

**Estudio y elaboración de ladrillos a partir de un suelo con adición de cemento al 10%
y 15% del peso y fibras metálicas**

Julieth Paola Morales Mejía

Cristian Eduardo Rey Palacios

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Civil

Director:

Ludwing Pérez Bustos

Magister en Ingeniería Civil

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2018

Dedicatoria

Principalmente a Dios quien hace todo posible, a mi madre por enseñarme a tener fe y esperanza, a mi padre, mi hermano, mi familia y amigos por ser un apoyo incondicional en este camino.

Julieth Paola Morales Mejía.

Agradezco primeramente a Dios por hacer posible este triunfo, a mis padres y mi hermano por ser el apoyo más grande que con sus palabras y amor me acompañan en cada paso que doy y finalmente a mis amigos por el apoyo brindado para lograr este éxito.

Cristian Eduardo Rey Palacios.

Agradecimientos

Agradecemos la colaboración prestada por PREFASUR en cabeza del ingeniero Fabio Monsalve, al Técnico Laboratorista Jaime Cadena por su orientación y acompañamiento durante los ensayos realizados, a nuestro director el Magister Ludwing Pérez Bustos por guiarnos y aconsejarnos a lo largo de este proyecto y a todos los docentes que nos aportaron sus conocimientos y nos guiaron para finalmente alcanzar este logro.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción.....	17
1. Objetivos	19
1.1. Objetivo General.....	19
1.2. Objetivos Específicos.	19
2. Marco Teórico	20
2.1. Suelo - Cemento.....	20
2.1.1. Suelo.....	20
2.1.1.1. Clasificación de los suelos	21
2.1.1.2. Suelos aptos para mezclas de suelo-cemento.....	22
2.1.1.3. Clasificación de los suelos para mezclas de suelo-cemento	24
2.1.2. Cemento.....	25
2.1.3. Agua	25
2.1.4. Diseño de mezcla de suelo-cemento.....	25
2.1.5. Elaboración de ladrillos de suelo-cemento.....	26
2.2. Fibras como refuerzo	28

ESTUDIO Y ELABORACIÓN DE LADRILLOS DE SUELO CEMENTO Y FIBRAS METÁLICAS **8**

2.2.1.	Tipos de Fibras.	28
2.2.2.	Clasificación de Fibras.	29
3.	Metodología	31
3.1.	Selección del Suelo de Trabajo y Caracterización del Material	31
3.2.	Clasificación del Suelo	31
3.3.	Elaboración de Moldes y Ladrillos	31
3.4.	Ensayos de Laboratorio a Ladrillos	32
3.5.	Análisis de resultados	32
4.	Resultados	33
4.1.	Ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos	33
4.2.	Ensayo para la determinación del límite líquido, del límite plástico y del índice de plasticidad de los suelos cohesivos.	36
4.3.	Ensayo de Próctor Estándar	39
4.4.	Ensayo a Compresión Simple de muestras de suelo	42
4.5.	Elaboración de los ladrillos de suelo-cemento.....	44
4.6.	Ensayo a Compresión Simple de LC y LF	49
4.7.	Ensayo a Compresión Simple de Muretes	57
5.	Conclusiones	60

ESTUDIO Y ELABORACIÓN DE LADRILLOS DE SUELO CEMENTO Y FIBRAS METÁLICAS **9**

6. Recomendaciones 62

Referencias bibliográficas 62

Apéndices 65

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Límites Líquidos para las 3 muestras de suelo.....	38
Tabla 2. Límites Plásticos para las 3 muestras de suelo.....	38
Tabla 3. Clasificación de las muestras de suelo por el Método SUCS.....	38
Tabla 4. Valores de Fuerza Axial a Compresión Simple para las dos muestras de suelo. .	44
Tabla 5. Propiedades Técnicas de la Fibra Dramix 3D. Datos obtenidos de http://www.fibrometals.ro/es/fibras-metalicas-de-ganchos/	47
Tabla 6. Fuerzas axiales promedio obtenidos del Ensayo a Compresión a ladrillos con 10% de cemento a los 7 días.	50
Tabla 7. Fuerzas axiales promedio obtenidos del Ensayo a Compresión a ladrillos con 15% de cemento a los 7 días.	50
Tabla 8. Fuerzas axiales promedio obtenidos del Ensayo a Compresión a ladrillos con 10% de cemento a los 14 días.	51
Tabla 9. Fuerzas axiales promedio obtenidos del Ensayo a Compresión a ladrillos con 15% de cemento a los 14 días.	51
Tabla 10. Fuerzas axiales promedio obtenidos del Ensayo a Compresión a ladrillos con 10% de cemento a los 28 días.....	52
Tabla 11. Fuerzas axiales promedio obtenidos del Ensayo a Compresión a ladrillos con 15% de cemento a los 28 días.....	52

ESTUDIO Y ELABORACIÓN DE LADRILLOS DE SUELO CEMENTO Y FIBRAS METÁLICAS **11**

Tabla 12. Clase de resistencia a la Compresión Seca.....	55
Tabla 13. Resistencia a Compresión de Ladrillos en Mpa.	55
Tabla 14. Valores calculados de Media, Desviación y Coeficiente de Variación para los valores de Resistencia de Ladrillos.	56
Tabla 15. Fuerzas axiales de Muretes a Compresión.	57
Tabla 16. Factores de Corrección Altura contra Espesor, para la resistencia a la Compresión de Muretes de Mampostería.....	58
Tabla 17. Valores de Resistencia a Compresión de Muretes corregidos por medio de la norma NTC 3495.....	59

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Muestra de suelo 1.	33
Figura 2. Muestra de suelo 2.	33
Figura 3. Muestra de suelo 3.	34
Figura 4. Lavado de las muestras de suelo.	34
Figura 5. Tamizado Mecánico para Ensayo Granulométrico.	35
Figura 6. Ensayo de Casagrande para el cálculo de Límite Líquido.	36
Figura 7. Muestras obtenidas del Ensayo de Casagrande.	37
Figura 8. Muestras obtenidas del Ensayo de Límite Plástico.	37
Figura 9. Ensayo de Próctor Estándar.	40
Figura 10. Muestras obtenidas del Ensayo de Próctor Estándar.	41
Figura 11. Gráfica de Humedad Óptima, Ensayo de Próctor Estándar para la muestra 1.	41
Figura 12. Gráfica de Humedad Óptima, Ensayo de Próctor Estándar para la muestra 2.	42
Figura 13. Cilindros de muestra de suelo antes del Ensayo de Compresión Simple.	43
Figura 14. Ensayos de Compresión Simple.	43
Figura 15. Cilindros de muestra de suelo antes del Ensayo de Compresión Simple.	44
Figura 16. Ladrillo de dimensiones 20 x 10 x 5.5 cm.	45
Figura 17. Fibra Metálica de Gancho Dramix 3D.	46
Figura 18. Dimensiones de la Fibra Metálica.	46

ESTUDIO Y ELABORACIÓN DE LADRILLOS DE SUELO CEMENTO Y FIBRAS METÁLICAS **13**

Figura 19. Medición de la humedad natural del suelo después de la extracción. (Peso de la Tara, Peso Suelo Húmedo y Peso Suelo Seco respectivamente)..... 47

Figura 20. Maquina empleada en la elaboración de los ladrillos de suelo-cemento. 48

Figura 21. Muestra de ladrillos obtenidos en la planta. 48

Figura 22. Revisión de Calidad de los ladrillos preliminares..... 49

Figura 23. Ensayo a Compresión Simple de LC y LF..... 50

Figura 24. Gráfica Resistencia vs Tiempo para los ladrillos de 10% de cemento del peso. (LC y LF)..... 53

Figura 25. Gráfica Resistencia vs Tiempo para los ladrillos de 15% de cemento del peso. (LC y LF)..... 54

Figura 26. Ensayo a Compresión Simple de Muretes. 57

Figura 27. Interpolación Lineal para el Factor de Corrección..... 59

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice 1. Clasificación Muestra 1 según su Granulometría.	66
Apéndice 2. Clasificación Muestra 2 según su Granulometría.	67
Apéndice 3. Clasificación Muestra 3 según su Granulometría.	68
Apéndice 4. Límites Líquidos para las 3 muestras de suelo.....	69
Apéndice 5. Límites Plásticos para las 3 muestras de suelo.....	71
Apéndice 6. Ensayo de Próctor Estándar para la muestra 1.	72
Apéndice 7. Ensayo de Próctor Estándar para la muestra 2.	74
Apéndice 8. Ensayo de Compresión Simple para las dos muestras de suelo.	75
Apéndice 9. Tabla de tamaño muestral para los ensayos a ladrillos de suelo- cemento.	79
Apéndice 10. Tabla de cálculo de peso del suelo según las dimensiones del ladrillo.....	80
Apéndice 11. Peso de cemento y fibras metálicas, requerido para la fabricación de los ladrillos.	81

Resumen

Título: Estudio y elaboración de ladrillos a partir de un suelo con adición de cemento al 10% y 15% del peso y fibras metálicas.*

Autor: Julieth Paola Morales Mejía.
Cristian Eduardo Rey Palacios.**

Palabras clave: Suelo, adobe, fibras metálicas, ladrillos, cemento, construcción.

Descripción:

La humanidad ha tenido desde sus inicios una estrecha relación de dependencia con el suelo para su supervivencia, tanto para la producción de alimentos como para el refugio de la intemperie y de los predadores. Cuando el hombre comenzó a manipular los recursos naturales como materiales de construcción, el adobe fue el primero en ser empleado, siendo obtenido de la mezcla plástica del suelo y del agua después de ser secado de manera natural, con lo que se producían bloques rígidos para la construcción de los muros, igual que como se hacía con la piedra. El suelo es objetivo de los investigadores que buscan el avance de la tecnología, mediante el rescate y el conocimiento de las técnicas utilizadas en el pasado, al igual que el desarrollo de sistemas constructivos innovadores y coherentes, caracterizados por la simplicidad, la eficiencia y el bajo costo. Es por esto que con el presente proyecto se busca un ladrillo ecológico de suelo con adición de cemento al 10% y 15% y de fibras metálicas que, en comparación con ladrillos de suelo-cemento tradicionales a través de ensayos de flexión y compresión, provea características mecánicas óptimas para su empleo en el mundo actual de la construcción.

* Trabajo de Grado.

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Ludwing Pérez Bustos, Magister en Ingeniería Civil.

Abstract

Title: Study and elaboration of bricks from a soil with addition of cement to 10% and 15% of weight and metal fibers.*

Author: Julieth Paola Morales Mejía.
Cristian Eduardo Rey Palacios.**

Keywords: Soil, adobe, metal fibers, bricks, cement, construction.

Description:

Since the beginning, humanity has had a close relationship of dependence with the soil for its survival, both for food production and for shelter from outdoor weather and predators. When man began to manipulate natural resources as building materials, adobe was the first to be used, being obtained from the plastic mixture of soil and water after being dried naturally, which produced rigid blocks for the construction of the walls, just as was done with the stone. Soil is the target of researchers seeking the advancement of technology, through the rescue and knowledge of techniques used in the past, as well as the development of innovative and coherent construction systems, characterized by simplicity, efficiency and low cost. This is why the present project seeks an ecological soil brick with addition of 10% and 15% cement and of metal fibers that, compared to traditional soil-cement bricks through flexural and compression tests, provide mechanical characteristics that are optimal for use in today's construction world.

* Degree Work.

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Ludwing Pérez Bustos, Magister in Civil Engineering.

Introducción

La humanidad ha tenido desde sus inicios una estrecha relación de dependencia con el suelo para su supervivencia, tanto para la producción de alimentos como para el refugio de la intemperie y de los predadores. En cuanto al cobijo, fue uno de los primeros materiales utilizados por el hombre, junto a la madera y la piedra, en sus formas originales. Estos refugios consistieron en cuevas naturales o fueron construidos con madera en rollizos o con piedras amontonadas.

El Ladrillo es el material de construcción más antiguo fabricado por el hombre. En los primeros tiempos se comenzó elaborándolo en su forma cruda, que es el adobe. Su difusión se debió a que el hombre le dio tamaño que se acomodaba a su mano y para hacerlo recurrió a materias primas accesibles, que se pueden encontrar casi en cualquier parte. No puede menos que llamarnos la atención que con elementos tan comunes como la tierra, el agua, el aire (para el secado) y el fuego (para la cocción) el hombre logró fabricar un material de construcción que, con muy pocas variantes tecnológicas, siguen manteniendo plena vigencia y demanda hasta nuestros días.

Importantes testimonios arqueológicos, hoy declarados patrimonio histórico de la Humanidad, perduran desde hace siglos en los cinco continentes confirmando que, bajo ciertas condiciones, las construcciones con tierra cruda conservan al resguardo del tiempo sus cualidades físicas, mecánicas y ambientales. Prueba de ello son las centenarias ciudades de Shibán o Sanná en Yemen, de Paquimé o Casas Grandes en México, Chan-Chan en Perú,

o de Tulor en Chile.

En nuestro continente, la construcción con tierra cruda fue el sistema dominante en las ciudades Iberoamericanas durante el período colonial alcanzando su máximo desarrollo tecnológico a fines del siglo XIX hasta las primeras décadas del presente siglo. Sin embargo lejos de desaparecer, las construcciones con tierra cruda son hoy en día un hecho innegable y, en muchos países una solución irremplazable.

La construcción con tierra representa hoy un gran potencial de desarrollo, especialmente en la producción de viviendas de interés social, por lo que resulta relevante actualizar, perfeccionar y proponer nuevos desarrollos en esta tecnología vernácula, aparentemente humilde, pero a la vez compleja y de gran interés por su innegable dimensión social, económica y política. Desde esta perspectiva, el uso de la tierra -materia prima abundante, económica y reciclable como ninguna otra- constituye en nuestro país, una alternativa eficaz para proveer de viviendas dignas a amplios sectores de nuestra población, hoy carentes de techo.

1. Objetivos

1.1. Objetivo General.

Estudiar y elaborar ladrillos a partir de un suelo con adición de cemento al 10% y 15% del peso y fibras metálicas.

1.2. Objetivos Específicos.

- Seleccionar el suelo de trabajo por medio del ensayo a compresión simple de 3 tipos de suelo.
- Caracterizar física y mecánicamente el suelo.
- Elaborar los ladrillos de suelo-cemento tanto de control como los de adición de fibras metálicas, para posteriormente evaluar la resistencia a la compresión con base en la norma NTC 3495
- Comparar los resultados entre las unidades de control de suelo-cemento y las unidades de suelo-cemento con fibras.

2. Marco Teórico

2.1. Suelo - Cemento.

El suelo-cemento es el resultado de una mezcla de suelo pulverizado con determinadas cantidades de cemento portland y agua que se compactan y curan, para obtener densidades altas y para que se produzca su endurecimiento más efectivo. De esta forma se obtiene un nuevo material resistente a los esfuerzos de compresión prácticamente impermeable termo aislante y estable en el tiempo.

Desde hace más de 60 años, en diversas partes del mundo, aunque no de forma masiva y generalizada, se viene empleando en la construcción de base y sub-base de carreteras, caminos, aeropuertos, calles y en la ejecución de edificaciones de viviendas, naves agropecuarias e industriales. Durante los últimos años estas mezclas se han empleado en la construcción de canales y otras obras relacionadas con la rama hidráulica. De los tres componentes del suelo-cemento, el del mayor volumen y más complejo es el suelo.

2.1.1. Suelo. El suelo se puede definir como un material trifásico compuesto por una fase sólida, una líquida y otra gaseosa. La fase sólida la constituyen minerales variables formando una estructura que depende de los tipos, el tamaño de sus diferentes partículas y la rigidez de su organización. La estructura del suelo en la naturaleza tiene un elevado volumen de vacíos en forma de poros que pueden encontrarse total o parcialmente llenos de agua o agua y gas.

Desde el punto de vista de su empleo como material de construcción, el suelo se caracteriza en dos grandes grupos; los suelos finos, compuestos por arcillas y limos y los suelos gruesos formados por arenas y gravas. Estos dos grupos se fraccionan en subgrupos, tomando en cuenta la granulometría o distribución de los diferentes tamaños de partículas que contienen y la plasticidad que ofrecen con diferentes contenidos de humedad. Cada subgrupo responde al comportamiento frente a las acciones internas y externas, como por ejemplo: la permeabilidad, las densidades posibles de alcanzar, las deformaciones que pueden sufrir bajo carga y la estabilidad o resistencia entre otros parámetros.

Basado en los sistemas de clasificación se pueden abarcar una gran mayoría de los suelos creados por la naturaleza en un reducido número de subgrupos y con relativa facilidad obtener una considerable información sobre cada suelo en específico.

2.1.1.1. Clasificación de los suelos

- **Suelos finos.** En los suelos de granos finos como los suelos arcillosos y limosos cuando se mezclan con cemento y agua se producen durante el período de hidratación, unas fuertes uniones entre dichas partículas minerales para formar una micro estructura en forma de un panal de abejas.
- **Suelos gruesos.** Los suelos gruesos están compuestos por arenas y gravas que en sí forman partículas resistentes, poco solubles en el agua y por lo tanto al añadirle pasta de cemento no se logra una integración estructural íntima que transforma dicho suelo como en el caso de los suelos finos.

2.1.1.2. Suelos aptos para mezclas de suelo-cemento. Prácticamente todos los suelos pueden ser empleados para producir suelo cemento con la lógica excepción de la capa vegetal, sin embargo, cuando se requiere ejecutar una mezcla con calidad y consumo mínimo de cemento, el número de suelos aptos se reduce.

Se consideran suelos aptos para mezclas de suelo-cemento aquellos cuyos consumos de cemento en peso se encuentren entre 5 y 12% con respecto al peso del suelo. Además, que la laborabilidad sea tal que permita la producción de los elementos a fabricar. Con los suelos aptos el suelo-cemento debe ser estable en la contracción, tener una absorción de agua adecuada y alcanzar las resistencias necesarias en el menor tiempo.

Generalmente los suelos aptos son aquellos que tienen tales proporciones de suelos gruesos y finos que producen una granulometría abierta, sin predominio excesivo de un determinado tamaño. De igual forma su plasticidad debe ser tal que aporte una determinada cohesión a la mezcla, lo que mejora la laborabilidad y aumenta el aislamiento térmico sin que se produzcan agrietamientos por contracción.

Los límites de plasticidad lo fijan el límite líquido y el límite plástico del suelo. Ambos límites están representados por un por ciento de humedad y tiene el siguiente significado físico:

- **Límite líquido:** por ciento de humedad en que el suelo pasa de un estado plástico a un estado líquido. En otras palabras el límite líquido refleja el punto (% de humedad) en que el suelo comienza a fluir como un líquido.
- **Límite plástico:** por ciento de humedad en que el suelo pasa de un estado rígido (elástico) a un estado plástico.

Con la resta aritmética de ambos límites se obtiene el índice plástico o rango de humedades en que el suelo se comporta plásticamente. Estos límites dependen no solo del contenido de arcilla sino de su tipo y rango admisible para mezclas de suelo-cemento.

Se fija como sigue:

- Limite líquido < 45%
- Limite plástico < 18%

En sentido muy general, para la mezcla de suelo-cemento, definiremos los suelos en dos tipos: *suelos eficientes*, *suelos deficientes* y *suelo ideal*.

- **Suelos eficientes:** Estos son los que naturalmente reaccionan perfectamente ante una proporción relativamente pequeña de cemento y entre estos podemos citar:

Suelos arenosos y suelos con grava

Suelos arenosos con deficiencia de partículas finas

Suelos limosos y arcillosos con baja plasticidad

- **Suelos deficientes:** Éstos son los que naturalmente no reaccionan bien ante una proporción relativamente pequeña de cemento, es decir, necesitan mucho cemento para poder endurecer y entre estos podemos citar:

Suelos limosos y arcillosos con alta plasticidad

Suelos orgánicos

- **Suelo ideal:** Un suelo que sería ideal para la mezcla de nuestro suelo cemento debe cumplir con varios requisitos con los cuales diríamos que nuestra mezcla fuera casi perfecta y el volumen de cemento fuera mínimo debido a que las deficiencias del suelo fueran mínimas también. El suelo ideal para una mezcla suelo-cemento debe cumplir con las siguientes características para que dicha mezcla sea de buen funcionamiento y posea cantidades mínimas de cemento:

Máximo agregado de arena 80% (óptimo del 55% al 75%)

Máximo agregado de limo 30% (óptimo 0% al 28%)

Máximo agregado de arcilla 50% (óptimo 15% al 18%)

Máximo agregado de materia orgánica 3%

Debe pasar por un tamiz de 4,8 mm (#4)

2.1.1.3. Clasificación de los suelos para mezclas de suelo-cemento. Existen dos posibilidades para mezclas de suelo-cemento: *el método de laboratorio (preciso)*, y *el método de campo (poca precisión)*. Según sea la necesidad de clasificar suelos para un plan de construcción de varias obras o que se requiera para una obra aislada, se tomaría el método de laboratorio o de campo respectivamente. Las diferencias fundamentales serían que con los métodos de campo siempre habría que emplear un % de cemento mayor en la mezcla y la garantía de calidad se reduce con relación al método de laboratorio.

Los procedimientos o ensayos que pueden realizarse sin tecnología especializada y a pie de obra, más que clasificar los suelos, permiten identificarlos. Como la identificación de

la humedad (sea para conocer la humedad natural del suelo a los límites líquidos, plásticos y por ende a los límites de plasticidad) requieren de balanzas con una precisión de 0.1 g (mínimo), no es práctico incluir esta determinación a pie de obra. De forma similar ocurre con la granulometría, al no poder medir las fracciones que pueden pasar por los diferentes tamices requeridos en el mencionado sistema de clasificación.

Estos ensayos tienen su mayor valor para poder llevar a cabo un Control de Calidad del suelo que se emplea en la mezcla, considerando que tanto el cemento como el agua sean constantes (sus propiedades varían muy poco en comparación con el suelo).

2.1.2. Cemento. Todos los cementos que produce la industria nacional son aptos para ser empleados en mezclas de suelo-cemento: el cemento Portland P-350 tanto en tipo I como el tipo III. El empleo de los cementos en demasía no tiene gran influencia en la resistencia mecánica ya que esta última está más vinculada a la compactación. Esto permite recomendar el empleo del tipo I, por no requerirse altos valores de resistencia mecánica a edades tempranas.

2.1.3. Agua. No existen grandes limitaciones para el uso de agua en las mezclas de suelo-cemento, cualquier agua potable es apta para emplear en dichas mezclas.

2.1.4. Diseño de mezcla de suelo-cemento. Para proceder al diseño de mezcla de suelo-cemento es preciso preparar el suelo de forma tal que cuando se añada el cemento y el agua se logre una mezcla homogénea. Esto se obtiene distribuyendo el suelo en una

plataforma plana para que el agua natural que contiene se vaya perdiendo y permita la destrucción de los grumos con una maceta de madera dura. Paulatinamente el suelo irá adquiriendo una coloración pareja. Si el suelo contiene la necesaria fracción fina este paso se logra con relativa rapidez (uno a dos días).

La mezcla de suelo-cemento se comportará de forma similar al suelo natural que la compone, queriendo decir, que alcanzará su densidad máxima al ser compactado, cuando el mismo alcance el contenido de humedad equivalente a la humedad óptima, ambos determinados en el ensayo Próctor. La humedad que tendrá el suelo al ser secado al aire tiene que tomarse en cuenta cuando se determine, sea por peso o por volumen, la cantidad de agua a añadir para obtener la humedad óptima. Dicho en otras palabras, la densidad máxima está representada por el mayor peso por unidad de volumen que se puede conseguir en una muestra de suelo, logrando esto por compactación, y para lograr una máxima compactación se necesita la humedad óptima, pasando de estado seco a plástico, aplicando carga y reduciendo el volumen de aire en el suelo.

Con los datos de densidad máxima y humedad óptima se procede a fabricar testigos de suelo-cemento para obtener en por ciento el peso óptimo de cemento a emplear en la mezcla de producción.

2.1.5. Elaboración de ladrillos de suelo-cemento. En función del producto a elaborar se organizan las etapas de producción en relación a la técnica seleccionada. Esto en diseño de los métodos, disponibilidad de materiales, mano de obra y del equipamiento técnico necesario.

Para la elaboración de ladrillos de suelo-cemento las etapas generales del procedimiento de elaboración consisten en:

- Preparación de los materiales: Suelo Cemento Agua
- Dosificación de los componentes.
- Mezclado.
- Conformación de la mezcla: En máquinas. En moldes (manualmente) En encofrados deslizantes o transferibles
- Transporte de los productos a zona de curado y almacén.
- Curado: en patio a los blocks, ladrillos y paneles; en obra a los muros apisonados.
- Construcción de las obras.

Elementos básicos para la organización de la producción:

- 1. Determinación de la cantidad de elementos:** blocks, ladrillos, paneles u otros a producir por unidad de tiempo. Esto estará en dependencia de la maquinaria, moldes o encofrados disponibles.
- 2. Estimación de las necesidades de materiales, para la escala seleccionada de producción, así como otros insumos necesarios:** productos desmoldeantes, madera, medios auxiliares y otros.
- 3.** Listado de equipamiento necesario, que incluye desde las excavaciones hasta el almacenamiento.
- 4.** Listado de requerimiento de trabajadores y personal técnico.

5. Necesidad de préstamo de suelo, terreno para el área de producción, área de curado y almacenamiento de los ladrillos, área para el despacho o entrega de producto terminado.
6. Cálculo de los costos iniciales de puesta en marcha de las instalaciones y de su operación por un período dado de tiempo.

2.2. Fibras como refuerzo

En los últimos años, el uso de fibras como refuerzo ha tenido un auge importante en Colombia. Sin embargo, esta técnica no es nueva en el mundo de la construcción; de hecho se remonta muchos años antes de la aparición del cemento Portland y del concreto, cuando se utilizaban materiales como pasto, fique, junco y hasta pelo de animal que eran agregados al adobe con el fin de evitar la fisuración y mejorar la resistencia a tensión. No obstante, la inclusión de tecnología ha permitido desarrollar fibras de diversos materiales como polipropileno, polivinilos, polietilenos, acero, carbono, entre otros.

2.2.1. Tipos de Fibras.

I. Micro fibras. Normalmente son fibras de plástico, polipropileno, nylon, que previenen la formación de fisuras durante la construcción. Las fibras multifilamento permiten obtener mejores resultados y sus longitudes oscilan entre los 12 y los 75 mm.

II. Macro fibras. Generalmente son de materiales como acero, vidrio, materiales sintéticos o naturales, los cuales se utilizan como refuerzo distribuido en todo el espesor del elemento y orientado en cualquier dirección. Estas fibras pueden mejorar la tenacidad y agregar al material capacidad de carga posterior al agrietamiento.

2.2.2. Clasificación de Fibras.

a) Fibras de acero. Dependiendo del sistema de fabricación en el mercado se encuentran fibras de diferentes tamaños, secciones, rugosidad superficial y formas. Pueden ser trefiladas en frío, cortadas o maquinadas. Su forma puede ser variable, recta, ondulada o con aplastamientos.

Para comparar fibras se utilizan tres conceptos: relación de esbeltez, anclaje y resistencia a la tracción del alambre. A mayor número de fibras, mejor desempeño del refuerzo, teniendo en cuenta que los concretos reforzados con fibras de acero fallan principalmente por la adherencia entre el refuerzo y la matriz cementante.

b) Fibras de vidrio. Los materiales compuestos generados por las fibras de vidrio, son conocidos con el nombre de GRC (*Glass Fiber Reinforced Cement*), su matriz resistente es un mortero de cemento hidráulico armado con fibras de vidrio. Están especialmente diseñadas para ser compatibles con el ambiente alcalino de la matriz del concreto.

Este tipo de fibras aumenta la durabilidad abarcando a su vez revestimientos químicos, formulados para ayudar en el combate de la rigidización inducida por la hidratación y en el uso de una lechada con humo de sílice para rellenar los vacíos entre las fibras,

reduciendo la capacidad de infiltración del hidróxido de calcio. La mayor aplicación del concreto reforzado con fibras de vidrio es la producción de paneles de fachada.

c) Fibras sintéticas. Las fibras sintéticas son las que se fabrican por el hombre y son resultado de la investigación y el desarrollo de las industrias petroquímicas y textiles. Los tipos de fibras usadas en concreto son: acrílicas, aramida, carbón, nylon, poliéster, polietileno y polipropileno.

Las fibras sintéticas pueden reducir la contracción plástica y, consecuentemente, la fisuración; además pueden ayudar al concreto después que se fisura. Se producen como monofilamentos cilíndricos continuos que se pueden cortar en longitudes específicas o como filmes y cintas. Estas fibras se componen de finas fibrillas de sección transversal rectangular como filmes y cintas. Estas fibras se componen de finas fibrillas de sección transversal rectangular.

d) Fibras Naturales. Las fibras naturales se han usado como una forma de refuerzo desde mucho tiempo antes de la llegada de la armadura convencional de concreto. Los ladrillos de barro reforzados con paja y morteros reforzados con crin de caballo son unos pocos ejemplos de cómo las fibras naturales se usaron como una forma de refuerzo. Muchos materiales de refuerzo natural se pueden obtener con bajos niveles de costos de energía, usando la mano de obra y la pericia disponibles en la región. Estas fibras se usan en la producción de concretos con bajo contenido de fibras.

3. Metodología

3.1. Selección del Suelo de Trabajo y Caracterización del Material

Como primera instancia fue necesario consultar en las bases de datos artículos de revistas, libros, normas técnicas e información acerca de los materiales que se emplearan en este proyecto. Se hace la selección del suelo de trabajo a partir de los resultados obtenidos del Ensayo de Compresión Simple, aplicado a 3 tipos de suelo. Se caracteriza el material por medio de la Norma Técnica Colombiana MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS POR TAMIZADO DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS, apoyándonos en la Norma Técnica Colombiana ESPECIFICACIONES DE LOS AGREGADOS PARA CONCRETO.

3.2. Clasificación del Suelo

Se clasificó el suelo por medio del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS teniendo en cuenta los resultados de la Norma Técnica Colombiana NTC 4630.

3.3. Elaboración de Moldes y Ladrillos

Los ladrillos fueron elaborados en la planta de prefabricados PREFASUR con dimensiones 20 cm de largo, 5.5 cm de alto y 10 cm de ancho. Se fabricaron 320 unidades para ser ensayados y la fibra empleada fue la fibra metálica de gancho.

3.4. Ensayos de Laboratorio a Ladrillos

Se ensayaron los ladrillos de control (LC) así como los ladrillos con fibras metálicas (LF) para la obtención de las propiedades mecánicas tales como compresión a ladrillos y compresión en muretes, teniendo en cuenta:

- Norma Técnica Colombiana MÉTODOS PARA MUESTREO Y ENSAYOS DE UNIDADES DE MAMPOSTERÍA Y OTROS PRODUCTOS DE ARCILLA.
- Norma Técnica Colombiana MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE MURETES DE MAMPOSTERIA.

3.5. Análisis de resultados

Se analizaron, interpretaron y compararon los resultados obtenidos de los ensayos realizados entre los ladrillos de control y los ladrillos de suelo cemento con inclusión de fibras metálicas.

Las siglas que se emplearan en el presente documento se detallan a continuación:

- **LC10%:** Ladrillos de Control con cemento al 10% del peso.
- **LC15%:** Ladrillos de Control con cemento al 15% del peso.
- **LF10%:** Ladrillos con Fibras Metálicas y cemento al 10% del peso.
- **LF15%:** Ladrillos con Fibras Metálicas y cemento al 15% del peso.

En cada ensayo se usaron 4 especímenes para cada tipo de ladrillo mencionado anteriormente.

4. Resultados

4.1. Ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos

Empleando el MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS POR TAMIZADO DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS se obtuvieron los resultados para 3 suelos tomados de diferentes zonas de Santander. Se determinó el C_u (Coeficiente de Uniformidad) y el C_c (Coeficiente de Curvatura) necesarios para la clasificación de cada muestra.



Figura 1. Muestra de suelo 1.



Figura 2. Muestra de suelo 2.



Figura 3. Muestra de suelo 3.



Figura 4. Lavado de las muestras de suelo.

Para la realización del ensayo granulométrico se emplearon los tamices No. 4, 10, 20, 40, 60, 100 y 200 como se observa en la **Figura 5**.



Figura 5. Tamizado Mecánico para Ensayo Granulométrico.

De la primera muestra se obtuvo una Arena bien gradada (SW) según los valores de C_u y C_c calculados. Para este caso C_u con un valor igual a 10 y C_c con un valor de 2.76. (*Ver Apéndice 1*). La segunda muestra no fue posible clasificarse según los parámetros C_u y C_c ya que no se presentó una cantidad de muestra que representara el 10% del peso que pasa en la gráfica. Sin este valor es imposible calcular el parámetro D_{10} , indispensable en el cálculo de C_u y C_c . (*Ver Apéndice 2*). La tercera muestra es una Arena mal gradada (SP) según los valores calculados de C_u igual a 22.63 y C_c de 3.54. (*Ver Apéndice 3*).

4.2. Ensayo para la determinación del límite líquido, del límite plástico y del índice de plasticidad de los suelos cohesivos.

Se clasificó el suelo por medio del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos teniendo en cuenta los resultados de la Norma Técnica Colombiana MÉTODO DE ENSAYO PARA LA DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO, DEL LIMITE PLASTICO Y DEL INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS COHESIVOS.



Figura 6. Ensayo de Casagrande para el cálculo de Límite Líquido.



Figura 7. Muestras obtenidas del Ensayo de Casagrande.



Figura 8. Muestras obtenidas del Ensayo de Límite Plástico.

Se realizaron los ensayos correspondientes a Límite Líquido (LL), Límite Plástico (LP) e Índice de Plasticidad (IP) alcanzando los siguientes resultados: (*Ver Apéndices 4 y 5*)

Tabla 1. Límites Líquidos para las 3 muestras de suelo.

LIMITE LÍQUIDO	
MUESTRA No. 1	
Lím Líquido	43.9
MUESTRA No. 2	
Lím Líquido	46.9
MUESTRA No. 3	
Lím Líquido	46.62

Tabla 2. Límites Plásticos para las 3 muestras de suelo.

LIMITE PLÁSTICO	
MUESTRA No. 1	
Lím Plástico	13.4
MUESTRA No. 2	
Lím Plástico	12.5
MUESTRA No. 3	
Lím Plástico	27.8

Tabla 3. Clasificación de las muestras de suelo por el Método SUCS (Índice de Plasticidad)

IP).

MUESTRA No. 1		MUESTRA No. 2		MUESTRA No. 3	
Lím Líquido	43.93	Lím Líquido	46.9	Lím Líquido	46.6
Lím Plástico	13.43	Lím Plástico	12.47	Lím Plástico	27.78
IP	30.50	IP	34.43	IP	18.84
Arcilla de baja plasticidad (CL)		Arcilla de baja plasticidad (CL)		Limo de baja plasticidad (ML)	

Se descartó la muestra de suelo No. 3 ya que presentaba una cantidad predominante de gravas de gran tamaño lo que afectaría la compactación y vibración a la hora de elaborar los ladrillos.

Finalmente, se realizó la doble nomenclatura de las muestras de suelo según lo indica la norma teniendo en cuenta el porcentaje de suelos que pasa el tamiz No. 200. Cuando este porcentaje se encuentra entre el 5% y 12%, se nombra el suelo con la doble nomenclatura de los resultados del ensayo granulométrico y del ensayo por SUCS.

Para la muestra 1, el porcentaje pasa 200 es de 5.32% por lo que el suelo se denomina como una SW - SC (Arena bien graduada – Arena arcillosa). Para la muestra 2, ya que el porcentaje de pasa 200 es de 12.63%, el suelo se denomina como una SC (Arena arcillosa). Para la muestra 3 el valor de porcentaje de pasa 200 es de 3.17% por lo que este suelo se denomina una SP (Arena mal graduada).

4.3. Ensayo de Próctor Estándar

Se procedió a ejecutar el ensayo de Próctor Estándar para las muestras restantes según la norma I.N.V.E 148-07. Los datos para la elaboración de las gráficas del ensayo Próctor se pueden ver en los apéndices 6 y 7 para los suelos en estudio:



Figura 9. Ensayo de Próctor Estándar.



Figura 10. Muestras obtenidas del Ensayo de Próctor Estándar.

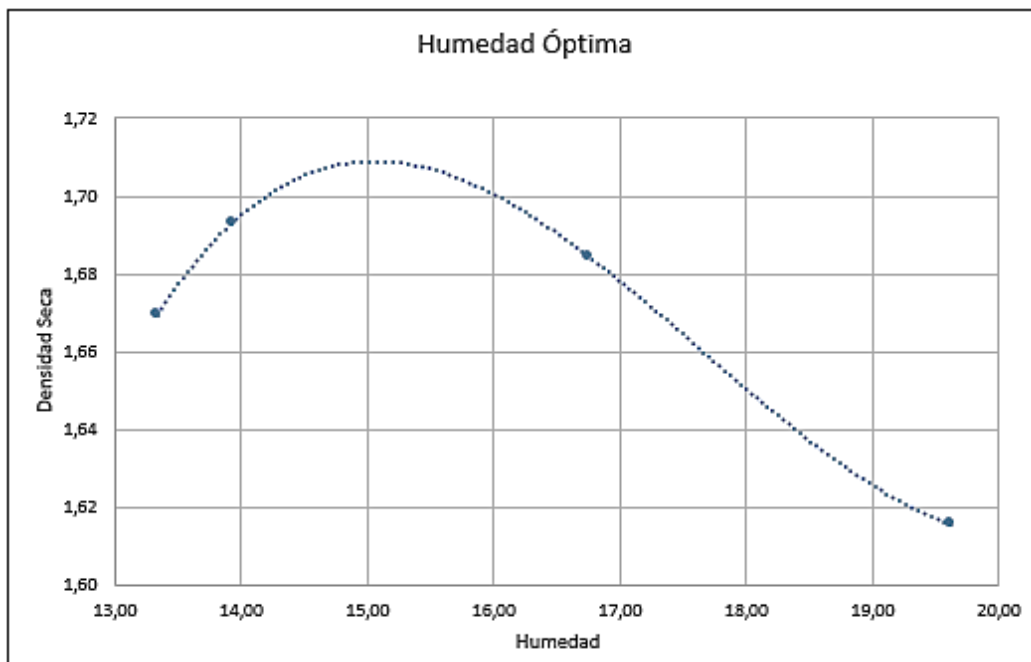


Figura 11. Gráfica de Humedad Óptima, Ensayo de Próctor Estándar para la muestra 1.

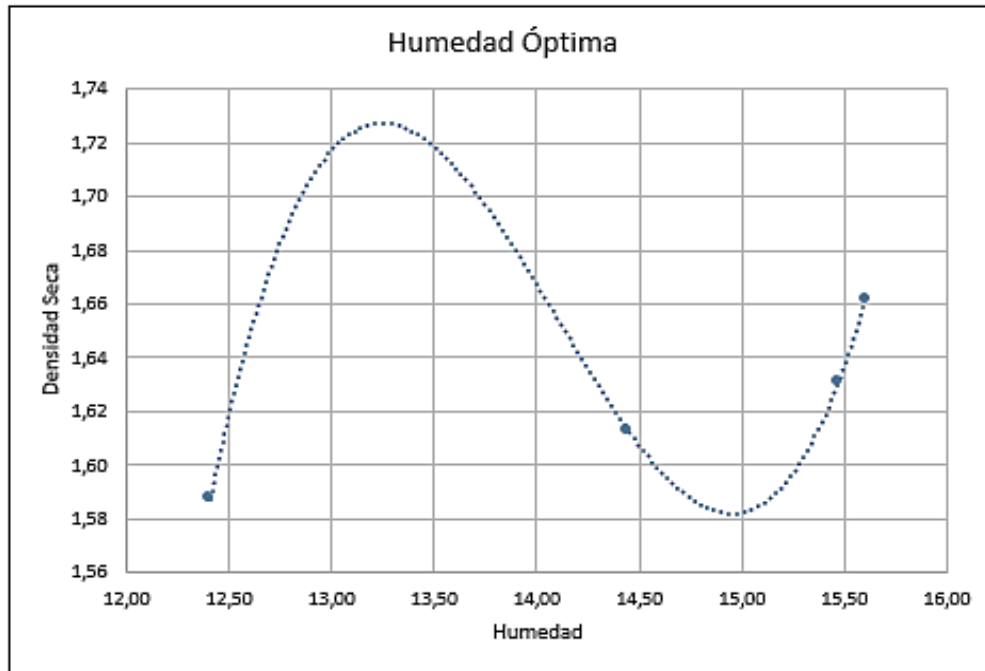


Figura 12. Gráfica de Humedad Óptima, Ensayo de Próctor Estándar para la muestra 2.

4.4. Ensayo a Compresión Simple de muestras de suelo

Para determinar cuál de los dos suelos se emplearía en la elaboración de los ladrillos, se procedió a estudiar ambas muestras utilizando el ensayo a compresión simple. En este procedimiento se produjeron pequeños cilindros de cada muestra de suelo con el fin de evaluar su respectiva resistencia para finalmente determinar el suelo de mayor resistencia a la compresión.



Figura 13. Cilindros de muestra de suelo antes del Ensayo de Compresión Simple.



Figura 14. Ensayos de Compresión Simple.



Figura 15. Cilindros de muestra de suelo antes del Ensayo de Compresión Simple.

Se muestran los resultados obtenidos para cada muestra de suelo: (*Ver Apéndice 8*)

Tabla 4. *Valores de Fuerza Axial a Compresión Simple para las dos muestras de suelo.*

Muestra 1		
Fuerza Promedio	18.93	Kg
Esfuerzo Promedio	1.97	Kg/cm ²
Muestra 2		
Fuerza Promedio	26.53	Kg
Esfuerzo Promedio	2.76	Kg/cm ²

4.5. Elaboración de los ladrillos de suelo-cemento

Los ladrillos se elaboraron con las siguientes dimensiones 20 x 10 x 5.5 cm. En la planta de fabricación de ladrillos se elaboraron las muestras para realizar el ensayo de compresión a los 7, 14 y 28 días. (*Ver Apéndice 9*).



Figura 16. Ladrillo de dimensiones 20 x 10 x 5.5 cm.

Se hizo el cálculo correspondiente a la cantidad en peso del suelo a extraer, teniendo en cuenta las dimensiones y el peso de un cilindro empleado en el ensayo a compresión. Se dosificó el suelo y el cemento de acuerdo al número de unidades de ladrillo a ensayar. El peso total de tierra a extraer de acuerdo a la cantidad de ladrillo a elaborar fue de 544.96 kg. (*Ver Apéndice 10*).

Se dosificó el cemento con porcentajes del 10% y 15% del peso del suelo para la cantidad de cemento, así como un 3% para el peso de fibras a agregar a los ladrillos. (*Ver Apéndice 11*). Las fibras empleadas en este proyecto fueron las Fibras Metálicas de Gancho Dramix 3D. Todos los ladrillos fueron elaborados en un mismo día para evitar variaciones y posibles errores.



Figura 17. Fibra Metálica de Gancho Dramix 3D.

Fuente: (Kemerix, Tüm haklar saklıdır. (2017). KMX 65/60 BL. [Figura]. Recuperado de <http://www.kemerix.com.tr/urun-detay/kmx-6560-bl-2.html>)

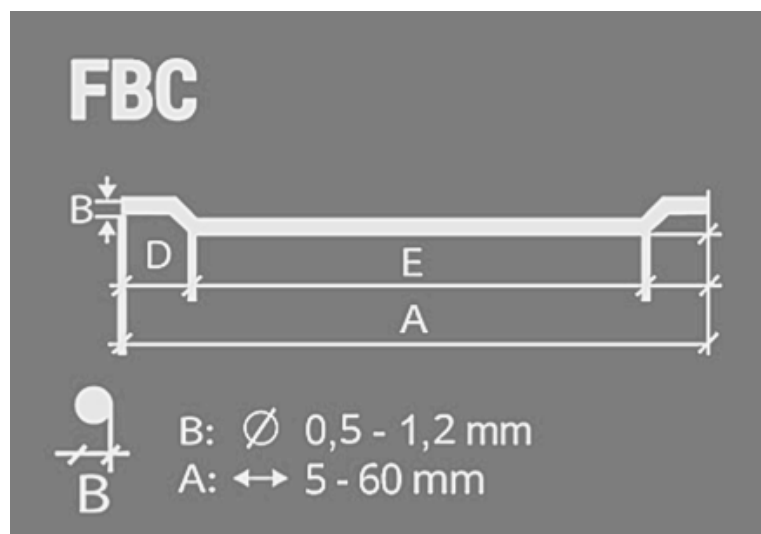


Figura 18. Dimensiones de la Fibra Metálica.

Fuente: (Fibrometals. (2018). FIBRAS METÁLICAS DE GANCHOS. [Figura]. Recuperado de <http://www.fibrometals.ro/es/fibras-metalicas-de-ganchos/>)

Tabla 5. *Propiedades Técnicas de la Fibra Dramix 3D. Datos obtenidos de <http://www.fibrometals.ro/es/fibras-metalicas-de-ganchos/>.*

Surtido diametral	0.5 mm – 1.2 mm
Longitudes	30, 50, 60 mm (más a menudo)
Resistencia (T/S)	1100 ÷ 2700 N/mm ²

Se calculó la humedad natural del suelo extraído para cumplir con el valor de humedad óptima previamente calculada del Ensayo de Próctor Estándar.



Figura 19. Medición de la humedad natural del suelo después de la extracción. (Peso de la Tara, Peso Suelo Húmedo y Peso Suelo Seco respectivamente).



Figura 20. Maquina empleada en la elaboración de los ladrillos de suelo-cemento.

Se generaron ladrillos que se denominaron preliminares para determinar valores recomendables de compresión y de vibrado para el suelo escogido. Una vez establecidos estos parámetros, se inició con la elaboración de los ladrillos finales.



Figura 21. Muestra de ladrillos obtenidos en la planta.



Figura 22. Revisión de Calidad de los ladrillos preliminares.

Posteriormente a la fabricación de los ladrillos se les aplicó agua durante cinco días para su proceso de curado.

4.6. Ensayo a Compresión Simple de LC y LF

Se realizó el primer ensayo a compresión a los ladrillos a los 7 días, obteniéndose los siguientes resultados:



Figura 23. Ensayo a Compresión Simple de LC y LF.

Tabla 6. Fuerzas axiales promedio obtenidos del Ensayo a Compresión a ladrillos con 10% de cemento a los 7 días.

7 DIAS (LC10%)			7 DIAS (LF10%)		
EN1	2.25	TON	EN1	3.19	TON
EN2	2.36	TON	EN2	3.66	TON
EN3	2.45	TON	EN3	3.07	TON
EN4	2.36	TON	EN4	3.24	TON
PROMEDIO	2.36	TON	PROMEDIO	3.29	TON

Tabla 7. Fuerzas axiales promedio obtenidos del Ensayo a Compresión a ladrillos con

15% de cemento a los 7 días.

7 DIAS (LC15%)			7 DIAS (LF15%)		
EN1	2.87	TON	EN1	2.37	TON
EN2	2.17	TON	EN2	2.38	TON
EN3	2.92	TON	EN3	2.47	TON
EN4	2.17	TON	EN4	3.01	TON
PROMEDIO	2.53	TON	PROMEDIO	2.56	TON

El segundo ensayo a compresión se realizó a los 14 días y se hallaron los valores presentados a continuación:

Tabla 8. *Fuerzas axiales promedio obtenidos del Ensayo a Compresión a ladrillos con 10% de cemento a los 14 días.*

14 DIAS (LC10%)			14 DIAS (LF10%)		
EN1	2.30	TON	EN1	3.22	TON
EN2	2.09	TON	EN2	2.33	TON
EN3	2.11	TON	EN3	3.66	TON
EN4	2.20	TON	EN4	3.57	TON
PROMEDIO	2.17	TON	PROMEDIO	3.19	TON

Tabla 9. *Fuerzas axiales promedio obtenidos del Ensayo a Compresión a ladrillos con*

15% de cemento a los 14 días.

14 DIAS (LC15%)			14 DIAS (LF15%)		
EN1	3.13	TON	EN1	2.68	TON
EN2	2.51	TON	EN2	2.99	TON
EN3	1.91	TON	EN3	3.13	TON
EN4	3.08	TON	EN4	2.57	TON
PROMEDIO	2.66	TON	PROMEDIO	2.84	TON

En el tercer ensayo a compresión realizado a los 28 días se alcanzaron los siguientes resultados:

Tabla 10. Fuerzas axiales promedio obtenidos del Ensayo a Compresión a ladrillos con 10% de cemento a los 28 días.

28 DIAS (LC10%)			28 DIAS (LF10%)		
EN1	3.73	TON	EN1	4.40	TON
EN2	2.41	TON	EN2	4.47	TON
EN3	2.45	TON	EN3	4.18	TON
EN4	2.85	TON	EN4	2.62	TON
PROMEDIO	2.86	TON	PROMEDIO	3.92	TON

Tabla 11. Fuerzas axiales promedio obtenidos del Ensayo a Compresión a ladrillos con

15% de cemento a los 28 días.

28 DIAS (LC15%)			28 DIAS (LF15%)		
EN1	2.50	TON	EN1	3.30	TON
EN2	2.77	TON	EN2	2.96	TON
EN3	2.83	TON	EN3	4.18	TON
EN4	2.39	TON	EN4	2.63	TON
PROMEDIO	2.62	TON	PROMEDIO	3.27	TON

Se realizaron gráficas que representen mejor el comportamiento de los ladrillos tanto del 10% de cemento como los del 15%.

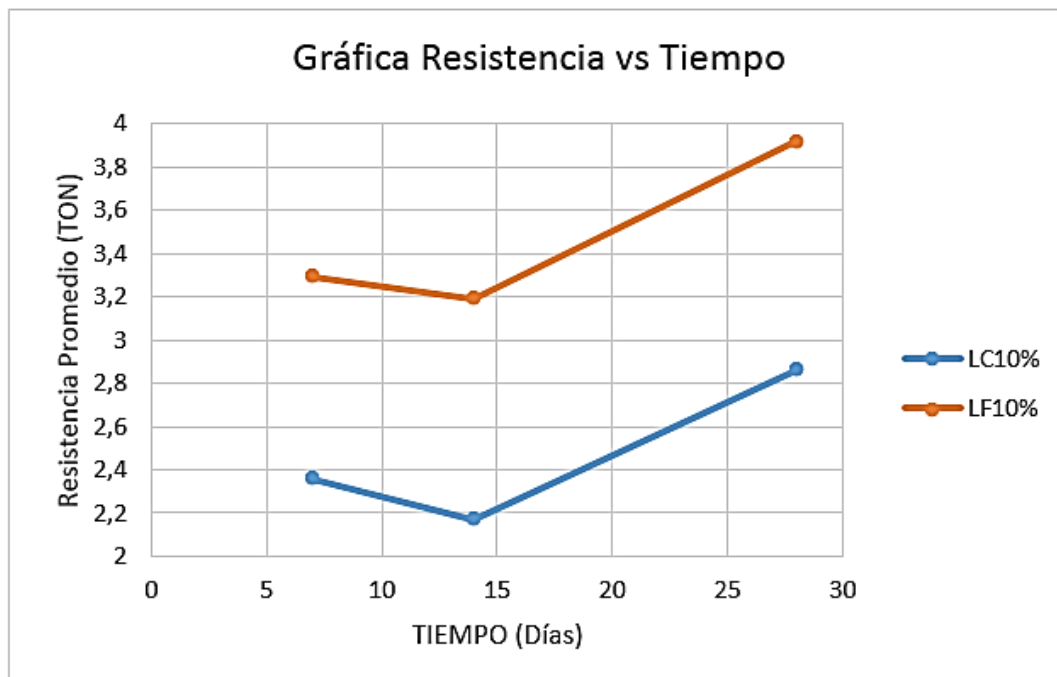


Figura 24. Gráfica Resistencia vs Tiempo para los ladrillos de 10% de cemento del peso. (LC y LF).

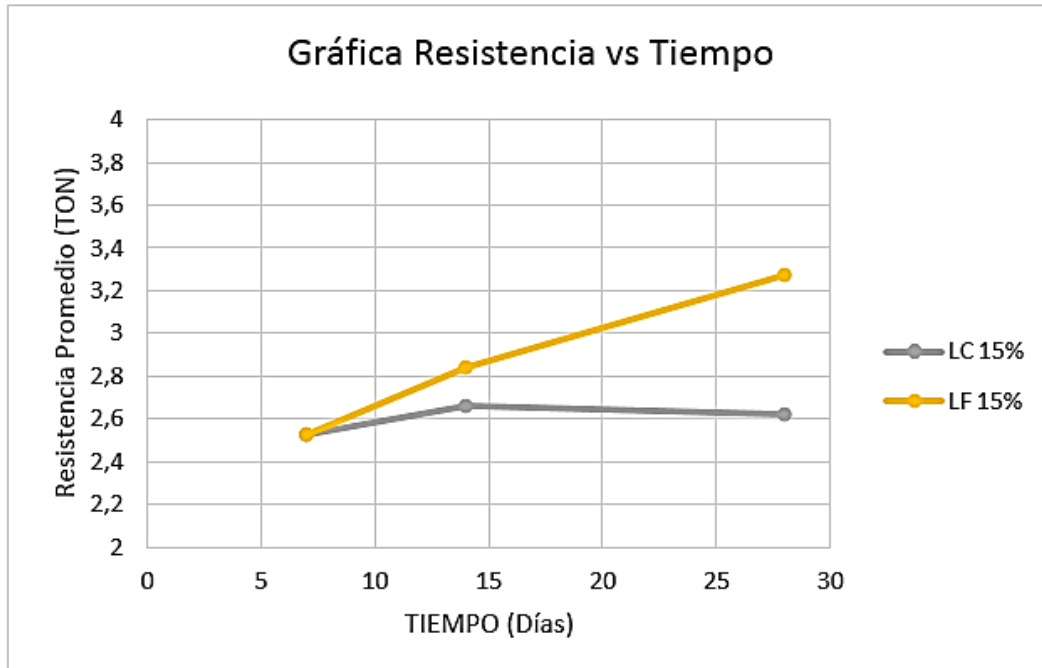


Figura 25. Gráfica Resistencia vs Tiempo para los ladrillos de 15% de cemento del peso. (LC y LF).

Se compararon los resultados obtenidos con la Norma NTC 5324. La norma nos presenta la siguiente información:

Tabla 12. Clase de resistencia a la Compresión Seca.

Bloques llenos	BSC 20
Resistencia mínima (R) para la fracción de 0,05 en Mpa	2
<p>Nota: La resistencia a la compresión seca por lo menos igual al valor escogido de la tabla 3, además ningun resultado debe ser inferior a 0,8 veces el valor de esta resistencia.</p>	

Fuente: (NORMA NTC 5324, Bloques de Suelo Cemento para muros y divisiones. Definiciones. Especificaciones. Métodos de Ensayo.)

Tomando en cuenta que 0,8 veces el valor de 2 Mpa es 1.6 Mpa, los ladrillos que cumplen con los requisitos de esta norma son los LF10% y LF15% con valores de 1.92 Mpa y 1.60 Mpa respectivamente.

Tabla 13. Resistencia a Compresión de Ladrillos en Mpa.

	RESISTENCIA A COMPRESION LADRILLOS					
	7 Días		14 Días		28 Días	
	TON	MPa	TON	MPa	TON	MPa
LC 10%	2.36	1.16	2.17	1.06	2.86	1.40
LF 10%	3.29	1.61	3.19	1.56	3.92	1.92
LC 15%	2.53	1.24	2.66	1.30	2.62	1.29
LF 15%	2.56	1.26	2.84	1.39	3.27	1.60

Luego se hace el cálculo de la media, desviación y coeficiente de variación para los datos obtenidos, teniendo los siguientes valores:

Tabla 14. *Valores calculados de Media, Desviación y Coeficiente de Variación para los valores de Resistencia de Ladrillos.*

LC 10%	Media	1,20
	Desviación	0,17
	CV (%)	14,57
LF 10%	Media	1,69
	Desviación	0,19
	CV (%)	11,46
LC 15%	Media	1,28
	Desviación	0,03
	CV (%)	2,56
LF 15%	Media	1,41
	Desviación	0,18
	CV (%)	12,44

Para la muestra cocensal se considera que una estimación con un coeficiente de variación:

- Hasta del 7%, es precisa;
- Entre el 8 y el 14% significa que existe una precisión aceptable;
- Entre el 15% y 20%, precisión regular y por lo tanto se debe utilizar con precaución.
- Mayor del 20% indica que la estimación es poco precisa y por lo tanto se recomienda utilizarla sólo con fines descriptivos (tendencias no niveles).

Teniendo en cuenta lo anterior, los datos de LC15% están dentro del rango de los datos precisos, mientras que los LC10%, LF10% y LF15% están en el rango de los datos con precisión aceptable.

4.7. Ensayo a Compresión Simple de Muretes

Se realizaron los ensayos en conjunto denominados muretes, elaborados para cada tipo de ladrillo fabricado. Se sigue la norma que establece una altura mínima de 30 cm de alto con una pega de 15mm de espesor. Como material de pega se empleó mortero de cemento (agua, cemento y arena) lográndose los resultados presentados a continuación

Tabla 15. *Fuerzas axiales de Muretes a Compresión.*

MURETES				
Tipo de Bloque	10% SF	10% CF	15% SF	15% CF
Resistencia a compresion en TON	1.24	1.55	1.36	1.04



Figura 26. Ensayo a Compresión Simple de Muretes.

Se compararon estos valores del ensayo a muretes con la norma NTC 3495, que establece la siguiente tabla:

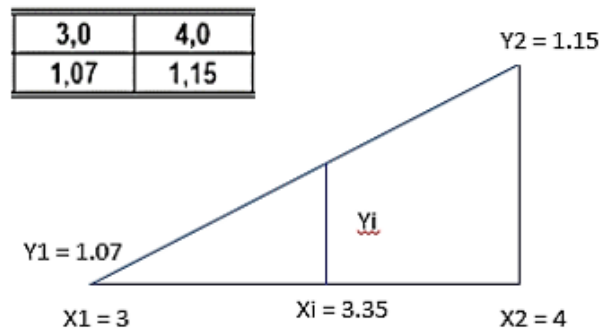
Tabla 16. *Factores de Corrección Altura contra Espesor, para la resistencia a la Compresión de Muretes de Mampostería.*

	1,3	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
Factor de Corrección	0.75	0.86	1	1.04	1.07	1.15	1.22

α_m / α_m^A - Relación entre altura y dimensión transversal menor (espesor) del murete.

Fuente: NORMA NTC 5324, Bloques de Suelo Cemento para muros y divisiones. Definiciones. Especificaciones. Métodos de Ensayo.

La relación altura/espesor para las dimensiones de nuestro ladrillo es igual a 3.35. Ya que este valor no se encuentra explícito en la tabla 1 (*figura 29*), se realiza una interpolación lineal. De esta forma se halla el Factor de Corrección correspondiente a nuestra relación altura-espesor.



$$Y_i = \frac{X_i - X_1}{X_2 - X_1} * Y_2 - Y_1$$

$$Y_i = \frac{3.35 - 3}{4 - 3} * 1.15 - 1.07$$

$$Y_i = 0.028 + 1.07$$

$$Y_i = 1.098$$

Figura 27. Interpolación Lineal para el Factor de Corrección.

Luego, se transforma cada uno de los resultados de compresión a muretes a unidades de Mpa y estos valores a su vez se multiplican por el Factor de Corrección calculado de 1.098.

Tabla 17. Valores de Resistencia a Compresión de Muretes corregidos por medio de la

norma NTC 3495.

MURETES				
Tipo de Bloque	LC 10%	LF 10%	LC 15%	LF 15%
Resistencia a compresión en TON	1.24	1.55	1.36	1.04
Resistencia a compresión del murete de mampostería f'mMpa	0.18	0.23	0.20	0.15
Resistencia a compresión de la mampostería f_m en Mpa	0.20	0.25	0.22	0.17

5. Conclusiones

Mediante el ensayo a compresión simple realizado a dos muestras de suelo, se seleccionó el de mayor resistencia, siendo en este caso el suelo SW.

Se caracterizaron las tres muestras de suelos. Se realizó una granulometría obteniendo para la muestra 1 una Arena bien gradada (SW) , la segunda muestra no fue posible clasificarse ya que no se presentó una cantidad de muestra que representara el 10% del peso que pasa en la gráfica haciendo imposible calcular el parámetro D10 y la tercera muestra dio como resultado una arena mal gradada (SP).

Se caracterizaron las muestras por medio del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos obteniendo los siguientes resultados: para la primera muestra se obtuvo como clasificación una arcilla de baja plasticidad (CL), la segunda muestra se clasificó como una arcilla de baja plasticidad (CL) y para la tercera muestra un limo de baja plasticidad (ML).

Del ensayo a compresión a los 7 días se encontró una gran diferencia en la resistencia promedio entre los LC y los LF para los ladrillos con el 10% de cemento de 0.9 TON.

Para los ladrillos con el 15% de cemento no existió mayor diferencia en los valores de resistencia promedio entre los LC y los LF. Este valor fue de 0.03 TON.

Del ensayo a compresión realizado a los 14 días se encontró que, al igual que en el ensayo a los 7 días, existe una diferencia en la resistencia promedio entre los LC y los LF de 1.02 TON.

Para los ladrillos con el 15% de cemento no existió mayor diferencia en los valores de resistencia promedio entre los LC y los LF, así como se obtuvo a los 7 días. Este valor de resistencia es de 0.18 TON.

Del ensayo a compresión a los 28 días se observó que al igual que en el ensayo a los 7 y 14 días, hay una diferencia notable en la resistencia que en este caso es de 1.06 TON.

Para los ladrillos con el 15% de cemento, en comparación a los resultados obtenidos a los 7 y 14 días, si existió una diferencia considerable en los valores de resistencia promedio entre los LC y los LF de 0.65 TON.

Cabe resaltar que tanto para los ladrillos del 10% de cemento como para los del 15%, los valores de fuerza aumentan considerablemente a medida que pasan los días.

Al igual que con los ensayos a ladrillos, el murete de ladrillos con cemento al 10% y fibras fue el que obtuvo el mayor valor de resistencia a la compresión.

6. Recomendaciones

- Para estudios posteriores, se recomienda variar el % de peso de fibras respecto al peso del suelo para determinar el efecto de este en la resistencia.
- Elaborar cierta cantidad de unidades de ladrillo preliminares para determinar valores recomendables de compresión y de vibrado para el suelo seleccionado.
- Es recomendable que para estudios posteriores se realice el ensayo de resistencia la abrasión según la Norma Técnica Colombia 5324

Referencias bibliográficas

Bloque de tierra comprimida como material constructivo. Revista Facultad de Ingeniería . Vol. 20 No. 31 (2011) Tunja. pp. 55-68. ISSN 0121-1129.

Técnicas de construcción con tierra. Célia Neves y Obede Borges Faria. Faculdade de Engenharia de Bauru. (2011). Pp 79. ISBN 978-85-64472-01-3.

CHOQUE RUELAS, Godofredo Edgar, Huaman Meza, Julio. Adobes comprimidos suelo-cemento una alternativa ecológica. Instituto de la Construcción y Gerencia. Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez. Perú.

http://www.paho.org/cub/index.php?option=com_docman&view=download&alias=297-suelo-cemento&category_slug=rural-andina&Itemid=226 [citado 19 de Enero de 2018]

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN

INCONTEC (2007). Norma Técnica Colombiana NTC 77, Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos. Bogotá D.C. Colombia.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN

INCONTEC (2000). Norma Técnica Colombiana NTC 174, Especificaciones de los agregados para concreto. Bogotá D.C. Colombia.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN

INCONTEC (1999). Norma Técnica Colombiana NTC 4630, Método de ensayo para la determinación del límite líquido, del límite plástico y del índice de plasticidad de los suelos cohesivos. Bogotá D.C. Colombia.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN

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

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN

INCONTEC (2003). Norma Técnica Colombiana NTC 3495, Método de ensayo para

determinar la resistencia a la compresión de muretes de mampostería. Bogotá D.C. Colombia.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS (2007). Norma I.N.V.E 148-07. Relación de soporte del suelo en el laboratorio (CBR de laboratorio). Bogotá D.C. Colombia.

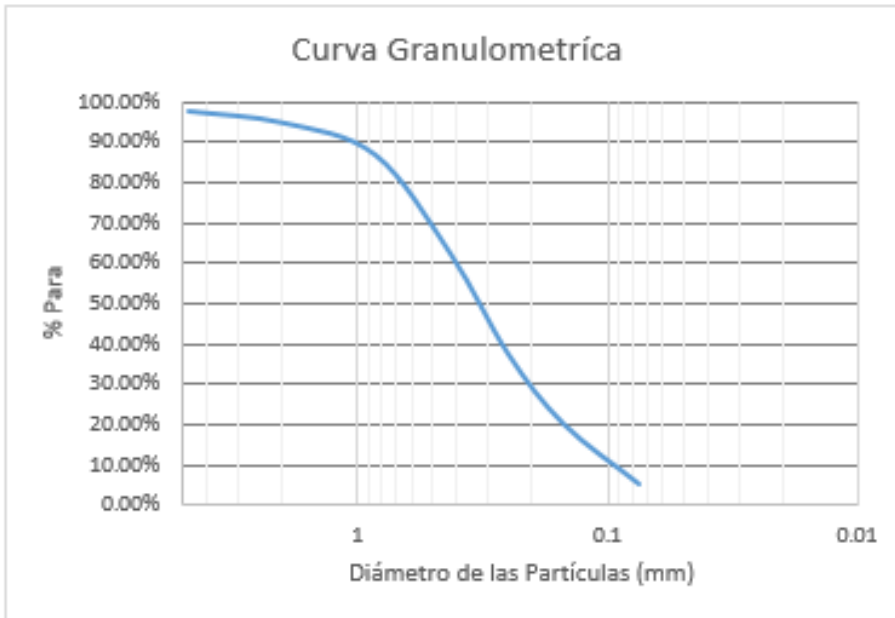
Apéndices

Apéndice 1. Clasificación Muestra 1 según su Granulometría.

MUESTRA No. 1 LEBRIJA

Peso muestra 295 gr

TAMIZ	DIÁMETRO (mm)	RETENIDO (gr)	% RETENIDO	%RETENIDO ACUM	% PASA
No. 4	4.75	7.1	2.41%	2.41%	97.59%
No. 10	2	8.4	2.85%	5.25%	94.75%
No. 20	0.85	23.5	7.97%	13.22%	86.78%
No. 40	0.425	72.3	24.51%	37.73%	62.27%
No. 60	0.25	73.1	24.78%	62.51%	37.49%
No. 100	0.15	51.2	17.36%	79.86%	20.14%
No. 200	0.075	43.7	14.81%	94.68%	5.32%
FONDO		15.3	5.19%	99.86%	0.14%



Cu	10
Cc	2.76

D10	0.04
D30	0.21
D60	0.4

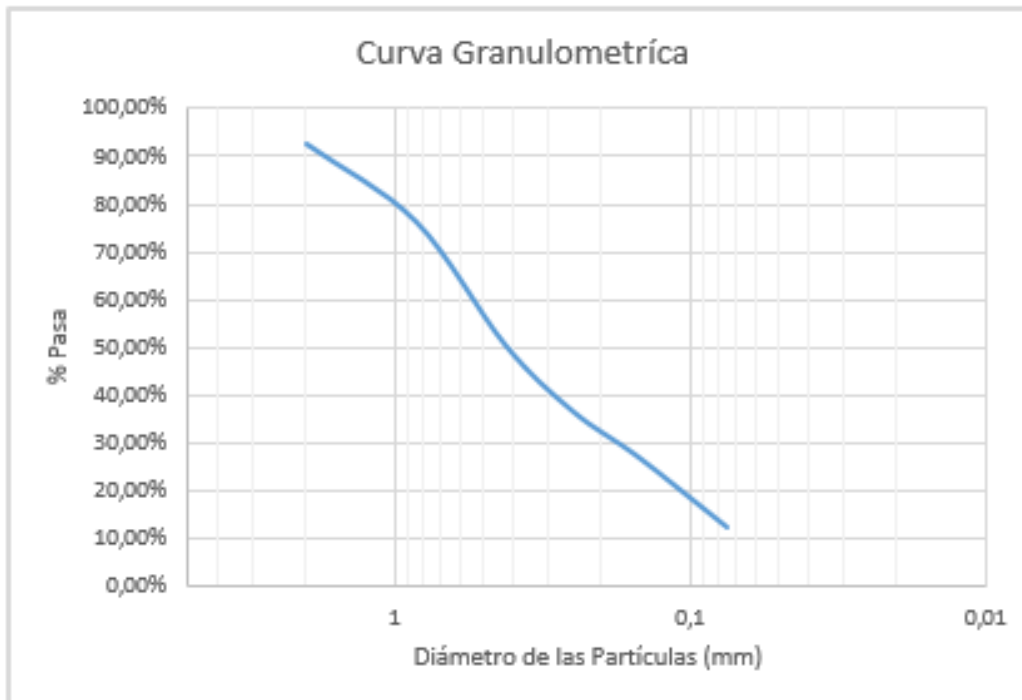
Según el SUCS si $Cu > 6$ es una arena, además si $3 > Cc > 1$ se puede decir que está bien gradada

Apéndice 2. Clasificación Muestra 2 según su Granulometría.

MUESTRA No. 2 LEBRIJA

Peso muestra 97,4 gr

TAMIZ	DIÁMETRO (mm)	RETENIDO (gr)	% RETENIDO	%RETENIDO ACUM	% PASA
No. 10	2	7,1	7,29%	7,29%	92,71%
No. 20	0,85	15,8	16,22%	23,51%	76,49%
No. 40	0,425	25	25,67%	49,18%	50,82%
No. 60	0,25	13,6	13,96%	63,14%	36,86%
No. 100	0,15	9,3	9,55%	72,69%	27,31%
No. 200	0,075	14,3	14,68%	87,37%	12,63%
FONDO		11,6	11,91%	99,28%	0,72%



Cu	#¡DIV/0!
Cc	#¡DIV/0!

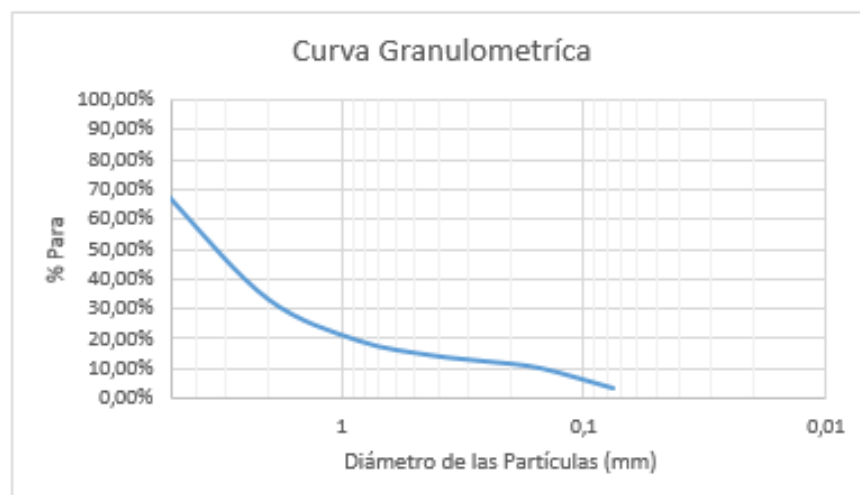
D10	0
D30	0,18
D60	0,45

Apéndice 3. Clasificación Muestra 3 según su Granulometría.

MUESTRA No. 3 CUROS

Peso muestra 154,6 gr

TAMIZ	DIÁMETRO (mm)	RETENIDO (gr)	% RETENIDO	%RETENIDO ACUM	% PASA
1/2"	12,5	4	2,59%	2,59%	97,41%
3/8"	9,5	6,6	4,27%	6,86%	93,14%
No. 4	4,75	44,7	28,91%	35,77%	64,23%
No. 10	2	48,3	31,24%	67,01%	32,99%
No. 20	0,85	21,4	13,84%	80,85%	19,15%
No. 40	0,425	7,6	4,92%	85,77%	14,23%
No. 60	0,25	3,2	2,07%	87,84%	12,16%
No. 100	0,15	3,5	2,26%	90,10%	9,90%
No. 200	0,075	10,4	6,73%	96,83%	3,17%
FONDO		4,5	2,91%	99,74%	0,26%



Cu	22,63
Cc	3,54

D10	0,19
D30	1,7
D60	4,3

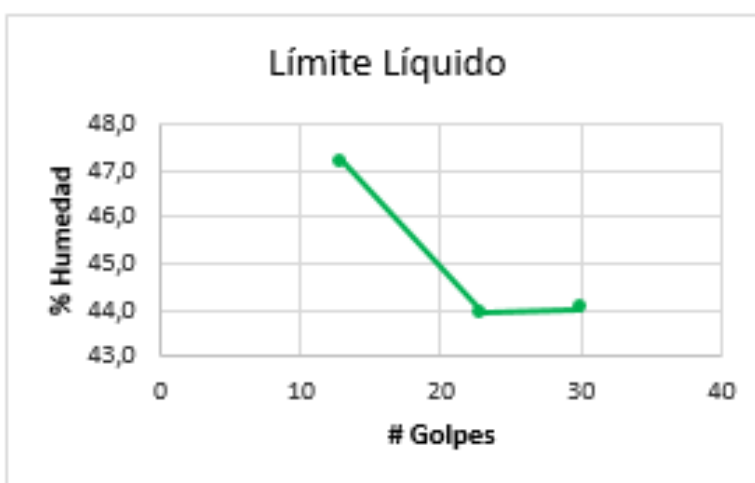
Según el SUCS si $Cu > 6$ es una arena, además si $3 > Cc > 1$ se puede decir que está bien gradada

Apéndice 4. Límites Líquidos para las 3 muestras de suelo.

LIMITE LÍQUIDO

MUESTRA No. 1

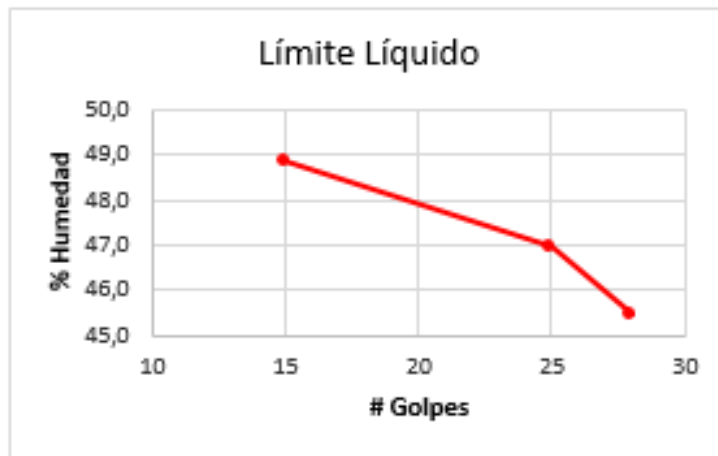
	No. de Golpes	Wtara (gr)	Wsh+T (gr)	Wss+T (gr)	Wsh (gr)	Wss (gr)	%H
1	30	5,5	21,2	16,4	15,7	10,9	44,0
2	23	5,6	21	16,3	15,4	10,7	43,9
3	13	5,6	21,2	16,2	15,6	10,6	47,2



Lím Líquido 43,9

MUESTRA No. 2

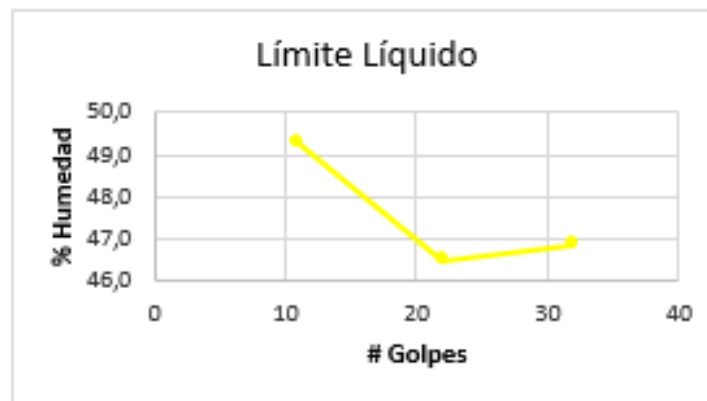
	No. de Golpes	Wtara (gr)	Wsh+T (gr)	Wss+T (gr)	Wsh (gr)	Wss (gr)	%H
1	28	5,4	21,4	16,4	16	11	45,5
2	25	8,4	22,8	18,2	14,4	9,8	46,9
3	15	5,4	24,9	18,5	19,5	13,1	48,9



Lím Líquido 46,9

MUESTRA No. 3

	No. de Golpes	W _{tara} (gr)	W _{sh+T} (gr)	W _{ss+T} (gr)	W _{sh} (gr)	W _{ss} (gr)	%H
1	32	5,3	24,1	18,1	18,8	12,8	46,9
2	22	5,5	22,2	16,9	16,7	11,4	46,5
3	11	5,6	25,6	19	20	13,4	49,3



Lím Líquido 46,62

Apéndice 5. Límites Plásticos para las 3 muestras de suelo.

LIMITE PLÁSTICO

MUESTRA No. 1

	Wtara (gr)	Wsh+T (gr)	Wss+T (gr)	Wsh (gr)	Wss (gr)	%H
1	8,4	9,4	9,3	1	0,9	11,1
2	8,3	9,2	9,1	0,9	0,8	12,5
3	5,4	6,1	6	0,7	0,6	16,7

Lím Plástico 13,4

MUESTRA No. 2

	Wtara (gr)	Wsh+T (gr)	Wss+T (gr)	Wsh (gr)	Wss (gr)	%H
1	5,6	6,9	6,8	1,3	1,2	8,3
2	4,6	5,8	5,6	1,2	1	20,0
3	4,4	5,6	5,5	1,2	1,1	9,1

Lím Plástico 12,5

MUESTRA No. 3

	Wtara (gr)	Wsh+T (gr)	Wss+T (gr)	Wsh (gr)	Wss (gr)	%H
1	4,6	5	4,9	0,4	0,3	33,3
2	5,5	6	5,9	0,5	0,4	25,0
3	4,4	4,9	4,8	0,5	0,4	25,0

Lím Plástico 27,8

Apéndice 6. Ensayo de Próctor Estándar para la muestra 1.

ENSAYO DE PROCTOR ESTÁNDAR

Molde Proctor	4165,7	gr		
Volúmen	0,000943895	m ³	943,895	cm ³

CÁLCULOS

Calcule el contenido de humedad, Densidad húmeda y la densidad seca del suelo compactado para cada ensayo como sigue:

$$w = \frac{A - B}{B - C} * 100$$

$$W_1 = \frac{\text{Peso de la muestra}}{\text{Volumen}}$$

$$W = \frac{W_1}{w + 100} * 100$$

w(%) = Contenido de humedad en el espécimen.

A = Peso del recipiente y suelo húmedo;

B = Peso del recipiente y suelo seco.

C = Peso del recipiente.

W1 = Densidad húmeda en kg/m³ del suelo compacto.

W = Densidad seca en kg/m³ del suelo compacto

MUESTRA No. 1

	Peso suelo + molde (gr)	Wss próctor (gr)	Wss próctor (kg)	Wtara (gr)	Wsh+T (gr)	Wss+T (gr)
1	5951,7	1786	1,786	5,3	50,1	44,4
				8,4	50,1	45,6
2	5986,7	1821	1,821	8,3	50,1	45,1
				4,5	50,1	44,4
3	6022	1856,3	1,8563	8,3	50,1	44,1
				8,3	50,1	44,1
4	5990	1824,3	1,8243	5,4	50,1	42,7
				5,8	50,1	42,9

Wsh (gr)	Wss (gr)	%w (humedad)	%w prom	W1 (densidad húmeda)	W (densidad seca)
44,8	39,1	14,58	13,34	1,89	1,67
41,7	37,2	12,10			
41,8	36,8	13,59	13,94	1,93	1,69
45,6	39,9	14,29			
41,8	35,8	16,76	16,76	1,97	1,68
41,8	35,8	16,76			
44,7	37,3	19,84	19,62	1,93	1,62
44,3	37,1	19,41			

Apéndice 7. Ensayo de Próctor Estándar para la muestra 2.

MUESTRA No. 2

	Peso suelo + molde (gr)	Wss próctor (gr)	Wss próctor (kg)	Wtara (gr)	Wsh+T (gr)	Wss+T (gr)
1	5850	1684,3	1,6843	5,8	50,1	45,1
				8,4	50,1	45,6
2	5908,1	1742,4	1,7424	8,3	50,1	44,6
				5,4	50,1	44,7
3	5978,7	1813	1,813	5,3	50,1	44
				4,5	50,1	44
4	5943,4	1777,7	1,7777	8,3	50,1	44,7
				8,3	50,1	44,3

Wsh (gr)	Wss (gr)	%w (humedad)	%w prom	W1 (densidad húmeda)	W (densidad seca)
44,3	39,3	12,72	12,41	1,78	1,59
41,7	37,2	12,10			
41,8	36,3	15,15	14,45	1,85	1,61
44,7	39,3	13,74			
44,8	38,7	15,76	15,60	1,92	1,66
45,6	39,5	15,44			
41,8	36,4	14,84	15,47	1,88	1,63
41,8	36	16,11			

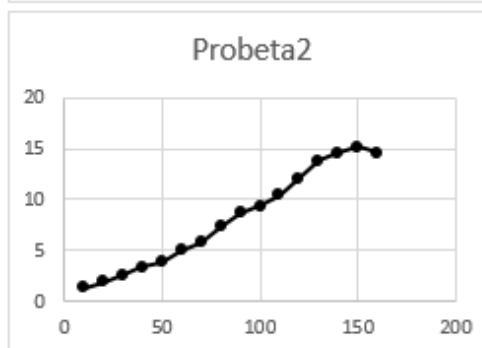
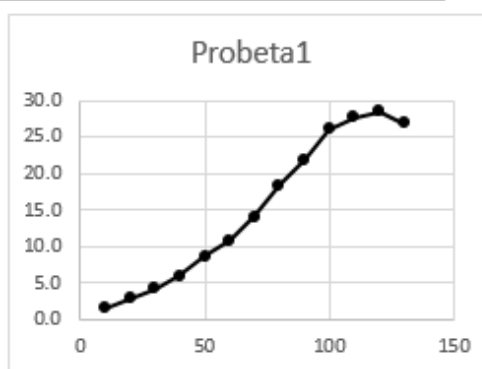
Apéndice 8. Ensayo de Compresión Simple para las dos muestras de suelo.

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE

Muestra 1

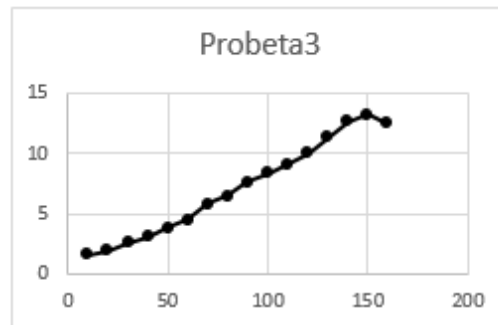
W Tara (g)	Wsh+ Wtara (g)	Wss+ Wtara (g)	Wsh (g)	Wss (g)	% HUMEDAD	%H OPTIMA
8.3	50	48.9	41.7	40.6	2.7%	15.00%

	101 gr	108,1 gr	108,1 gr
Conteo	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
10	1.5	1.3	1.6
20	2.8	1.9	1.9
30	4.2	2.6	2.6
40	6.0	3.4	3.1
50	8.6	3.9	3.8
60	10.8	5	4.5
70	14.0	5.8	5.8
80	18.4	7.3	6.5
90	21.9	8.7	7.6
100	26.0	9.4	8.4
110	27.7	10.4	9.1
120	28.4	12.1	10
130	26.9	13.8	11.3
140	-	14.6	12.7
150	-	15.2	13.2
160	-	14.6	12.5



Fuerza Promedio	18.93	Kg Kg/cm ²
Esfuerzo Promedio	1.97	

W Muestra1 = 531,8 g
 %Humedad = 2,7 %
 %Humedad Óptima = 15%
 Hace falta agregar un 12,3%
 de agua respecto al peso de la



Observación:

Cuando se llegó a la humedad óptima, le adicionamos un 4% más de agua respecto a la humedad óptima ya que las probetas se desmoronaban al retirarlas del molde.

12,3% de Agua 65.411 ml

4% de Agua 21.272 ml

Humedad Final	19.00%
----------------------	---------------

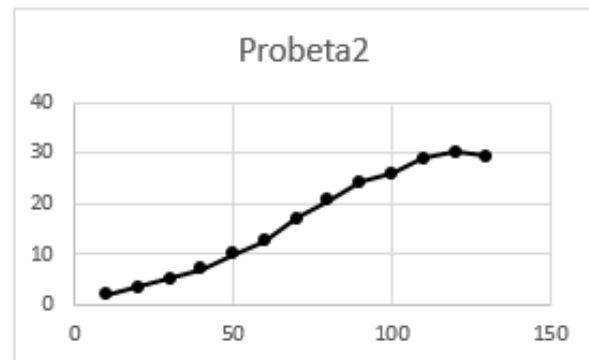
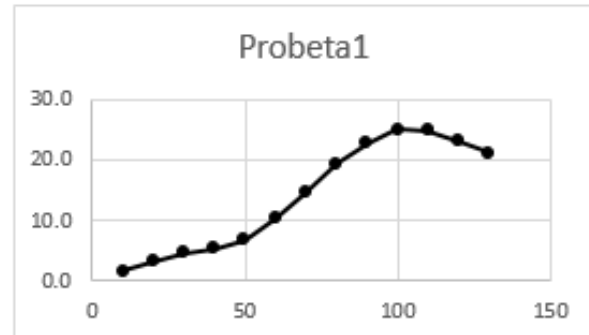
ESTUDIO Y ELABORACIÓN DE LADRILLOS DE SUELO CEMENTO Y FIBRAS

METÁLICAS

Muestra 2

W Tara (g)	Wsh+ Wtara (g)	Wss+ Wtara (g)	Wsh (g)	Wss (g)	% H	%H OPTIMA
8.5	50	48.2	41.5	39.7	4.5%	13.50%

	105,4 gr	102,1 gr	105,3 gr
Conteo	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
10	1.7	2	1.7
20	3.2	3.5	2.7
30	4.7	5.1	3.7
40	5.4	7	4.5
50	6.8	10	5.6
60	10.3	12.6	6.6
70	14.5	17	7.7
80	19.4	20.7	9.6
90	22.8	24.2	11.8
100	25.0	25.8	14.7
110	24.8	28.9	18
120	23.0	30.1	20.4
130	21.1	29.4	22.5
140	-	-	24.5
150	-	-	22.1



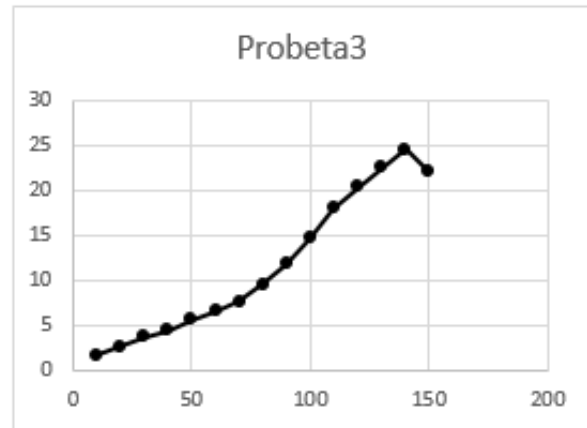
Fuerza Promedio	26.53	Kg Kg/cm2
Esfuerzo Promedio	2.76	

W Muestra1 = 628,7 g

%Humedad = 4,5%

%Humedad Óptima = 13,5%

Hace falta agregar un 9% de agua respecto al peso de la muestra



Observación:

Cuando se llegó a la humedad óptima, le adicionamos un 4% más de agua respecto a la humedad óptima ya que las probetas se desmoronaban al retirarlas del molde.

9% de Agua 56.583 ml

4% de Agua 25.148 ml

Humedad Final	17.50%
----------------------	---------------

Apéndice 9. Tabla de tamaño muestral para los ensayos a ladrillos de suelo- cemento.

Suelo Cemento	Flexión			Compresión			Muretes
	7 días	14 días	28 días	7 días	14 días	28 días	28 días
10% sin Fibras	4	4	4	4	4	4	54
10% con Fibras	4	4	4	4	4	4	54
15% sin Fibras	4	4	4	4	4	4	54
15% con fibras	4	4	4	4	4	4	54

Total	16	16	16	16	16	16	216
--------------	----	----	----	----	----	----	-----

Cada Murete 6 Ladrillos
Son 3 Ensayos por Murete es decir 54 Ladrillos

Total de ladrillos a ensayar
312

Total de ladrillos a fabricar
320

Apéndice 10. Tabla de cálculo de peso del suelo según las dimensiones del ladrillo.

CILINDRO DE PRUEBA

H cilindro	7	cm	0.07	m	70	mm
Diametro	3.5	cm	0.035	m	35	mm
Área	9.62	cm ²	0.000962113	m ²	962.11	mm ²
Volumen	67.35	cm ³	6.735E-05	m ³	67347.89	mm ³

MOLDE PREFASUR

Soga	20	cm	0.2	m	200	mm
Tizón	10	cm	0.1	m	100	mm
Grueso	5.5	cm	0.055	m	55	mm
Volumen	1100	cm ³	0.0011	m ³	1100000	mm ³

PESO DE LAS MUESTRAS SUELO 1

Probeta 1	105.4	gr	0.1054	kg	Humedad Óptima 15% , se agregó un 4% más de agua para una humedad final del 19%.
Probeta 2	102.1	gr	0.1021	kg	
Probeta 3	105.3	gr	0.1053	kg	
Promedio	104.3	gr	0.1043	kg	

Si para un Volumen de 67.3 cm³ necesité 104.3 gr de suelo
 Para un Volumen de 1100 cm³ se necesitan 1703.0 gr

Total de Peso de tierra multiplicado por la cantidad de ladrillos a fabricar	544959.39	gr
	544.96	kg

Apéndice 11. Peso de cemento y fibras metálicas, requerido para la fabricación de los ladrillos.

Cemento				
Cant. de Ladrillos	Suelo (gr)	% Cemento	Cemento (gr)	
160	1703	10%	170.3	27248.0
Cant. de Ladrillos	Suelo (kg)	% Cemento	Cemento(Kg)	
160	1.703	10%	0.1703	27.248

Cant. de Ladrillos	Suelo (gr)	% Cemento	Cemento (gr)	
160	1703	15%	255.4	40872.0
Cant. de Ladrillos	Suelo (kg)	% Cemento	Cemento(Kg)	
160	1.703	15%	0.25545	40.872
			Total Cemento (gr)	68119.9
			Total Cemento (Kg)	68.12

Fibras Metálicas				
Suelo (gr)	% a trabajar	Fibras (gr)	Cantidad Lad	Peso Fibras (gr)
1703	3%	51.08994315	160	8174.390905
Suelo (Kg)	% a trabajar	Fibras (Kg)	Cantidad Lad	Peso Fibras (Kg)
1.703	3%	0.05109	160	8.1744
			Total Fibras (gr)	8174.4
			Total Fibras (Kg)	8.17

