a los 7 días de fabricado, tal como se observa en la figura 44.

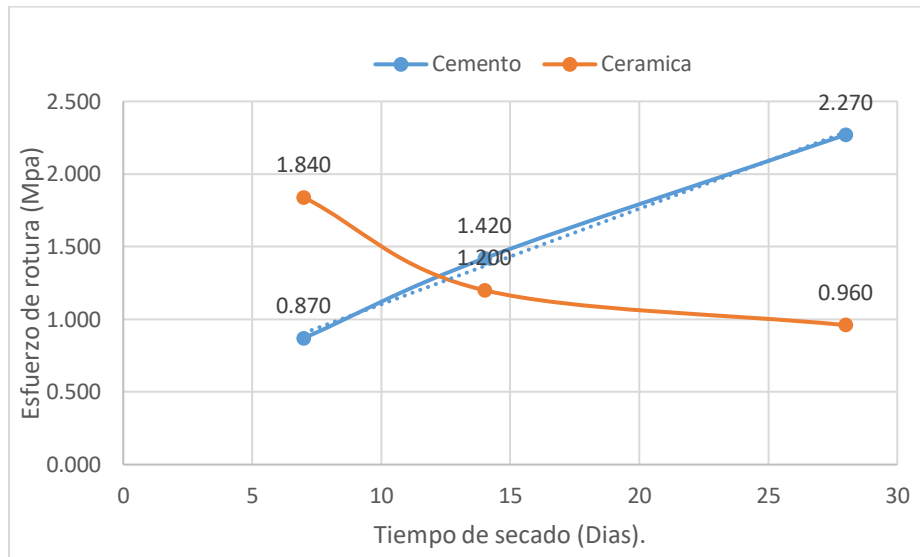


Figura 44. Esfuerzo de rotura promedio (Mpa)

7. Observaciones y Recomendaciones

De acuerdo con lo evidenciado en la sustracción del material de suelo directamente de la cuenca se espera que el material cuente con una humedad natural, por lo que para garantizar que el material se encuentre completamente seco se recomienda dejarlo secar resguardado de la lluvia un tiempo no menor a cuatro (4) días.

Para garantizar que el peso de los bloques entre si se mantenga en un valor relativamente constante se recomienda utilizar una medida patrón, en nuestro caso se utilizó un balde marcado de tal manera que cada vez que se llenaba de material hasta esta marca y se utilizaba esta misma cantidad para fabricar cada ladrillo el peso de estos oscilaba entre valores que van desde 9.5 kg hasta 10 kg.

Al momento de preparar los especímenes para realizar el ensayo de compresión seca, la norma NTC 5324 recomienda dividir los bloques a la mitad haciendo uso de un machete o cuchillo, pero este método no es del todo preciso por lo que en la mayoría de los casos se obtuvo cortes altamente irregulares dando como resultado el descarte del bloque teniendo en cuenta lo recomendado por la norma en su numeral 3.3 “CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS BLOQUES”. Es por ello por lo que, se recomienda hacer uso de una herramienta más precisa para garantizar que el corte proporcione la mayor precisión posible y no afecte la integridad del espécimen. Teniendo en cuenta esta observación se decidió hacer uso de la sierra de mesa universal presente en el laboratorio de construcciones del campus.

De acuerdo con el molde con el que cual se fabricaron los bloques se obtuvo una geometría semejante a los bloques de lego, en donde la tabla superior del bloque cuenta con saliente y la tabla inferior con depresiones, de formas circulares en ambos casos. Por esto se recomienda refrentar

tanto en la parte superior como la inferior de los bloques para lograr un área efectiva uniforme y que en el momento de realizar el ensayo de compresión seca la carga pueda distribuirse de forma apropiada.

En el momento de fabricar los bloques de suelo-cerámica se encontró que cuando se hace la mezcla con una cantidad de material mayor a 30 kg esta se vuelve inmanejable, debido a que cuando se le adiciona el agua se forman grumos de diferentes tamaños que impiden la correcta distribución de la humedad por toda la mezcla. Se recomienda que en el momento de hacer la mezcla de los materiales se utilicen cantidades menores a los 30 kg (Suficientes en este caso para fabricar 3 bloques).

Durante los ensayos de compresión seca se evidenció que entre mayor humedad contenían los bloques de suelo cerámica mejor era su comportamiento a este ensayo ya que en el lapso de tiempo entre 7 y 11 días los bloques de suelo cerámica presentaron mejor comportamiento a la prueba de compresión seca que los bloques de suelo cemento, debido a que presentaban fenómeno de aplastamiento manteniendo un comportamiento plástico antes de su falla total, comportamiento que no fue observado en los bloques que se encontraban secos.

Se recomienda hacer uso del molde de caras planas en la CINVA-RAM para la elaboración de los bloques, ya que de esta manera y gracias a la geometría de los bloques, estos no requerirán ser refrenados en búsqueda de que la carga se distribuya uniformemente evitando de igual manera la manipulación excesiva de los especímenes que puedan generar errores en la toma de los datos.

8. Conclusiones

Se concluye que según lo exigido por la NTC-5324, la cerámica en polvo no es un aditivo aceptable para fabricar bloques de suelo comprimido constructivamente eficientes, debido a que no cumple los criterios de aceptación BSC 20 de la norma NTC-5324. Sin embargo, cabe aclarar que esta norma solo rige a los bloques de suelo-cemento, por lo que los criterios mínimos de aceptación no están del todo ajustados en el caso de los bloques modificados con suelo-cerámica, por consiguiente, no se puede descartar totalmente la utilización de estos bloques en construcciones específicas, pues los resultados obtenidos en las pruebas de compresión seca y capilaridad no están tan apartadas de las pruebas obtenidas en los bloques de suelo cemento, por este motivo se recomienda seguir explorando en la investigación relacionada con la modificación de bloques utilizando polvo de cerámica.

Se concluye que los bloques con porcentaje de 5% de cerámica son los que presenta un menor coeficiente de capilaridad, mientras que los bloques con el porcentaje que mejor se comportó en la prueba de compresión seca fueron los bloques con el de 8% al cumplir los 7 días de fabricados.

Basándose en los ensayos realizados a los bloques, se concluye que las características halladas en los bloques de suelo cemento presentan mejor comportamiento a la compresión seca y a la capilaridad que los bloques de suelo-cerámica.

Teniendo en cuenta la granulometría y límites de plasticidad obtenidos del material, puede concluirse que se trata de una arcilla de baja compresibilidad (CL) completamente apta para la fabricación de los bloques, en la cual se tomaron en cuenta tres (3) aspectos recomendados por la norma para descubrir si en efecto, se trata de un material apropiado para la fabricación de bloques prensados, obteniendo resultados así: según la curva granulométrica, la norma 5324 recomienda

que se encuentre dentro de los rangos mostrados en la figura 41, en la cual se evidencia que se encuentra completamente dentro del rango recomendado, por lo que en este aspecto puede decirse que el material es apropiado, adicionalmente la figura 42 “diagrama de plasticidad” donde igualmente en este caso, el material cumple cabalmente con los valores recomendados de plasticidad, por lo que se concluye que la plasticidad presentada por el material usado, es la apropiada para tal fin, y por último, la norma recomienda que al material se le haga una clasificación de su naturaleza, relación que se muestra en la figura 41 “naturaleza del material” donde se encontró que el material pertenece a la clasificación A2, es decir, que es un material apto para la fabricación de bloques prensados, pero podría tener un mejor comportamiento si tuviera una cantidad de finos mayor.

Se concluye que para contar con la cerámica como un posible sustituto del cemento, los bloques de suelo cerámica deben ser usados en aquellos medios en donde se pueda garantizar que estos se encuentren expuestos a una humedad ambiente elevada para obtener características mecánicas similares a la encontradas a los 7 días después de su fabricación.

Referencias

- Arteaga, K.; Medina, O.H. & Gutiérrez, O.J. (2011). Bloques de tierra comprimida.
- Berry, P. & Reid, D. (1998). Mecánica de los suelos. México, D.F.: Mc Graw-Hill.
- CAMACOL (2012). Cámara Colombiana de la Construcción.
- Carvalho, M., & Ramos, F. (2015). Evaluación a lo largo del tiempo de las propiedades dinámicas. Revista de Ingeniería de construcción, 36. Recuperado de <http://www.ricuc.cl/index.php/ric/article/view/590/html>
- CEMEX (s.f.). Cemento hidráulico. Uso general. Bogotá, D.C. Recuperado de <https://www.cemexcolombia.com/documents/45752949/45757355/cemento-gris-uso-general.pdf/807460c9-4ace-e73f-a643-e62454d22887>
- DIMEC (2011). Unidad Resistencia de Materiales, Resistencia de Materiales Aplicada. Universidad de Chile.
- Duque, G. (2016). Geomecánica para ingenieros. Origen formación y constitución del suelo, fisicoquímica de las arcillas. Universidad Nacional de Colombia.
- FAO (s.f.). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- García, C. (2012). Hacia la Construcción Social del Conocimiento. Generación Creativa. Universidad Autónoma de Bucaramanga, vol. 1, No. 1.
- Gere, J. & Goodno, B. (2009). Mecánica de materiales. 7ª Edición. México, D.F.: Cengage Learning Editores, S.A. de C.V.
- Gonzalo A. Valdés & Jorge G. Rapimán. Propiedades Físicas y Mecánicas de Bloques de Hormigón Compuestos con Áridos Reciclados. Departamento de Ingeniería de Obras Civiles, Universidad de la Frontera, Francisco Salazar N° 01145, Temuco-Chile.

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

M. Carvalho, F. Ramos, J. Zegarra & C. Pereira. Evaluación a lo largo del tiempo de las propiedades mecánicas de los bloques de suelo-cemento utilizados en pavimentos semipermeables. Universidad e Católica do Salvador, Salvador. BRASIL 2016.

Mamlouk, M. & Zaniewski, J.P. (2009). Materiales para la ingeniería civil. Pearson Educación.

Martin, R. (2015). Incorporación de Escorias de Aluminio en la fabricación de productos de Arcilla cocida. Tesis Doctoral de Ingeniería de Minas y Energía, Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de http://oa.upm.es/39791/1/RAQUEL_MARTIN_CRESPO.pdf

Medina, H. (s.f.) Capítulo 1. Elasticidad.

Migración Colombia (2015). Propuesta de contratación. p.20. Recuperado de apps.migracioncolombia.gov.co/centrovirtual/.../120156230006563_00002.docx

Morales, C. (2015). Caracterización del sector en Colombia. Recuperado de <http://sectorconstruccionenelmercadodelmila.blogspot.com/2015/11/i.html>

Salazar, J.E. (2007). Resistencia de materiales básica para estudiantes de ingeniería. Resistencia de Materiales. Básica para estudiantes de ingeniería.

Sanz, K. (2015). Cerámicos, Ensayos y Trabajos.

Toharia, M. (2015). Satisfacer las necesidades humanas en la ciudad. Recuperado de https://elpais.com/elpais/2015/03/16/seres_urbanos/1426489200_142648.html

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

UNISIMA (s.f.). Arcilla blanco o caolín: Efectos secundarios, toxicidad, beneficios y propiedades.

Recuperado de <https://unisima.com/belleza/arcilla-blanca-caolin/>

Vasco, S. (s.f.). Viabilidad Técnica del Empleo de Bloques de Suelo Cemento (BSC) como pavimento articulado para vías terciarias.

Yepes, O. & Bedoya, C. (2012). El bloque de suelo cemento (BSC) al bloque de suelo Geopolimerizado (BSG). Tesis de Maestría en Construcción, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Antioquia. Recuperado de http://www.colmayor.edu.co/archivos/delbloquedesuelocementoal_bloq_qzsd.pdf

Anexos**ANEXO A****SUELO – CEMENTO 5%**

Tiempo: 7 Días

BLOQUE SUELO - CEMENTO 5%					
7 DIAS DE FRAGUADO					
Especimen (No)	Ancho efectivo (cm)	Largo (cm)	Seccion bruta (cm²)	Carga total (dN)	Esfuerzo de rotura (Mpa)
1	14.2	14.3	2031	1520	0.749
2	14.1	14.2	2002	1450	0.724
3	14.3	14.2	2031	1430	0.704
4	14.2	14.2	2016	1170	0.580
5	14.0	14.1	1974	1620	0.821
6	14.3	14.2	2033	1540	0.757
7	14.5	14.4	2088	1520	0.728
8	14.3	14.3	2045	1350	0.660
9	14.2	14.1	2002	1410	0.704
10	14.1	14.0	1974	1540	0.780
				Esfuerzo de rotura promedio	0.72

Tiempo: 14 Días

BLOQUE SUELO - CEMENTO 5%					
14 DIAS DE FRAGUADO					
Especimen (No)	Ancho efectivo (cm)	Largo (cm)	Seccion bruta (cm²)	Carga total (dN)	Esfuerzo de rotura (Mpa)
1	14.5	14.4	2088	3000	1.4368
2	14.3	14.3	2045	2810	1.3742
3	14.3	14.3	2045	2950	1.4426
4	14.2	14.2	2016	2780	1.3787
5	14.3	14.2	2031	2150	1.0588
6	14.2	14.1	2002	2650	1.3235
7	14.2	14.3	2031	2990	1.4725
8	14.2	14.2	2016	2730	1.3539
9	14.1	14.3	2016	2540	1.2597
10	14.4	14.3	2059	3120	1.5152
				Esfuerzo de rotura promedio	1.36

Tiempo: 28 Días

BLOQUE SUELO - CEMENTO 5%					
28 DIAS DE FRAGUADO					
Especimen (No)	Ancho efectivo (cm)	Largo (cm)	Seccion bruta (cm²)	Carga total (dN)	Esfuerzo de rotura (Mpa)
1	14.3	14.3	2045	2980	1.4573
2	14.2	14.2	2016	2860	1.4184
3	14.3	14.2	2031	3080	1.5168
4	14.2	14.1	2002	3320	1.6582
5	14.2	14.3	2031	2840	1.3986
6	14.1	14.2	2002	2390	1.1937
7	14.3	14.2	2031	2860	1.4085
8	14.2	14.2	2016	3320	1.6465
9	14.0	14.1	1974	3150	1.5957
10	14	14.2	1988	3280	1.6499
				Esfuerzo de rotura promedio	1.49

SUELO – CEMENTO 8%

Tiempo: 7 Días

BLOQUE SUELO - CEMENTO 8%					
7 DIAS DE FRAGUADO					
Especimen (No)	Ancho efectivo (cm)	Largo (cm)	Seccion bruta (cm²)	Carga total (dN)	Esfuerzo de rotura (Mpa)
1	14.5	14.3	2074	1780	0.858
2	14.4	14.4	2074	1350	0.651
3	14.5	14.5	2103	1680	0.799
4	14.3	14.2	2031	2480	1.221
5	14.2	14.3	2031	1740	0.857
6	14.4	14.3	2059	1750	0.850
7	14.5	14.5	2103	1770	0.842
8	14.4	14.4	2074	2150	1.037
9	14.4	14.4	2074	1540	0.743
10	14.4	14.4	2074	1720	0.829
				Esfuerzo de rotura promedio	0.87

Tiempo: 14 Días

BLOQUE SUELO - CEMENTO 8%					
14 DIAS DE FRAGUADO					
Especimen (No)	Ancho efectivo (cm)	Largo (cm)	Seccion bruta (cm²)	Carga total (dN)	Esfuerzo de rotura (Mpa)
1	14.3	14.2	2031	2510	1.236
2	14.2	14.2	2016	3400	1.686
3	14.0	14.1	1974	2830	1.434
4	14.1	14.2	2002	2580	1.289
5	14.0	14.1	1974	3760	1.905
6	14.3	14.2	2031	2240	1.103
7	14.3	14.2	2031	2730	1.344
8	14.4	14.4	2074	3320	1.601
9	14.5	14.5	2103	2910	1.384
10	14.3	14.0	2002	2480	1.239
				Esfuerzo de rotura promedio	1.42

Tiempo: 28 Días

BLOQUE SUELO - CEMENTO 8%					
28 DIAS DE FRAGUADO					
Especimen (No)	Ancho efectivo (cm)	Largo (cm)	Seccion bruta (cm²)	Carga total (dN)	Esfuerzo de rotura (Mpa)
1	14.1	14.4	2030	4440	2.187
2	14.3	14.2	2031	4920	2.423
3	14.3	14.2	2031	5150	2.536
4	14.4	14.2	2045	4250	2.078
5	14.5	14.1	2045	4510	2.206
6	14.3	14.2	2031	4470	2.201
7	14.2	14.4	2045	5360	2.621
8	14.4	14.3	2059	4640	2.253
9	14.5	14.1	2045	3810	1.864
10	14.2	14.3	2031	4680	2.305
				Esfuerzo de rotura promedio	2.27

SUELO – CEMENTO 12%

Tiempo: 7 Días

BLOQUE SUELO - CEMENTO 12%					
7 DIAS DE FRAGUADO					
Especimen (No)	Ancho efectivo (cm)	Largo (cm)	Seccion bruta (cm²)	Carga total (dN)	Esfuerzo de rotura (Mpa)
1	14.5	14.4	2088	3400	1.628
2	14.4	14.4	2074	3030	1.461
3	14.3	14.4	2059	2790	1.355
4	14.2	14.2	2016	3640	1.805
5	14.3	14.3	2045	3320	1.624
6	14.4	14.4	2074	3500	1.688
7	14.2	14.3	2031	3050	1.502
8	14.5	14.5	2103	3240	1.541
9	14.2	14.2	2016	3240	1.607
10	14.4	14.4	2074	3150	1.519
				Esfuerzo de rotura promedio	1.57

Tiempo: 14 Días

BLOQUE SUELO - CEMENTO 12%					
14 DIAS DE FRAGUADO					
Especimen (No)	Ancho efectivo (cm)	Largo (cm)	Seccion bruta (cm²)	Carga total (dN)	Esfuerzo de rotura (Mpa)
1	14.3	14.4	2059	4000	1.943
2	14.4	14.4	2074	3920	1.890
3	14.5	14.3	2074	2790	1.346
4	14.5	14.4	2088	3940	1.887
5	14.3	14.3	2045	3830	1.873
6	14.3	14.4	2059	4210	2.044
7	14.2	14.3	2031	4120	2.029
8	14.3	14.2	2031	4090	2.014
9	14.2	14.4	2045	2850	1.394
10	14.2	14.4	2045	3610	1.765
				Esfuerzo de rotura promedio	1.82

Tiempo: 28 Días

BLOQUE SUELO - CEMENTO 12%					
28 DIAS DE FRAGUADO					
Especimen (No)	Ancho efectivo (cm)	Largo (cm)	Seccion bruta (cm²)	Carga total (dN)	Esfuerzo de rotura (Mpa)
1	14.3	14.4	2059	5210	2.530
2	14.2	14.3	2031	4710	2.320
3	14.3	14.2	2031	4030	1.985
4	14.2	14.4	2045	2580	1.262
5	14.2	14.4	2045	3110	1.521
6	14.3	14.4	2059	3400	1.651
7	14.2	14.3	2031	4520	2.226
8	14.3	14.2	2031	4170	2.054
9	14.2	14.4	2045	3850	1.883
10	14.2	14.4	2045	4850	2.372
				Esfuerzo de rotura promedio	1.98

SUELO – CERAMICA 5%

Tiempo: 7 Días

BLOQUE SUELO - CERAMICA 5%					
7 DIAS DE FRAGUADO					
Especimen (No)	Ancho efectivo (cm)	Largo (cm)	Seccion bruta (cm²)	Carga total (dN)	Esfuerzo de rotura (Mpa)
1	14.4	14.4	2074	3120	1.505
2	14.4	14.4	2074	2390	1.153
3	14.5	14.4	2088	3005	1.439
4	14.4	14.4	2074	2970	1.432
5	14.5	14.5	2103	3590	1.707
6	14.5	14.5	2103	3700	1.760
7	14.3	14.4	2059	3420	1.661
8	14.3	14.3	2045	3210	1.570
9	14.4	14.4	2074	2870	1.384
10	13.5	14.5	1958	2710	1.384
				Esfuerzo de rotura promedio	1.5

Tiempo: 14 Días

BLOQUE SUELO - CERAMICA 5%					
14 DIAS DE FRAGUADO					
Especimen (No)	Ancho efectivo (cm)	Largo (cm)	Seccion bruta (cm²)	Carga total (dN)	Esfuerzo de rotura (Mpa)
1	14.5	14.5	2103	2350	1.118
2	14.5	14.5	2103	2590	1.232
3	14.3	14.4	2059	3440	1.671
4	14.3	14.3	2045	3290	1.609
5	14.4	14.4	2074	3230	1.558
6	14.2	14.3	2031	3100	1.527
7	14.1	14.2	2002	3420	1.708
8	14.3	14.2	2031	2670	1.315
9	14.2	14.2	2016	2830	1.403
10	14.0	14.1	1974	2280	1.155
				Esfuerzo de rotura promedio	1.43

Tiempo: 28 Días

BLOQUE SUELO - CERAMICA 5%					
28 DIAS DE FRAGUADO					
Especimen (No)	Ancho efectivo (cm)	Largo (cm)	Seccion bruta (cm²)	Carga total (dN)	Esfuerzo de rotura (Mpa)
1	14.3	14.2	2031	2580	1.271
2	14.2	14.1	2002	2330	1.164
3	14.2	14.3	2031	2150	1.059
4	14.2	14.2	2016	1870	0.927
5	14.1	14.0	1974	2410	1.221
6	14.2	14.3	2033	2420	1.190
7	14.4	14.5	2088	2350	1.125
8	14.3	14.3	2045	2180	1.066
9	14.1	14.2	2002	2210	1.104
10	14.0	14.1	1974	2230	1.130
				Esfuerzo de rotura promedio	1.23

SUELO – CERAMICA 8%

Tiempo: 7 Días

BLOQUE SUELO - CERAMICA 8%					
7 DIAS DE FRAGUADO					
Especimen (No)	Ancho efectivo (cm)	Largo (cm)	Seccion bruta (cm²)	Carga total (dN)	Esfuerzo de rotura (Mpa)
1	14.2	14.3	2031	3360	1.655
2	14.1	14.2	2002	3910	1.953
3	14.3	14.2	2031	3970	1.955
4	14.2	14.2	2016	3930	1.949
5	14.0	14.1	1974	3010	1.525
6	14.3	14.2	2033	3850	1.893
7	14.5	14.4	2088	4080	1.954
8	14.3	14.3	2045	3570	1.746
9	14.2	14.1	2002	3820	1.908
10	14.1	14.0	1974	3720	1.884
				Esfuerzo de rotura promedio	1.84

Tiempo: 14 Días

BLOQUE SUELO - CERAMICA 8%					
14 DIAS DE FRAGUADO					
Especimen (No)	Ancho efectivo (cm)	Largo (cm)	Seccion bruta (cm²)	Carga total (dN)	Esfuerzo de rotura (Mpa)
1	14.2	14.3	2031	2420	1.192
2	14.1	14.2	2002	2200	1.099
3	14.3	14.2	2031	1850	0.911
4	14.2	14.2	2016	2720	1.349
5	14.0	14.1	1974	2820	1.429
6	14.3	14.2	2033	2570	1.264
7	14.5	14.4	2088	2350	1.125
8	14.3	14.3	2045	2540	1.242
9	14.2	14.1	2002	2640	1.319
10	14.1	14.0	1974	2130	1.079
				Esfuerzo de rotura promedio	1.2

Tiempo: 28 Días

BLOQUE SUELO - CERAMICA 8%					
28 DIAS DE FRAGUADO					
Especimen (No)	Ancho efectivo (cm)	Largo (cm)	Seccion bruta (cm²)	Carga total (dN)	Esfuerzo de rotura (Mpa)
1	14.2	14.3	2031	1660	0.817
2	14.1	14.2	2002	1880	0.939
3	14.3	14.2	2031	2260	1.113
4	14.2	14.2	2016	2050	1.017
5	14.0	14.1	1974	1850	0.937
6	14.3	14.2	2033	2230	1.097
7	14.5	14.4	2088	1610	0.771
8	14.3	14.3	2045	1940	0.949
9	14.2	14.1	2002	2030	1.014
10	14.1	14.0	1974	1850	0.937
				Esfuerzo de rotura promedio	0.96

SUELO – CERAMICA 12%

Tiempo: 7 Días

BLOQUE SUELO - CERAMICA 12%					
7 DIAS DE FRAGUADO					
Especimen (No)	Ancho efectivo (cm)	Largo (cm)	Seccion bruta (cm²)	Carga total (dN)	Esfuerzo de rotura (Mpa)
1	14.2	14.3	2031	3000	1.477
2	14.1	14.2	2002	3120	1.558
3	14.3	14.2	2031	3780	1.862
4	14.2	14.2	2016	3340	1.656
5	14.0	14.1	1974	2960	1.499
6	14.3	14.2	2033	2730	1.343
7	14.5	14.4	2088	3170	1.518
8	14.3	14.3	2045	3400	1.663
9	14.2	14.1	2002	3250	1.623
10	14.1	14.0	1974	2950	1.494
				Esfuerzo de rotura promedio	1.57

Tiempo: 14 Días

BLOQUE SUELO - CERAMICA 12%					
14 DIAS DE FRAGUADO					
Especimen (No)	Ancho efectivo (cm)	Largo (cm)	Seccion bruta (cm²)	Carga total (dN)	Esfuerzo de rotura (Mpa)
1	14.2	14.3	2031	2610	1.285
2	14.1	14.2	2002	2710	1.354
3	14.3	14.2	2031	2710	1.335
4	14.2	14.2	2016	2890	1.433
5	14.0	14.1	1974	3020	1.530
6	14.3	14.2	2033	2480	1.220
7	14.5	14.4	2088	2650	1.269
8	14.3	14.3	2045	2840	1.389
9	14.2	14.1	2002	2920	1.458
10	14.1	14.0	1974	2340	1.185
				Esfuerzo de rotura promedio	1.35

Tiempo: 28 Días

BLOQUE SUELO - CERAMICA 12%					
28 DIAS DE FRAGUADO					
Especimen (No)	Ancho efectivo (cm)	Largo (cm)	Seccion bruta (cm²)	Carga total (dN)	Esfuerzo de rotura (Mpa)
1	14.3	14.3	2048	1880	0.918
2	14.5	14.2	2059	1780	0.864
3	14.3	14.2	2031	1710	0.842
4	14.2	14.2	2016	1760	0.873
5	14.1	14.1	1988	1930	0.971
6	14.2	14.2	2016	1850	0.917
7	14.1	14.4	2030	1750	0.862
8	14.3	14.3	2045	1780	0.870
9	14.2	14.1	2002	1680	0.839
10	14.0	14.0	1960	2010	1.026
				Esfuerzo de rotura promedio	0.9