



Facultad de Arquitectura

Escuela de construcción civil

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LADRILLOS DE
SUELO-CEMENTO CON INCORPORACIÓN DE FIBRAS HÍBRIDAS.**

Por

Felipe Andres Cuitiño Candia.

Profesor guía: Sr. Juan Egaña Ramos.

Tesis para optar al título profesional de ingeniero constructor.

Abril, 2015

INDICE GENERAL

Resumen	7
Capítulo I: Antecedentes generales.....	8
1.1. Introducción.....	8
1.2. Justificación de la investigación	9
1.3. Objetivos	10
1.3.1. Objetivo general	10
1.3.2. Objetivos específicos	10
1.4. Hipótesis.....	10
1.5. Alcances y limitaciones	10
1.6. Metodología de la investigación.....	11
1.6.1. Cronograma	11
1.6.2. Estructura de la tesis.....	12
Capítulo II: Marco teórico	13
2.1. Suelo	13
2.1.1. Características principales de los suelos	13
2.1.2. Clasificación de los suelos	14
2.1.3. Consistencia de los suelos.....	20
2.2. Cemento.....	20
2.3. Agua	21
2.4. Fibra híbrida	21
2.5. Ladrillos de suelo-cemento con fibras híbridas.....	23
2.5.1. Suelo	23
2.5.2. Cemento.....	24
2.5.3. Agua	24
2.5.4. Fibras	25

2.5.5. Mezclado de los componentes.....	25
2.5.6. Compactación y moldeo.....	25
2.5.7. Curado y acopio	26
2.5.8. Ensayos.....	26
2.5.9. Tamaño de la muestra	28
Capítulo III: Diseño de ladrillos de suelo cemento.....	30
3.1. Generalidades	30
3.2. Determinación de variables.....	30
3.2.1. Variables independientes.....	30
3.2.2. Variables dependientes.....	31
3.3. Ensayos.....	31
3.3.1. Ensayos sobre muestra suelo natural.....	31
3.3.2. Ensayos sobre suelo cemento	32
3.3.3. Ensayos sobre muestra suelo cemento	32
3.4. Etapas de investigación en laboratorio	33
3.5. Definición de metodologías, formas de aplicación y desarrollo.....	35
3.5.1 Sobre muestra de suelo natural	35
3.5.2. Sobre suelo cemento	37
3.5.3. Sobre ladrillos de suelo cemento	39
3.6. Dosificación y mezclado de los componentes	42
Capítulo IV: Presentación y análisis de resultados.....	43
4.1. Sobre suelo natural	43
4.1.1 Granulometría	43
4.1.2 límites de consistencia	44
4.2. Sobre suelo-cemento	45
4.2.1 Proctor modificado	45
4.3 Ensayos sobre ladrillos de suelo-cemento	46

4.3.1 Ensayo de resistencia a compresión a los 7 días.....	46
4.3.2 Ensayo de resistencia a compresión a los 28 días.....	49
4.3.3. Análisis de resultados ensayo de compresión.....	51
4.3.4. Ensayo absorción de agua a los 7 días.	52
4.3.5. Ensayo absorción de agua a los 28 días.	54
4.3.6. Análisis de resultados ensayo absorción de agua.....	56
4.3.7. Ensayo adherencia a cizalle a los 28 días.	57
4.3.8. Análisis de resultados adherencia a cizalle	59
4.4 Análisis de costos.....	60
Capítulo V: Conclusiones	63
Bibliografía.....	64

Índice de gráficos

Gráfico 1: Granulometría sobre suelo natural.	44
Gráfico 2: Proctor modificado, Densidad seca v/s humedad.	46
Gráfico 3: Análisis de resultados ensayo de compresión. Rc (kg/cm ²) vs fibra (gr/m ³)	51
Gráfico 4: Análisis de resultados ensayo de absorción de agua. Absorción de agua (%) vs fibra (gr/m ³).	56
Gráfico 5: Análisis de resultados ensayo de adherencia a cizalle. Adherencia a cizalle (Kgf/cm ²) vs fibra (gr/m ³).	59

Índice de tablas

Tabla 1: Granulometría sobre suelo natural.....	44
Tabla 2: Resumen resultados límites de consistencia.....	44
Tabla 3: Proctor modificado sobre muestra de suelo cemento (12% cemento).....	45
Tabla 4: Proctor modificados sobre muestra de suelo cemento (12% cemento).....	45
Tabla 5: Resumen proctor modificado.....	45
Tabla 6: Resultados ensayo a compresión a los 7 días, mezcla sin fibra, 12% cemento.....	47
Tabla 7: Resultados ensayo a compresión a los 7 días, fibra 1000 (grs/m ³), 12% cemento.....	47
Tabla 8: Resultados ensayo a compresión a los 7 días, fibra 1500 (grs/m ³), 12% cemento.....	47
Tabla 9: Resultados ensayo a compresión a los 7 días, fibra 2000 (grs/m ³), 12% cemento.....	48
Tabla 10: Resumen de resultados promedios ensayo de compresión a los 7 días.....	48
Tabla 11: Resultados ensayo a compresión a los 28 días, mezcla sin fibra, 12% cemento.....	49
Tabla 12: Resultados ensayo a compresión a los 28 días, fibra 1000 (grs/m ³), 12% cemento.....	49
Tabla 13: Resultados ensayo a compresión a los 28 días, fibra 1500 (grs/m ³), 12% cemento.....	50
Tabla 14: Resultados ensayo a compresión a los 28 días, fibra 2000 (grs/m ³), 12% cemento.....	50
Tabla 15: Resumen de resultados promedios ensayo de compresión a los 28 días.....	51
Tabla 16: Resultados ensayo absorción de agua a los 7 días, mezcla sin fibra, 12% cemento.....	52
Tabla 17: Resultados ensayo absorción de agua a los 7 días, fibra 1000 (gr/m ³), 12% cemento.....	52
Tabla 18: Resultados ensayo absorción de agua a los 7 días, fibra 1500 (gr/m ³), 12% cemento.....	53
Tabla 19: Resultados ensayo absorción de agua a los 7 días, fibra 2000 (gr/m ³), 12% cemento.....	53
Tabla 20: Resumen de resultados promedios ensayo de absorción a los 7 días.....	53
Tabla 21: Resultados ensayo absorción de agua a los 28 días, mezcla sin fibra, 12% cemento.....	54
Tabla 22: Resultados ensayo absorción de agua a los 28 días, fibra 1000 (gr/m ³), 12% cemento.....	54
Tabla 23: Resultados ensayo absorción de agua a los 28 días, fibra 1500 (gr/m ³), 12% cemento.....	55
Tabla 24: Resultados ensayo absorción de agua a los 28 días, fibra 2000 (gr/m ³), 12% cemento.....	55
Tabla 25: Resumen de resultados promedios ensayo de absorción de agua a los 28 días.....	55
Tabla 26: Resultados ensayo adherencia a cizalle a los 28 días, mezcla sin fibra, 12% cemento.....	57
Tabla 27: Resultados ensayo adherencia a cizalle a los 28 días, fibra 1000 (grs/m ³), 12% cemento.....	57
Tabla 28: Resultados ensayo adherencia a cizalle a los 28 días, fibra 1500 (grs/m ³), 12% cemento.....	58
Tabla 29: Resultados ensayo adherencia a cizalle a los 28 días, fibra 2000 (grs/m ³), 12% cemento.....	58
Tabla 30: Resumen de resultados promedios ensayo de adherencia a cizalle a los 28 días.....	58

Resumen

En esta tesis se presenta el estudio y evaluación realizado a ladrillos de suelo cemento con incorporación de fibras híbridas.

La investigación consistió en diseñar y fabricar ladrillos de suelo cemento con agregado de fibras sintéticas Ruredil x fiber 54. Estos ladrillos se construyeron con 3 dosificaciones de esta fibra y sin ella. Se realizaron ensayos y un estudio comparativo con la finalidad de determinar si existe una mejora en las propiedades mecánicas del material al incorporar la fibra.

La mayoría de los ladrillos con el agregado de fibra lograron buenos resultados en comparación a los ladrillos que no la tenían. Los ladrillos con agregado de 1500 gr/m³ de fibra, fueron los que presentaron los mejores resultados.

Palabras clave: suelo, cemento, fibras híbridas, ladrillos.

Capítulo I: Antecedentes generales

1.1. Introducción

Las técnicas de construcción con tierra se encuentran presentes en la historia de la humanidad hace más de 9000 años, como lo muestran hallazgos de viviendas en Turquestán (Pumpelly, 1908). En la actualidad un tercio de la población mundial vive en viviendas de tierra y en países en vías de desarrollo más de la mitad de sus habitantes utilizan la tierra para la construcción de sus viviendas, sin embargo, a pesar del arraigo histórico de la utilización de este material y del gran uso que se le da hoy en día, aún existe desconocimiento de las formas apropiadas para su uso (Rufino et al, 2012).

El suelo-cemento es el conjunto de suelo o tierra, cemento y agua, debidamente dosificados y compactados. Dentro de sus aplicaciones están la de revestimientos de muros y pisos, mampostería, entre otros. La acción de un agente estabilizante como el cemento, brinda a la tierra una mejora en sus cualidades y aporta otras características que por sí sola no posee. Este procedimiento de estabilización consiste en extraer el suelo natural del terreno, pulverizarlo, agregarle una cantidad determinada y reducida de cemento, adicionarle agua hasta el humedecimiento óptimo de la mezcla y compactarlo razonablemente, con lo que se obtiene una masa de gran resistencia al terminar el endurecimiento. De esta manera se consigue que el material soporte cargas de trabajo muy superiores a las que podría resistir el suelo sin cemento, obteniéndose además, una buena durabilidad ante la acción de agentes atmosféricos (Barros, 2010).

Aún cuando en la actualidad hay variados estudios que demuestran la adecuada resistencia de este material, siempre queda espacio para formar y plantearse nuevas investigaciones. La incorporación de otros materiales a esta mezcla de suelo, cemento y agua, proponen una variación en sus resistencias las que mayoritariamente son favorables.

1.2. Justificación de la investigación

En la actualidad, a nivel mundial, se ha tomado con gran importancia el estudio de nuevas propuestas de materiales constructivos de bajo impacto ambiental. Materiales que generen un mínimo consumo energético en su elaboración y liberen una mínima cantidad de residuos contaminantes. Ante esto, las técnicas constructivas en tierra toman gran importancia, ya que están caracterizadas por su simplicidad, eficiencia, economía y bajo impacto ambiental (Imhoff, 2010).

Dentro de las construcciones nacionales uno de los materiales más empleados son los ladrillos cerámicos. En su fabricación se genera un gran gasto energético y contaminación atmosférica, dado la emanación de CO₂ que se libera, debido a que la arcilla de la cual están fabricados estos ladrillos deben ser cocinadas a altas temperaturas en hornos para poder obtener sus características resistentes (Yepes et al, 2012).

Ignacio Zabalza, del Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos de España, estima que para la fabricación de un kilo de ladrillo de arcilla, son liberados a la atmósfera un aproximado de 270 grs. de CO₂. Un ladrillo fiscal de medidas 29x14x5cm tiene un peso aproximado de 3.1 kg. Por tanto, para la fabricación de este ladrillo de arcilla se liberan 837 grs. de CO₂. Por otro lado, Fateh, en una publicación realizada para “materiales constructivos, sistemas energéticos” plantea: “Cada tonelada de cemento producida por el sistema convencional produce una tonelada de CO₂”. Para fabricar un ladrillo de suelo cemento con las mismas dimensiones que un ladrillo fiscal, se necesitaría una cantidad aproximada de 3815 grs. de mezcla de suelo cemento, de los cuales aproximadamente 380 gr. corresponden a cemento. Por tanto, la emisión de CO₂ de cada ladrillo de suelo cemento es de solo 380 gr.

Ruredil x fiber 54 es una fibra sintética estructural, diseñada para mejorar la durabilidad y las propiedades mecánicas del hormigón. Es una fibra híbrida, compuesta por un monofilamento no fibrilado a base de una mezcla especial de polímeros poliolefinicos y una fibra fibrilada de polipropileno. En las mezclas de hormigón aumenta la resistencia a la flexión, la ductilidad, la resistencia a la fatiga, su durabilidad, no se corroe, no es magnética y es 100% resistente a los ácidos, a las bases y, en general, a todos los agentes agresivos ya que es químicamente inerte (Ruredil, 2007).

Las características presentadas por esta fibra son de gran interés al momento de cuestionarse las formas posibles de hacer de las mezclas de suelo-cemento un material aún más resistente y duradero. La incorporación de las fibras a las mezclas podrían hacer un aumento de las propiedades mecánicas al igual que como lo hacen con las mezclas de hormigón, y por qué no, quizás hacer una mejora proporcionalmente mayor en cuanto a las resistencias.

Es por esta razón que esta investigación se basará en la evaluación de ladrillos de suelo-cemento con agregado de fibras RXB 54 en diferentes concentraciones, a los que se les realizaran estudios de sus propiedades mecánicas con el objetivo de encontrar la mezcla óptima entre la cantidad de suelo-cemento y la cantidad de fibras.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar de forma experimental el comportamiento de las propiedades mecánicas de ladrillos de suelo-cemento con incorporación de fibras híbridas.

1.3.2. Objetivos específicos

- Establecer las características del material escogido para ser usado en suelo cemento.
- Evaluar a través de ensayos las propiedades mecánicas de los ladrillos de suelo-cemento con agregados de fibras híbridas.
- Determinar la dosificación óptima de fibras para alcanzar la mayor resistencia de la mezcla.

1.4. Hipótesis

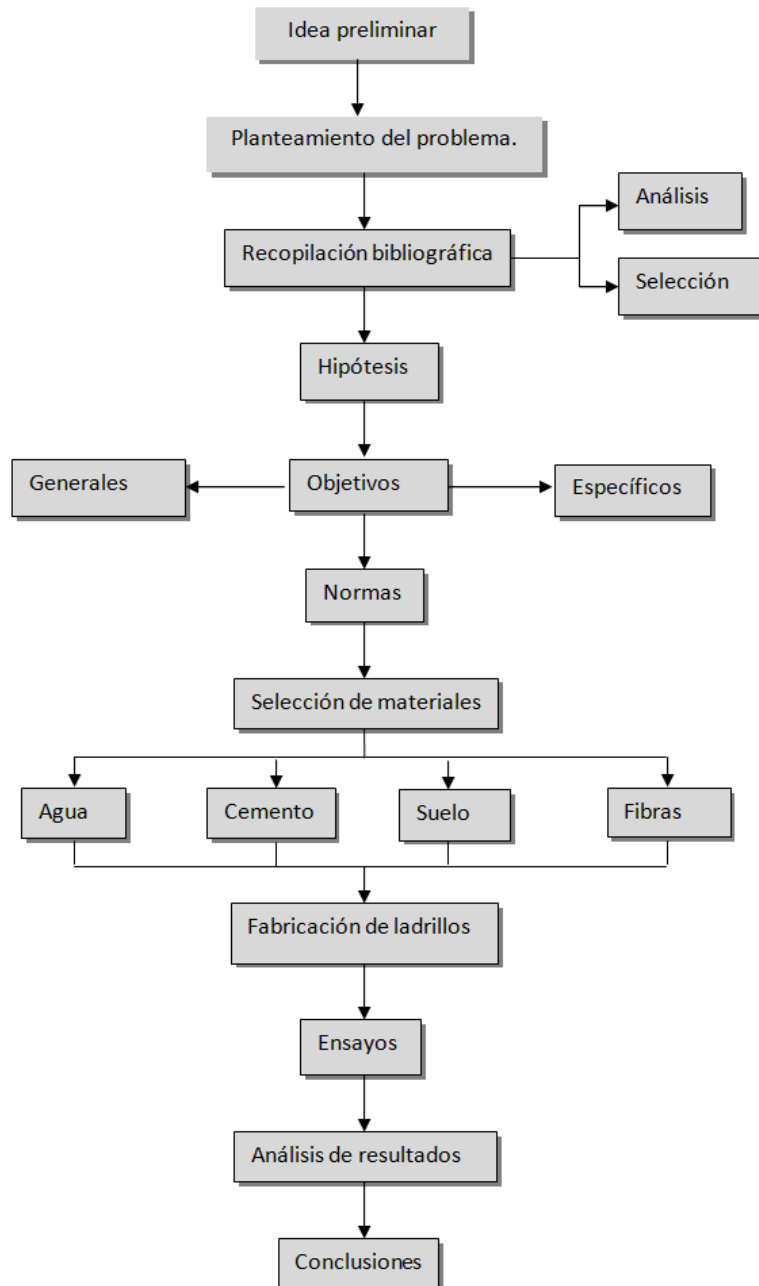
La incorporación de fibras híbridas a ladrillos de suelo-cemento produce un aumento en sus propiedades mecánicas.

1.5. Alcances y limitaciones

- Los ensayos realizados se harán según la norma para ladrillos arcillosos NCh 167 of.2001 y comparados con los requisitos estipulados en la NCh 169 Of. 2001 Y NCh 2123 of 1997. Esto se debe a que actualmente no existe una norma que regule la fabricación y ensayos para ladrillos de suelo-cemento.
- El suelo a utilizar para la fabricación de los ladrillos será extraído de forma manual del sector de Placilla en la región de Valparaíso.
- Se utilizarán probetas de dimensiones 13.7x29.2x7 cm. Simulando a los de ladrillos de arcilla para efectos comparativos con su norma vigente.
- Se utilizará cemento Portland puzolánico de grado corriente marca Polpaico.
- Se utilizarán fibras híbridas "Ruredil x fiber 54".

1.6. Metodología de la investigación.

1.6.1. Cronograma



1.6.2. Estructura de la tesis

Esta tesis estará compuesta por 5 capítulos. En el primero de ellos se determinarán todos los antecedentes generales de esta investigación. El segundo capítulo será el marco teórico, en donde se mostrará el estudio bibliográfico realizado de los materiales que serán utilizados en esta investigación: suelo, agua, cemento y fibra. En el siguiente capítulo se estipularán las variables dependientes e independientes y se determinarán todas las metodologías a seguir para la realización de los ensayos necesarios para la investigación. En el cuarto capítulo se mostrarán los resultados obtenidos de los ensayos realizados, a través de tablas y gráficos. Y por último, en el quinto capítulo, se presentarán todas las conclusiones conseguidas.

Capítulo II: Marco teórico

El suelo-cemento es una mezcla íntima de suelo, determinadas porciones de agua y cemento que se mezclan, compactan y curan para obtener mayor densidad. Cuando el cemento se hidrata la mezcla se transforma en un material duro, durable y rígido (Portland Cement Association).

Según esta definición, las propiedades de este material están determinadas por sus componentes y las cantidades en la que estos se encuentran en la mezcla, siendo el suelo y el cemento las de mayor importancia. Es por esto que se debe realizar un estudio de las propiedades de estos componentes, para saber, cómo estos influyen en el comportamiento de la mezcla.

2.1. Suelo

La corteza terrestre es la parte superior y sólida del globo terráqueo. La parte superior o exterior de esta corteza está compuesta por una capa relativamente gruesa de material fragmentario no consolidado. La parte superficial de esta capa es de espesor variable y se denomina suelo, el cual, es producto de la transformación de la roca madre, que ha llegado a este estado por efecto de procesos químicos, mecánicos y mecánico-biológicos (Enteiche, 1966)

Los suelos varían su composición química y física según el lugar en donde se encuentran, están determinados por el tipo de material geológico que los origina, por la cubierta vegetal, por el tiempo de meteorización, por la topografía y por cambios artificiales provocados por actividades humanas (Canales, 2010).

Los suelos se consideran como un compuesto de tres partes: una sólida (formada por fragmentos minerales en diferentes grados de descomposición y desintegración), una líquida (comprende el agua que se filtra entre las partículas) y una gaseosa (oxígeno, dióxido de carbono, metano, óxido nítrico).

2.1.1. Características principales de los suelos

a) **Estructura:** Es la distribución que presentan los distintos tamaños de las partículas sólidas que los forman, estos pueden ser:

-Finos: (arcillas y limos) de gran abundancia en relación a su volumen, lo que le brinda propiedades específicas como: cohesión, adherencia, absorción y retención de agua.

-Medios: formados por tamaño arena.

-Gruesos: rocas madres, aun sin degradar, de tamaños variables.

b) **Cohesión:** Es la atracción entre partículas. Se denomina cohesión real, cuando hay una ligadura entre las moléculas por la fuerza de atracción entre ellas, y cohesión aparente, cuando los suelos se encuentran humedecidos con una determinada cantidad de agua.

c) **Adherencia:** Se debe a la tensión superficial que se presenta entre las partículas de suelo y moléculas de agua. El efecto de la adhesión depende directamente de la proporción agua/aire.

d) **Capilaridad:** Indica la capacidad de un suelo para absorber agua en dirección vertical o lateralmente.

e) **Permeabilidad:** Un suelo es permeable cuando posee la propiedad de permitir el paso del agua a través de sus vacíos.

f) **Porosidad:** Se denomina así a la relación, en una masa de suelo, entre su volumen de vacíos y el volumen total de este.

g) **Índice de Vacíos:** Se define como índice de vacíos a la relación que existe entre el volumen de espacios vacíos y el volumen de la parte sólida de un suelo.

h) **Elasticidad:** Es la propiedad de un suelo de recuperar su volumen inicial en forma total o parcial, una vez que las cargas que lo solicitan hayan desaparecido.

i) **Compresibilidad:** Se refiere a la propiedad que tienen ciertos suelos a disminuir su volumen cuando sobre ellos actúa una carga determinada. Esto se debe a la disminución de la porosidad del suelo producto de la disminución de la cantidad de huecos.

j) **Textura:** Está determinado por el tamaño de las partículas que lo conforman. Según en la proporción en que se encuentren las partículas en los suelos, estos serán: arenosos o de textura gruesa, limosos o de textura media, o bien arcillosos o de textura fina.

2.1.2. Clasificación de los suelos.

Existen variados métodos de clasificaciones para determinar los diversos tipos de suelos, los más utilizados son:

a) **Clasificación genética:**

Clasifica las partículas en función de su tamaño y se le designan con diferentes nombres:

-Gravas: Estas son las partículas mayores de 4,76 mm. (Pasa por el tamiz 3" y es retenido por el tamiz N°4).

También denominado agregado grueso. Este material aporta el poder de soporte de los suelos con la fricción, traba mecánica y dureza de sus partículas. No tiene cohesión y su capilaridad es nula, no es compresible ni elástica.

-Arenas: Estas son las partículas de 4,76 a 0,074 mm. (Pasa por el tamiz N°4 y es retenido en el tamiz N° 200).

También denominado agregado fino. Este material es estable solo cuando se encuentra en estado húmedo, o bien, incrementa la estabilidad de una mezcla que esté humedecida. Su fricción interna es elevada y no tiene cohesión real; es permeable, incompresible e inelástica. Respecto a su capilaridad, es baja.

-Limos: Estas son las partículas de 0,074 a 0,005 mm. (Pasa por el tamiz N° 200).

También denominado agregado conglomerante. Es inestable por su propia naturaleza, particularmente cuando aumenta la humedad, con tendencia a fluir cuando está saturado. Tiene muy poca cohesión y fricción interna, es relativamente impermeable; contribuye a la resistencia de los suelos rellenando huecos y trabando a las partículas mayores. Es compresible y expansivo.

-Arcillas: Estas son las partículas menores a 0,005 mm. (Pasa por el tamiz N° 200).

Este material desarrolla una actividad física química intensa, no poseída por los demás componentes del suelo. No tiene fricción interna, pero tiene cohesión muy alta, que aumenta al disminuir la humedad. Es impermeable y expansivo.

b) Clasificación según sistema AASHTO:

La clasificación se realiza basada en el tamaño del grano y en la plasticidad, de acuerdo a este sistema el suelo es clasificado en siete grupos principales: desde A-1 hasta A-7; los suelos clasificados en los grupos A-1, A-2 y A-3 son suelos grueso granulares con un 35% o menos pasa por la malla n° 200, y los que presentan una cantidad superior al 35% son clasificados en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7, estos son los suelos finos o materiales limosos y arcillosos.

La clasificación es basada en los siguientes criterios:

-Tamaño de grano: Se distinguen tres tamaños principales: grava, arena y finos (limo y arcilla). Los bloques de roca (Tamaño superior a los 75 mm.) encontrados dentro de la muestra de suelo, se excluyen de la porción de análisis para la clasificación, pero se registra la cantidad presente.

-Plasticidad: El término limo es aplicado a aquellas fracciones finas donde el índice de plasticidad es inferior o igual a 10, el término arcilloso a las fracciones con plasticidad superior o igual a 11.

-Índice de grupo (IG): Para evaluar la calidad de un suelo desde el punto de vista de vías, se desarrolló una expresión matemática conocida como índice de grupo o subgrupo: La fórmula para el cálculo es la siguiente:

$$IG = (F - 35) (0,2 + (0,005 (LL - 40))) + 0,01 (F - 15) (IP - 10)$$

Donde:

F: es la fracción del suelo que pasa por la malla nº 200.

LL: es el límite líquido del suelo.

IP: es el índice de plasticidad del suelo.

Algunas reglas con respecto al uso de esta ecuación son las siguientes:

Si el valor obtenido es negativo, se debe asumir como $IG = 0$.

No hay un límite superior para el índice de grupo.

El IG debe redondearse a valores enteros: Por ejemplo si el valor obtenido es $IG = 3,3$, realmente es $IG = 3$ o si es $IG = 3,5$, realmente es $IG = 4$.

Para los grupos A-2-6 y A-2-7, el índice de grupo se calcula con la segunda parte de la ecuación, dependiendo solo del IP.

En general, la calidad en el comportamiento de un suelo cuando está como sub-base es inversamente proporcional al índice de grupo.

SISTEMA DE CLASIFICACION AASHTO											
Clasif. General	Suelos Granulares ($\leq 35\%$ pasa 0.08 mm)					Suelos Finos ($> 35\%$ bajo 0.08 mm)					
Grupo	A - 1		A-3	A-3		A - 4	A - 5	A - 6	A - 7		
Sub-Grupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6*	A-2-7*		A-7-5**		
2 mm	≤ 50										
0.5 mm	≤ 30	≤ 50	≥ 51								
0.08 mm	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35		≥ 36					
W _L				≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41		
IP	≤ 6		NP	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11
Descripción	Gravas y Arenas		Arena fina	Gravas y Arenas Limosas y Arcillosas		Suelos Limosos		Suelos Arcillosos			
	** A - 7 - 5 : IP $\leq (W_L - 30)$					A - 7 - 6 : IP $> (W_L - 30)$					
	$IG = (B/0.08 - 35) (0.2 + 0.005 (W_L - 40)) + (B/0.08 - 15) (IP - 10) * 0.01$										
	* Para A - 2 - 6 y A - 2 - 7: $IG = (B/0.08 - 15) (IP - 10) * 0.01$										

Clasificación de suelos AASHTO

Donde:

A-1-a Principalmente gravas con o sin partículas finas de granulometría bien definidas.

A-1-b Arena con o sin partículas finas de granulometría bien definidas.

A-2-4 Materiales granulares con partículas finas limosas.

A-2-5 Intermedio.

A-2-6 Materiales granulares con partículas finas arcillosas.

A-2-7 Intermedio.

A-3 Arena de granulometría deficiente que casi no contiene partículas finas ni gravas.

A-4 Principalmente partículas finas limosas.

A-5 tipos de suelo poco frecuentes que contienen partículas finas limosas, generalmente elásticas y difíciles de compactar.

A-6 Contienen partículas finas limosas o arcillosas con un límite líquido bajo.

A-7-5 Las arcillas y limos más plásticos.

A-7-6 Las arcillas y limos más plásticos.

c) Clasificación según sistema USCS:

La clasificación es basada en las propiedades de plasticidad y en la distribución del tamaño del grano, según esta última, el sistema divide el suelo en dos grandes categorías:

-Suelos Grueso granulares: Son aquellos materiales en los cuales el porcentaje retenido en la malla n° 200 es superior al 50%. Dentro de ellos están las fracciones de arena y grava, son suelos donde la distribución del tamaño y la forma de los granos influye notablemente en las propiedades ingenieriles del suelo.

-Suelos Fino granulares: Son los suelos en los cuales un 50% o más pasa por la malla n° 200. En estos suelos se incluyen las fracciones limo y arcilla, así como las fracciones de carácter orgánico. En los suelos finos son las propiedades de plasticidad las usadas para su clasificación.

La simbología utilizada para la clasificación del suelo es la siguiente:

Tamaño de partículas:

G: (Gravel): Fracción de suelo más grueso o tamaño grava.

S: (Sand): Fracción del suelo con tamaño de grano comprendido entre malla n° 4 y n° 200.

M: (Mo): Fracción fina del suelo que no posee propiedades de plasticidad, o de tener, es muy baja.

C: (Clay): Fracción fina del suelo que posee propiedades de plasticidad.

.Respecto a la distribución de las partículas en el suelo:

W: (*Well*): Buena graduación del suelo, o sea que, dentro de la masa de suelo hay un predominio de un tamaño de grano.

P: (*Poorly*): Mala gradación. Significa que dentro de la masa de suelo hay variedad en el tamaño de grano, aunque haya predominio de uno de ellos

Respecto a la Plasticidad:

L: (*Low*): Suelos con baja plasticidad, son aquellos donde $LL < 50$.

H: (*High*): Suelos con alta plasticidad, aquellos donde $LL > 50$.

FINOS (≥ 50 % pasa 0.08 mm)			
Tipo de Suelo	Símbolo	Lim. Liq. w_l	Índice de Plasticidad I_p
limos inorgánicos	ML	< 50	< 0.73 ($w_l - 20$) ó < 4
	MH	> 50	< 0.73 ($w_l - 20$)
arcillas inorgánicas	CL	< 50	> 0.73 ($w_l - 20$) y > 7
	CH	> 50	> 0.73 ($w_l - 20$)
limos y arcillas orgánicos	OL	< 50	** w_l seco al horno ≤ 75 % de w_l seco al aire
	OH	> 50	
turba	P_t	Materia orgánica fibrosa se carboniza, se quema o se pone incandescente.	
Si $I_p \geq 0.73 (w_l - 20)$ ó si I_P entre 4 y 7 e $I_p > 0.73 (w_l - 20)$, usar símbolo doble: CL-ML, CH-OH			
** Si tiene olor orgánico debe determinarse adicionalmente w_l seco al horno			
En casos dudosos favorecer clasificación más plástica Ej: CH-MH en vez de CL-ML. Si $w_l = 50$; CL-CH ó ML-MH			

Clasificación de suelos según sistema USCS para suelos finos.

SISTEMA CLASIFICACION USCS						
GRUESOS (< 50 % pasa 0.08 mm)						
Tipo de Suelo	Símbolo	% pasa 5 mm.***	% pasa 0.08 mm.	CU	CC	** IP
Gravas	GW	< 50	< 5	> 4	1 a 3	< 0.73 ($w_l - 20$) ó < 4
	GP			≤ 6	<1 ó >3	
	GM		> 12	> 0.73 ($w_l - 20$) ó > 7		
	GC					
Arenas	SW	> 50	< 5	> 6	1 a 3	< 0.73 ($w_l - 20$) ó < 4
	SP			≤ 6	<1 ó >3	
	SM		> 12	> 0.73 ($w_l - 20$) y > 7		
	SC					
* Entre 5 y 12% usar símbolo doble como GW-GC, GP-GM, SW-SM, SP-SC. *** respecto a la fracción retenida en el tamiz 0.080 mm						
** Si $I_P \geq 0.73 (w_l - 20)$ ó si I_P entre 4 y 7 e $I_P > 0.73 (w_l - 20)$, usar símbolo doble: GM-GC, SM-SC.						
En casos dudosos favorecer clasificación menos plástica Ej: GW-GM en vez de GW-GC.						
$C_u = (D_{60}) / (D_{10})$			$C_c = (D_{30}^2) / (D_{60} \cdot D_{10})$			

Clasificación de suelos según sistema USCS para suelos gruesos.

2.1.3. Consistencia de los suelos

Por consistencia se entiende al grado de cohesión aparente o de humedad de las partículas de un suelo y su resistencia a aquellas fuerzas exteriores que tienden a deformar su estructura. Dependiendo de su humedad, el suelo se puede encontrar en diferentes estados, cada uno presentando consistencias diferentes, las que son: sólido, semi-sólido, plástico, semi-líquido y líquido.

Según esto, se pueden determinar 3 límites de consistencia o de Atterberg determinados en la norma Nch 1517 of 79.

-Límite Líquido (WL o LL): Está representado por la humedad límite antes de pasar del estado líquido al estado plástico.

-Limite Plástico (WP o LP): Está representado por la humedad límite antes de pasar del estado plástico al estado semisólido.

-Límite de Contracción (WS o LC): Está representado por la humedad límite antes de pasar del estado semisólido al estado sólido.

-Índice de plasticidad: Se calcula a partir de estos límites y se define como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico. Representa el intervalo de contenido de agua en que la masa de suelo mantiene características plásticas.

$$IP = LL - LP$$

2.2. Cemento

Según la norma Nch 148, los cementos se pueden clasificar mediante:

-La naturaleza de los componentes:

Denominación	Proporción de los componentes		
	Clinker	Puzolana	Escoria
Portland	100%	-	-
Portland Puzolánico	> 70%	< 30%	-
Portland siderúrgico	> 70%	-	< 30%
Puzolánico	50 - 70%	30-50%	-
Siderúrgico	25 - 70	-	30 – 75%

-Sus características resistentes:

Grado	Tiempo fraguado		Resistencia mínima			
			Compresión		Flexión	
	Inicial (mín)	Final (máx)	7 días Kgf/cm ²	28 días Kgf/cm ²	7 días Kgf/cm ²	28 días Kgf/cm ²
Corriente	60 min	12 h	180	250	35	45
Alta resistencia	45 min	10 h	250	350	45	55

2.3. Agua

El agua a ocupar en la fabricación de suelo-cemento debe cumplir con los mismos requerimientos que especifica la Norma NCh 1498 Of. 82. para el agua de amasado en la elaboración de hormigones. El agua potable es por regla general, el agua óptima para uso en fabricación de hormigones y de suelo-cemento.

Para el caso en que no se cuente con agua potable, se podrá utilizar el agua extraída, generalmente, de cursos naturales o agua de pozo. No se usaran aguas con excesos de minerales, agentes contaminantes u otros elementos que puedan ser nocivos para el aglomerante. Si el agua presenta irregularidades, se debe hacer un análisis químico el que debe cumplir con los siguientes requisitos:

- cantidad de sólidos en suspensión, debe ser inferior a 2.000 mg/l
- cantidad de sólidos disueltos, debe ser inferior a 15.000 mg/l. (zabaleta, 2003)

2.4. Fibra híbrida

Son fibras estructurales sintéticas, compuestas por un monofilamento no fibrilado a base de una mezcla especial de polímeros poliolefínicos y una fibra fibrilada de polipropileno.

Estas fibras, utilizadas generalmente en mezclas de hormigón, ayudan a reducir y, en algunos casos, hasta eliminar totalmente la contracción plástica. El hormigón preparado con agregado de estas fibras tiene una durabilidad y resistencia mecánica netamente superior al hormigón preparado con igual dosificación (en volumen) de fibras metálicas lisas o con ganchos.

a) Principales características:

- Disminuye y, en algunos casos, elimina la contracción plástica.
- Aumenta la resistencia a la flexión, la ductilidad, la fatiga.
- No se corroe.
- No es magnética.
- Es 100% resistente a los ácidos, a las bases y, en general, a todos los agentes agresivos ya que es químicamente inerte.

b) Aplicaciones:

- Pisos Industriales.
- Losas colaborantes.
- Shotcrete.
- Hormigones PRE fabricados.

c) Fibras híbridas en el mercado:

Ruredil es una empresa que distribuye distintos tipos de micro-fibras para la construcción a nivel mundial.

Dentro de sus productos se encuentra "Ruredil x fiber 54", y sus propiedades son:

Propiedades**Características físico-químicas de las fibras RXF 54.**

Material	Mezcla de fibras de un copolímero poliolefínico y una fibra fibrilada de polipropileno
Peso específico	0,91 kg/dm ³
Largo	54mm
Diámetro equivalente	0,342mm
Relación largo/diámetro	158
Resistencia a tracción	620-758 MPa
Resistencia a los ácidos, las bases y las sales	Total
Conformidad	ASTM C-1116



2.5. Ladrillos de suelo-cemento con fibras híbridas

El suelo natural usado en forma tradicional como adobe o suelo apisonado presenta limitaciones en su aplicación debido a su baja resistencia mecánica, lo que obliga a fabricar elementos con mayores espesores y que igualmente son vulnerables a las acciones atmosféricas y especialmente a las erosiones provocadas por las lluvias. Por esto, es necesario agregar otros elementos con los cuales se permita estabilizar la tierra y, así, hacerla más resistente en el aspecto mecánico o químico (Godoy, 2010)

El cemento al ser incorporado a la tierra, modifica el comportamiento de las partículas de esta, entregándole mayor estabilidad, resistencia, y durabilidad.

2.5.1. Suelo

El suelo adecuado para ser estabilizado con cemento es el que da una resistencia elevada y se contrae poco al secarse. Un suelo ideal debe estar compuesto por arena, limo y arcilla; estos dos últimos en proporción tal, que den suficiente cohesión a la mezcla sin que se produzcan contracciones perjudiciales. Existen diversas opiniones y distintas recomendaciones respecto de la granulometría óptima; sin embargo, todas estas coinciden en que los suelos ideales son los arenosos, por ser los que producen mejores resultados al ser estabilizados.

El siguiente cuadro recopilatorio, muestra los datos de distintos autores que recomiendan granulometrías óptimas de suelos para ser estabilizados. La mayoría recomienda un mayor porcentaje en arenas (45-80%), luego limo (15-30%) y por último arcilla (10-20%). Aunque cada componente juega un rol importante dentro del conjunto del suelo, la arcilla es clave por tratarse de un material aglomerante, mientras que la arena y el limo dan estructura y estabilidad al sistema (Barros, Imhoff, 2010).

Autores	Recomendación	Arena [%]	Limo [%]	Arcilla [%]
Enteiche	óptimo	75	10	15
	rango	45 a 80	20 a 55	
De la Fuente	rango	55 a 80	20 a 45	
De Olarte	óptimo	70	15	15
U. de Valparaíso	rango	70 a 80	20 a 30	5 a 10
Minke	óptimo	70	30	
Walker, Keable	óptimo	45-80	15 a 30	5 a 20
Krüger	óptimo	60	40	

Cuadro recopilatorio de granulometrías recomendadas para suelo-cemento

El suelo ideal para la confección de ladrillos de suelo cemento es el de naturaleza arenosa, con una proporción de finos tal que le confiera cierta plasticidad para su moldeo en bloques. En ese sentido, una proporción adecuada sugerida por Roseto es:

- Arcilla: 5-10%
- Limo: 10-20 %
- Arena: 60-80%

2.5.2. Cemento

El cemento denominado “portland”, provisto por la industria nacional cumple con las condiciones adecuadas y requeridas para la mezcla. Su dosificación será en unidades de peso en relación a la cantidad de suelo utilizado para la mezcla y esto depende, en gran medida, del sistema de compactación utilizado:

- A menos compactación, mayor presencia de cemento.
- A mayor compactación, menor presencia de cemento.

Según Miles (2006), la determinación práctica del porcentaje de cemento en las mezclas de suelo-cemento se efectuará experimentalmente variando la proporción del volumen de cemento entre un 5% y un 12%, utilizando una misma clase de suelo.

2.5.3. Agua

Importante es conseguir una humedad óptima para la mezcla. El exceso o, por el contrario, la falta de agua, podrían provocar estados que influyan en la trabajabilidad del materia y, posteriormente, en su resistencia y durabilidad del mismo.

Cada tipo se suelo requiere un grado de humedad determinado para su correcta compactación, generalmente, los grados de agua oscilan entre el un 8% y un 16%.

La humedad optima para un tipo de suelo, se obtiene a través del ensayo de proctor modificado.

2.5.4. Fibras

Las especificaciones técnicas del proveedor de Ruderil x fiber 54, indican que la dosificación mínima es de 1.5kg de fibras por cada m³ de mezcla, esto varía dependiendo del rendimiento que se desea obtener.

2.5.5. Mezclado de los componentes

Es muy importante que el suelo y el cemento sean premezclados en seco, hasta obtener una mezcla de color uniforme. Esto se puede realizar con la utilización de pala de forma manual, o mediante máquina mezcladora. Importante es que independiente del método, el lugar de mezclado debe estar limpio, libre de agentes externos que puedan alterar la mezcla.

Una vez los componentes secos se encuentren uniformes y sin grumos, se agrega el agua en pequeñas cantidades hasta alcanzar el contenido óptimo para la compactación.

El contenido de humedad óptimo en la mezcla se puede verificar de la siguiente manera:

- Se toma un puñado de mezcla y se aprieta entre los dedos y la palma de la mano, sin que fluya el agua por entre los dedos.
- Se deja caer a una superficie dura desde a próximamente un metro.
- Si la humedad es óptima, la mezcla se debería fragmentar en pedazos. Si esto no ocurre, la mezcla tiene exceso de agua, por el contrario, si la mezcla se desmorona sin conservar la forma en la mano, hay una insuficiencia de agua (Ottazi, et ál. 1993).

2.5.6. Compactación y moldeo

Una vez obtenida la mezcla con su óptimo de humedad, se coloca en un molde y se compacta. Es importante que la compactación se realice una hora después de que el agua se haya agregado a la mezcla.

A través de la compactación, la mezcla suelta se comprime hasta un cierto límite dependiendo del molde, variando su volumen inicial y transformándose en una masa mas compacta y con un mínimo de vacíos.

Existen diferentes sistemas de compactación, entre ellos se encuentran:

-Manual: con un pisos metálico de 8.3 kg. Y 336 cm² de superficie, se deja caer de 0.35 mt. generando 1.69 j/cm².

- Maquinarias moldeadoras: la conocida CIMV A-RAM, produce ladrillos de excelente calidad y su funcionamiento es por la compresión realizada por un hombre a través de una palanca.

2.5.7. Curado y acopio

El curado de los ladrillos de suelo-cemento es muy similar al del cemento u hormigón. Es importante que durante este periodo, el ladrillo permanezca protegido del sol y de la lluvia.

Durante las primeras 24 horas de curado es importante que no se produzcan pérdidas de humedad y/o cambios bruscos en la temperatura. Deben ser colocados sin apilar, sobre una superficie lisa y no absorbente. Luego de esto y durante los siguientes tres días, los ladrillos se deberán humedecer por lo menos 3 veces al día, de tal manera que permanezcan superficialmente secos.

Al quinto día, los ladrillos ya pueden apilarse (hasta un máximo de 5 hileras). Se debe mantener el riego hasta el octavo día. Día el cual, pueden salir de la zona de curado y ser almacenados en un lugar fresco y seco hasta el día 28 en donde alcanzara su máxima resistencia.

2.5.8. Ensayos

Debido a la inexistencia de una normativa que regule los ladrillos de suelo-cemento, los ensayos a realizar serán los estipulados en la NCH167 Of. 2001 Ladrillos Cerámicos y deberán cumplir con los requerimientos establecidos en la NCh 169 Of. 2001 Ladrillos cerámicos – Clasificación y requisitos.

a) Resistencia a compresión:

Relación entre la carga máxima que resiste la unidad, cuando esta carga actúa perpendicularmente.

Para la realización de este ensayo se requiere de una prensa provista de rótula.

El tamaño mínimo de la muestra será de seis unidades, las cuales deberán estar secas; en caso de no ser así, secar en horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas.

Se comienza por colocar el ladrillo en el centro de las placas de la prensa, la cual debe estar libre de cualquier impureza, que impida la correcta ejecución del ensayo.

Posteriormente se comienza a aplicar la carga en forma normal, y su velocidad de carga no debe exceder de 20 MPa/min. (NCh 167 Of 2001)

La resistencia a compresión se obtiene dividiendo la carga máxima por la superficie media de sus dos caras de apoyo.

b) Absorción de agua

Es la cantidad de agua que absorbe el ladrillo, mediante inmersión total, durante 24 horas.

Para la realización del ensayo se requiere de una balanza con una sensibilidad de 0,5 g, y además de un recipiente que permita la inmersión de toda la muestra.

El tamaño mínimo de la muestra será de seis unidades.

En primer lugar, los ladrillos se secan hasta peso constante en un horno ventilado a una temperatura de 110 a 115 °C, se considera peso constante p1, cuando la diferencia entre dos mediciones seguidas varíe menos de un 0,1%, o bien 24 horas.

Los ladrillos ya secos se sumergen completamente en agua potable durante 24 horas.

A continuación, se sacan los ladrillos y se dejan estilar por 5 minutos aproximadamente, y luego se les quita el agua superficial visible con un paño húmedo, e inmediatamente se pesan, p2.

La absorción se calcula según:

$$A = ((P2 - P1) / p1) * 100$$

Donde:

A: Absorción de agua en %.

P1: Masa del ladrillo seco, en Kg.

P2: Masa del ladrillo saturado, en Kg.

c) Adherencia a cizalle

Es la atracción físico-química entre el ladrillo y el mortero de pega.

Este ensayo se realiza sometiendo a cizalle probetas formadas por tres ladrillos, pegados con mortero normalizado, según NCh 163 Of. 2001.

Para este ensayo se requiere de una prensa provista de rótula, y la muestra debe ser de 18 ladrillos.

Para confeccionar las probetas se coloca el primer ladrillo sobre una superficie plana y nivelada, para luego extender una capa de mortero de 20 mm de espesor. A continuación se coloca el ladrillo central, ejerciendo una presión uniforme, de manera de obtener un espesor de junta de 10 mm. Después de un periodo de una hora, y luego de humectar la cara del ladrillo central, se coloca la segunda capa de mortero y el tercer ladrillo, procediendo de forma análoga.

Las probetas se dejan secar en ambiente de laboratorio, tapadas con polietileno, por 7 días.

El ensayo se realiza controlando la velocidad de aplicación de carga, la que no debe ser mayor de 1 MPa/min.

La adherencia se calcula según:

$$A = P/S$$

Donde:

A: Adherencia, en MPa.

P: Carga Máxima, en N.

S: Área bruta total de las superficies de pega, en mm².

2.5.9. Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra se determinara según la norma Nch167 of 2001. Según esta, la cantidad de probetas para los ensayos a realizar son los siguientes:

- 6 probetas por ensayo de compresión.
- 6 probetas por ensayo de absorción.
- 6 probetas de 3 ladrillos cada una, para adherencia a cizalle.

Ensayo	N° lad. Sin agre. 7 días	N° lad. Sin agre. 28 días	N° lad. Cant. Agre. 1 7 días	N° lad. Cant. Agre. 1 28 días	N° lad. Cant. Agre. 2 7 días	N° lad. Cant. Agre. 2 28 días	N° lad. Cant. Agre. 3 7 días	N° lad. Cant. Agre. 3 28 días	Total
Compresión	6	6	6	6	6	6	6	6	48
Absorción	6	6	6	6	6	6	6	6	48
Cizalle	0	18	0	18	0	18	0	18	72
Total	12	30	12	30	12	30	12	30	168

Para efecto de los resultados, se efectuarán los ensayos de compresión y absorción a los 7 y 28 días, mientras que para adherencia a cizalle, por el tiempo requerido para la fabricación de la probeta, solo se efectuará el ensayo a los 28 días. Se considera el análisis de una muestra sin el agregado de fibras y la de muestras con 3 cantidades diferentes del agregado, por tanto se obtiene un total de 168 ladrillos a fabricar.

Capítulo III: Diseño de ladrillos de suelo cemento

3.1. Generalidades

Investigación experimental, a ser realizada en los laboratorios de hormigón de la Universidad de Valparaíso. Con esta investigación se pretende determinar de forma práctica, a través de ensayos, cómo varían las propiedades mecánicas de ladrillos de suelo cemento con incorporación de fibras híbridas.

La fabricación de los ladrillos o probetas, que estarán compuesta por 4 materiales principales: arena (obtenida de forma manual del sector de placilla, región de Valparaíso), agua (proporcionada por el laboratorio), cemento (comprado en el mercado y financiado por el alumno) y Ruredil Xfiber 54 (fibra disponible en el laboratorio). Todos los procesos requeridos para llevar a cabo esta investigación serán realizados por el alumno, siguiendo y cumpliendo los procesos establecidos por las diferentes normativas chilenas según correspondan.

Para la realización de esta investigación se realizaran ensayos en tres tipos de muestras: en muestra de suelo natural, en suelo cemento y en los ladrillos de suelo cemento con diferentes porcentajes de agregado de fibras híbridas.

Los resultados obtenidos de los ensayos se presentarán de forma grafica y comparativa a través de gráficos y tablas.

Los datos obtenidos serán analizados para posteriormente ser presentados en las conclusiones.

3.2. Determinación de variables

3.2.1. Variables independientes

Para la realización de esta investigación se mantendrá de forma constante el agregado de arena, cemento y agua, variando solo en la cantidad de agrado de fibras, que según el fabricante, se utiliza una cantidad de 1500 grs. de fibra por cada m³ de hormigón. El cemento se mantendrá constante en un porcentaje que se determinará una vez se obtenga el estudio granulométrico del suelo y según la literatura estudiada. La cantidad de agua será la determinado como humedad optima a través del ensayo de proctor modificado para la mezcla de suelo con cemento.

Por tanto se considerarán como variables independientes:

-Cemento:

-Agua:

-Fibras: concentraciones de 1000, 1500, 2000 grs. por m³ de mezcla.

3.2.2. Variables dependientes

Las variables dependientes corresponden a los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a compresión, absorción de agua y adherencia a cizalle.

3.3. Ensayos

3.3.1. Ensayos sobre muestra suelo natural

a) Granulometría:

Se analizará el suelo escogido para determinar las cantidades de arena, limo y arcillas, con las que este está compuesto. Se llevará a cabo bajo la norma NCh 165.of 77. La que se refiera al tamizado y determinación de granulometría para áridos.

b) Límite de consistencia:

Será realizado según los criterios de la norma NCh1517.of77.

Se determinarán los límites líquidos y plásticos, para a través de estos determinar el índice de plasticidad.

3.3.2. Ensayos sobre suelo cemento

a) Proctor modificado:

Este ensayo se realizará para determinar la cantidad óptima de humedad de compactación del suelo cemento y se efectuará según NCh 1534-2 of. 79

3.3.3. Ensayos sobre muestra suelo cemento

a) Resistencia a compresión

Mediante este ensayo se determinará la resistencia mecánica del material. Este ensayo permite evaluar la resistencia a compresión que alcanzan los ladrillos a distintas edades. Se realizará a las edades de 7 y 28 días.

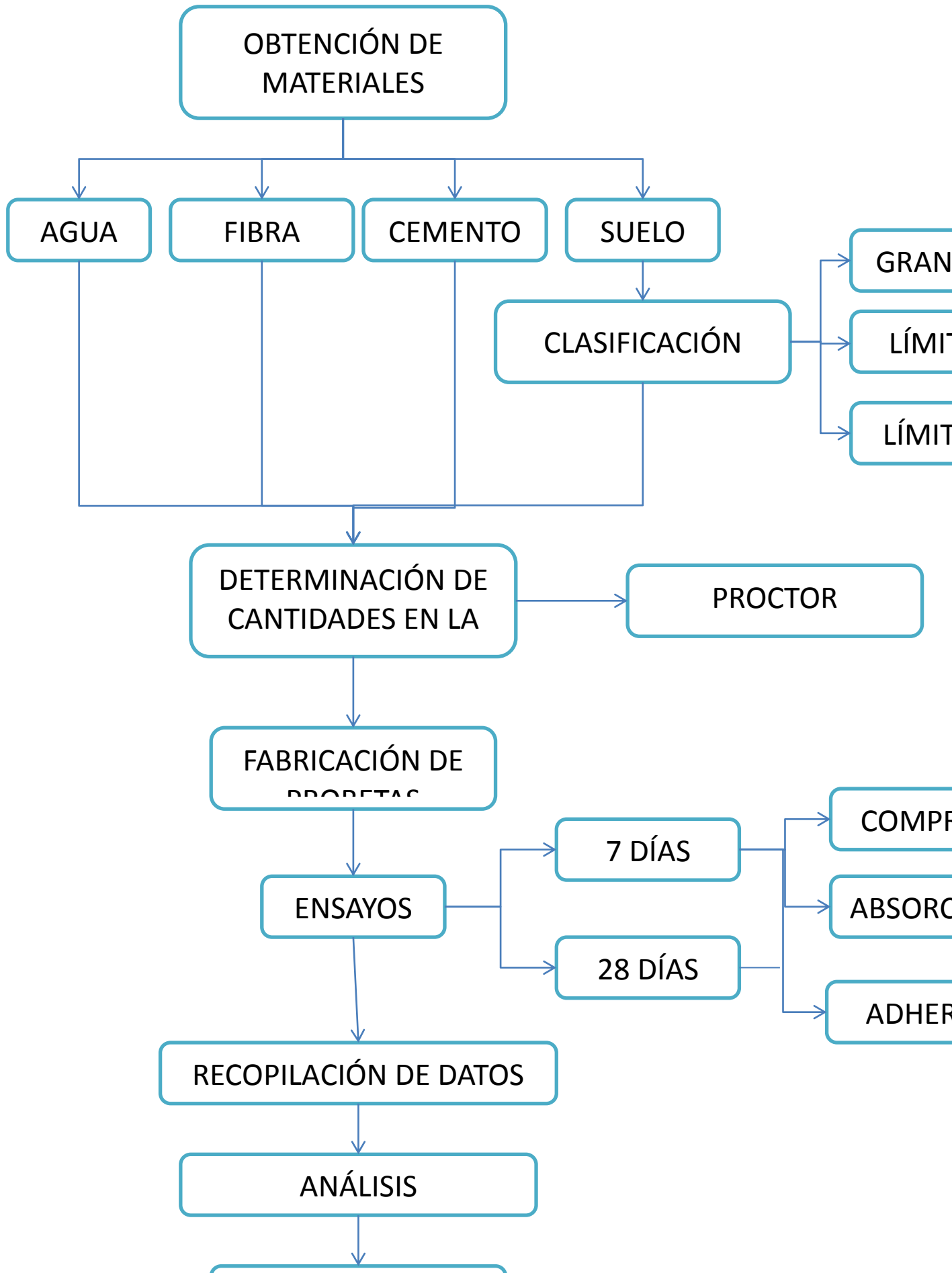
b) Absorción de agua

Este ensayo determina la cantidad de agua que absorbe el ladrillo mediante la inmersión total durante 24 horas. Y permite evaluar si es que la absorción aumenta o disminuye a distintas edades. Se realizará a las edades de 7 y 28 días.

c) Adherencia a Cizalle

Este ensayo determina la atracción molecular fisicoquímica entre la superficie del ladrillo y el mortero de pega en íntimo contacto. Por motivos de fraguado solo se efectuará el ensayo a los 28 días.

3.4. Etapas de investigación en laboratorio



3.5. Definición de metodologías, formas de aplicación y desarrollo.

3.5.1 Sobre muestra de suelo natural

a) Granulometría

La muestra de suelo será sometida a análisis granulométrico. Se llevará a cabo según lo estipulado en la NCh 165 Of 77 y realizado en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad de Valparaíso.

i) Equipos y aparatos

- Mallas, tapa y fondo, de acuerdo con ASTM D 422-63 NCh 165.
- Repartidor de muestra de 1" y ½".
- Balanza con capacidad de 20 Kg. Sensibilidad 1 Gr.
- Horno capaz de mantener la temperatura a 110 ± 5 °C
- Capsula de porcelana con capacidad de 500 ml.
- Capsula de porcelana con capacidad de 5 Kg. de suelo con machacador recubierto con goma (mortero).
- Herramientas y accesorios espátulas, recipientes, brochas, palas.

ii) Procedimiento

- Homogenizar la muestra en estado húmedo y reducir por cuarteo.
- Pesar la muestra en estado húmedo.

- Secar en horno la muestra durante 24 horas a una temperatura de 110 ± 5 °C.
- Lavar la muestra para soltar todo el material contenido en los terrones, hasta que el agua sea transparente.
- Volver a sacar la muestra durante 24 horas a una temperatura de 110 ± 5 °C.
- Pasado el tiempo requerido, se saca la muestra del horno y se pesa.
- Se procede a tamizar por las distintas mallas (3/8", n°4, n°8, n°16, n°30, n°50, n°100, n°200).
- El suelo retenido en cada tamiz se pesa y registra por separado.

b) Límites de consistencia

La muestra de suelo será sometida a ensayos para la determinación de los límites de consistencia, según los procedimientos establecidos en la NCh 1517 Of 79.

i) Equipos y aparatos

- Plato de porcelana para evaporación.
- Espátula 75 mm. de largo y 20 mm de ancho.
- Aparato de estudio límites Arturo Casagrande
- Acanalador
- Recipientes
- Balanza, precisión 0,01 g.
- Probeta, capacidad 25 ml.

ii) Procedimiento límite líquido.

- Se tamiza una fracción de material por malla n°40 para obtener la muestra a ensayar (mayor a 100 grs.) y se deja el plato de evaporación.
- La muestra se humedece con agua destilada y se deja reposar por 24 horas.
- Pasado el tiempo establecido, se procede a efectuar el ensaye que determina el límite líquido del material.
- Con la ayuda de una espátula se homogeniza la muestra y se produce la gradual evaporación del exceso de humedad.

- Se toma una pequeña porción de la muestra y se esparce en el dispositivo de la máquina de Casagrande, fijándose que la altura no sobrepase la del acanalador.
- Posteriormente se divide la pasta de suelo pasando cuidadosamente el acanalador, delineando una ranura limpia y clara.
- Luego se comienza a girar la manivela a una velocidad de dos golpes por segundo, hasta que las paredes de la ranura se unen en 1 cm.
- Se registra la cantidad de golpes y se extrae una pequeña cantidad de la zona en donde se produjo la unión, depositándola en unos pequeños recipientes de aluminio, se pesa y se lleva al horno durante 24 horas con el propósito de determinar su humedad.
- Se realizan 5 determinaciones con distintas cantidades de golpes. (entre 15 y 40 golpes)
- Posteriormente se calcula y se registran las humedades de cada prueba para confeccionar un gráfico semilogarítmico en donde el eje de las "y", representa la humedad y el eje de las "x", representa el número de golpes.
- De la intersección entre el golpe número 25 y la mejor línea trazada para unir la mayor cantidad de puntos, se obtiene el porcentaje de humedad que representa el límite líquido.

iii) Procedimiento límite plástico.

- Se toma una porción de pasta de suelo de aproximadamente 1 (cm³), se amasa entre las manos y se hace rodar con la mano o la base del pulgar, por sobre la superficie de amasado, formando un cilindro.
- Cuando alcanza un diámetro aproximado de 3 (mm), se dobla y amasa nuevamente para volver a formar un cilindro.
- Se debe repetir hasta que el cilindro se disgregue al llegar al diámetro de 3 (mm) en trozos de 0,5 a 1 (cm) de largo y no pueda ser re-amasado ni reconstruido.
- El contenido de humedad que tiene el suelo en ese momento representa el límite plástico, el cual se determina colocando las fracciones de suelo en un recipiente, pesándolas y secándolas al horno.

3.5.2. Sobre suelo cemento

a) Proctor modificado.

Este ensayo se realizará según NCh 1534-2 of. 79

i) Equipos y aparatos

- Molde con una capacidad de 0.944 ± 0.008 lt. Con un diámetro interno de 101.6 ± 0.4 mm. Y una altura de 116.4 ± 0.1 mm. Con collar separable.

- Pisón metálico de 4.5 kg.

- Probetas graduadas.

- Balanzas.

- Estufa con temperatura regulable y circulación de aire.

- Tamices.

- Herramientas de mezclado, palas, cucharas, llanas, espátulas, etc.

ii) Procedimiento:

- Secar la muestra de suelo al aire libre o en estufa a una temperatura menor que 60°C hasta que se vuelva desmenuzable.

- Mezclar y homogeneizar el suelo con la cantidad pre establecida de cemento (12%) y separar en cinco fracciones.

- Mezclar completamente cada fracción por separado con agua suficiente para que las humedades alcanzadas por las cinco fracciones varíen aproximadamente dos puntos porcentuales entre si y que se distribuyan alrededor de la humedad óptima.

- Colocar el molde con su collar sobre una base firme, plana y horizontal.

- Llenar el molde con una de las fracciones de la muestra de la siguiente manera:

- Colocar una capa de material a $1/5$ de la altura del molde más collar.

- Compactar la capa con 25 golpes de pisón uniformemente distribuidos en el molde de 100 Mm..

- Repetir 4 veces hasta la última capa, la que debe quedar con un pequeño exceso de material por sobre del borde del molde.

- Retirar el collar y enrasar cuidadosamente con la regla a nivel del borde del molde. Los agujeros superficiales, resultantes de la remoción de partículas gruesas en el enrasado, deben retaparse con material fino.

- Pesar el molde con el suelo compactado.

- Determinar la densidad húmeda del suelo compactado.

-Retirar el material del molde y extraer dos muestras representativas del suelo compactado a las cuales se les determina la humedad de acuerdo con la NCh 1515 y registrar el promedio de ambas determinaciones como humedad del suelo compactado (w).

-Repetir las operaciones anteriores con cada una de las fracciones restantes hasta que haya un decrecimiento en la densidad humedad del suelo, con un mínimo de cinco determinaciones. El ensayo se debe efectuar desde la condición más seca a la condición más húmeda.

3.5.3. Sobre ladrillos de suelo cemento

a) Resistencia a compresión

Este ensayo se realizará según la Nch 167 of 2001.

i) Procedimiento de ensaye:

-Poner la probeta con la cara de llenado verticalmente.

-Medir los anchos de las 4 caras laterales del la muestra

-Determinar la masa de la muestra.

-Limpiar la superficie de contacto de las placas de carga y probeta, colocándola en la máquina de ensayo alineada y centrada.

-Para conseguir planeidad y paralelismo en las caras de aplicación de la carga, estas se deben pulir o refrentar con azufre o en su defecto, con un capa de yeso.

-Acercar la placa superior de la máquina de ensayo y asentarla sobre la probeta de modo de obtener un apoyo lo más uniforme posible.

-Aplicar la carga y sin choque a una velocidad constante cumpliendo con:

1) Alcanzar la rotura en un tiempo igual o superior a los 100 segundos.

2) Velocidad de aplicación de carga no superior a 3,5 kgf/cm²/seg

-Registrar la carga máxima en kg

-Calcular la resistencia a compresión como:

$$R_c: P / S \text{ [kgf/cm}^2\text{]}$$

donde:

P: carga aplicada [Kg]

S: Superficie de carga [cm²]

Calcular la densidad aparente del material:

$$D_a: M / V \text{ [Kg/m}^3\text{]}$$

donde :

M: Masa de la probeta [Kg]

V: Volumen aparente [m³]

b) Absorción de agua

Este ensayo se lleva a cabo según lo estipulado en la norma Nch 167 of 2001.

i) Procedimiento

-Los ladrillos se secan hasta peso constante en horno y se pesan, P1.

-Los ladrillos secos se sumergen en un recipiente con agua potable durante 24 horas.

-Pasado el tiempo, se sacan y se dejan estilar durante 5 minutos aproximadamente y luego se les quita el agua superficialmente visible con un paño húmedo e inmediatamente se pesan, P2.

-La absorción de cada ladrillo se calcula según lo siguiente:

$$A = [(P2 - P1) / P1] * 100$$

donde:

A: Absorción de agua en %

P1: Masa del ladrillo seco en [Kg]

P2: Masa del ladrillo saturado en [Kg]

En el resultado del ensayo se entrega los valores obtenidos para cada una de las probetas y su valor promedio, el que representa la absorción de los ladrillos ensayados.

c) Adherencia a cizalle

Se lleva a cabo según lo estipulado en la norma Nch 167 of 2001.

i) Procedimiento

-El número de probetas está formada por tres ladrillos pegados con un mortero normalizado, sumando un total de 18 ladrillos.

-El mortero de pega está constituido por una mezcla de cemento y arena, en proporción 1:3 en peso, y de razón agua cemento igual a 0.60. El mortero se debe confeccionar con arena tamaño 2,5 mm., y que cumpla con Nch 163.

-Antes de confeccionar las probetas se deben saturar los ladrillos por un mínimo de 30 min.

-Al unirlos se debe hacer en una base plana y nivelada. Se extiende una capa de mortero de 20 Mm. y luego se coloca el ladrillo central, ejerciendo presión uniforme, hasta tener un espesor de junta de 10 mm. Luego de una hora se moja el ladrillo central y se coloca la segunda capa de mortero y el tercer ladrillo.

-Se cubren las probetas con polietileno durante 7 días hasta el momento del ensayo.

-Para las superficies de apoyo de las probetas se aplica un refrentado con pasta de yeso-cemento en proporción 1-1, con un espesor de 10mm y se debe hacer 48 hrs. antes de efectuar el ensayo.

-El ensayo se realiza con una velocidad de carga no mayor a 1Mpa por minuto.

-La tensión de adherencia se calcula como:

$$A = P/S \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

donde:

A = Adherencia (Kgf/cm²).

P = Carga máxima, Kgf.

S = Área bruta total de las superficies de pega.

Como resultado se entrega los valores individuales de cada probeta y el valor promedio de estos, es el que representa la resistencia de las unidades de ladrillos ensayados.

3.6. Dosificación y mezclado de los componentes

Como parte de esta experiencia la obtención del suelo fue realizada de forma manual y al azar en un sector de placilla en la región de Valparaíso. El suelo obtenido fue analizado granulométricamente y el resultado de este será presentado en el siguiente capítulo, pero podemos adelantar que se obtuvo un suelo de tipo arenoso con bajas concentraciones de finos (limos y arcilla). Por tanto, y según lo presentado en el marco teórico se determina la utilización de un 12% de cemento.

La cantidad de agua a utilizar en el mezclado de los componentes estará determinada por el ensayo proctor modificado, realizado con la finalidad de obtener la humedad óptima de compactación para la mezcla. A través de este ensayo se obtuvo que la cantidad de agua es de 7.4%. Cabe aclarar que no siempre la cantidad de agua determinada por el proctor es la necesaria para hacer de la mezcla una mezcla trabajable, por tanto, de ser necesario, se puede hacer un agregado extra de agua a la mezcla guiándose por la técnica de la palma de la mano. Se toma una porción de la mezcla con las manos, se hace una bola y se deja caer desde una altura de 1 metro. Si esta se desarma antes de llagar al suelo, la cantidad de agua es insuficiente y se debe agregar más agua. Si esta llega al suelo y no se desparrama en exceso, la cantidad de agua es adecuada. Si al llegar al suelo esta se desparrama en demasía, tiene un exceso de agua.

El mezclado de los componentes será realizado según el peso y con la utilización de una betonera o mezcladora. Primero se pesa cierta cantidad de arena en estado seco y se agrega a la mezcladora, luego se agrega el cemento que será un 12% del peso de la arena ya agregada. Se mezclan los componentes en seco y seguidamente se agrega el agua que estará entre un 7.4% y un 9% con respecto al peso de la mezcla de suelo y cemento ya agregado.

El agregado de las fibras serán en 3 proporciones: 1000, 1500 y 2000 (grs de fibra)/(m³ de mezcla). Para esto, se determinó la densidad de la mezcla en estado húmedo y el la fibra se agrega según sea el caso de la cantidad de agrado de fibra que corresponda.

Capítulo IV: Presentación y análisis de resultados

En este capítulo se presentaran los resultados obtenidos en los ensayos realizados.

4.1. Sobre suelo natural

4.1.1 Granulometría

Malla	Peso retenido (grs)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa
3/4	0	0,0	0	100
3/8	3.5	0.5	0.5	99
4	36.7	5.2	5.7	94
8	117.1	16.7	22.4	77
16	137.7	19.6	42.0	57
30	101.1	14.4	56.4	43
50	115.4	16.4	72.8	27
100	94.3	13.4	86.2	14
200	48.3	6.9	93.1	7
Residuo	4.2			
Lavado	43.8			

	48.0	6.8	100	0
Total	702.1			

Tabla 1: Granulometría sobre suelo natural.

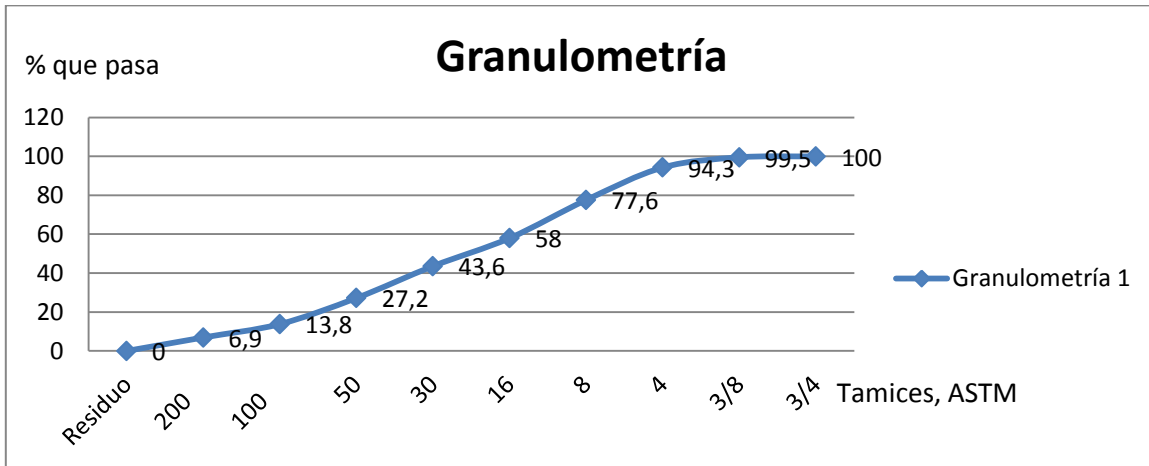


Gráfico 1: Granulometría sobre suelo natural.

4.1.2 límites de consistencia

Límite líquido (LL)	NP
Límite plástico (LP)	NP
Índice de plasticidad (IP)	NP

Tabla 2: Resumen resultados límites de consistencia.

Análisis de resultados

Como se muestra en el gráfico de la granulometría, por la poca cantidad de agregado fino (el que pasa por la malla 200) no fue posible realizar los ensayos de límites de consistencia debido a que la masa no alcanza a tomar la cohesión necesaria, por tanto, se determinan como no plástico (NP).

Según el sistema de clasificación USCS y con los datos obtenidos se determina, mediante el coeficiente de uniformidad (cu) y el coeficiente de curvatura (cc), que la muestra estudiada es SP-SM que corresponde a una arena mal graduada, en donde en la masa del suelo hay variedad en el

tamaño del grano, pero predomina uno de ellos y no posee propiedades de plasticidad, o de tener, son muy bajas.

4.2. Sobre suelo-cemento

4.2.1 Proctor modificado

Capsula	Peso suelo húmedo + molde (g)	Peso suelo húmedo (g)	Densidad húmeda (gr/cm ³)	Densidad seca (gr/cm ³)
35	3759.4	2011.3	2.18	2.09
29	3858.8	2110.7	2.22	2.08
45	3926.8	2178.7	2.29	2.13
41	3936.7	2188.6	2.30	2.11
42	3910.3	2162.2	2.28	2.06

Tabla 3: Proctor modificado sobre muestra de suelo cemento (12% cemento).

Ensaye	1	2	3	4	5
N° capsula	35	29	45	41	42
Peso capsula + suelo húmedo	230.8	223.7	252.9	247.8	249.8
Peso capsula+ suelo seco	222.9	211.8	237.0	228.2	228.2
Peso capsula	21.8	22.1	22.9	22.1	23.1
Peso agua	7.9	11.9	15.9	18.6	21.6
Peso suelo seco	201.1	189.7	214.1	210.3	206.6
% humedad	3.9	6.3	7.4	8.8	10.5

Tabla 4: Proctor modificados sobre muestra de suelo cemento (12% cemento).

Humedad %	DMCS
3.9	2.08
6.3	2.09
7.4	2.13
8.8	2.11
10.5	2.06

Tabla 5: Resumen proctor modificado.

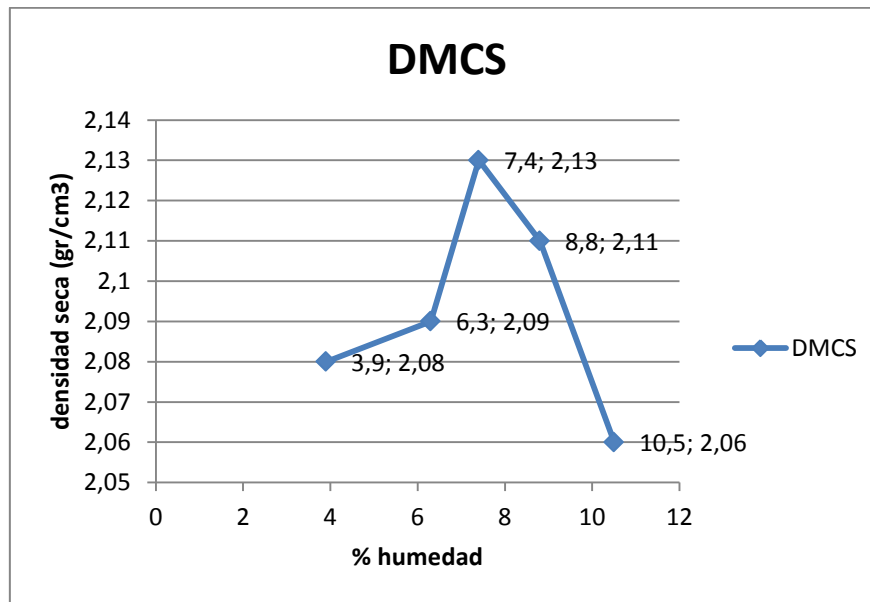


Gráfico 2: Proctor modificado, Densidad seca v/s humedad.

Análisis de resultados:

Como se observa en el gráfico para el tipo de suelo obtenido y con un agregado de 12% de cemento, la humedad óptima es de 7.4%, obteniendo una densidad máxima de compactada seca de 2.13 gr/cm³.

4.3 Ensayos sobre ladrillos de suelo-cemento

4.3.1 Ensayo de resistencia a compresión a los 7 días.

Ensayo realizado según NCh 167 y resultados comparados con NCh. 2123.

a) mezcla sin agregado de fibra y 12% cemento.

Nº Probeta	P (Kgf)	M (Kg)	V (cm3)	Da (Kg/m3)	S (cm2)	Rc (Kgf/cm2)
Probeta 1	14000	5.162	2880	1792	400	35.0
Probeta 2	12000	5.134	2960	1734	400	30.0
Probeta 3	13000	5.159	2960	1742	400	32.5
Probeta 4	15000	5.170	2920	1770	400	37.5
Probeta 5	13000	5.152	3000	1717	400	32.5
Probeta 6	14000	5.116	2880	1776	400	35.0
Promedio	13500	5.149	2933	1755	400	33.75

Tabla 6: Resultados ensayo a compresión a los 7 días, mezcla sin fibra, 12% cemento.

b) mezcla con agregado de fibra 1000 (gr/m3) y 12% cemento.

Nº Probeta	P (Kgf)	M (Kg)	V (cm3)	Da (Kg/m3)	S (cm2)	Rc (Kgf/cm2)
Probeta 1	16000	5.155	2800	1841	400	40.4
Probeta 2	19000	5.120	2880	1777	400	47.5
Probeta 3	19000	5.131	2840	1806	400	47.5
Probeta 4	20000	5.070	2800	1810	400	50.0
Probeta 5	17000	5.149	2800	1838	400	42.5
Probeta 6	24000	5.092	2840	1792	400	60.0
Promedio	19166	5.119	2826	1810	400	47.9

Tabla 7: Resultados ensayo a compresión a los 7 días, fibra 1000 (grs/m3), 12% cemento.

c) mezcla con agregado de fibra 1500 (gr/m3) y 12% cemento.

Nº Probeta	P (Kgf)	M (Kg)	V (cm3)	Da (Kg/m3)	S (cm2)	Rc (Kgf/cm2)
Probeta 1	34000	5.080	2800	1814	400	85.0
Probeta 2	34000	5.087	2880	1766	400	85.0
Probeta 3	31000	5.112	2840	1800	400	77.5
Probeta 4	32000	5.088	2800	1817	400	80.0
Probeta 5	35000	5.113	2800	1826	400	87.5
Probeta 6	35000	5.139	2840	1809	400	87.5
Promedio	33500	5.103	2826	1805	400	83.8

Tabla 8: Resultados ensayo a compresión a los 7 días, fibra 1500 (grs/m3), 12% cemento

d) mezcla con agregado de fibra 2000 (gr/m³) y 12% cemento.

Nº Probeta	P (Kgf)	M (Kg)	V (cm ³)	Da (Kg/m ³)	S (cm ²)	Rc (Kgf/cm ²)
Probeta 1	26000	5.127	2840	1805	400	65.0
Probeta 2	25000	5.106	2920	1748	400	62.5
Probeta 3	23000	5.127	2880	1780	400	57.5
Probeta 4	21000	5.130	2880	1781	400	52.5
Probeta 5	22000	5.097	2960	1721	400	55.0
Probeta 6	26000	5.112	2880	1775	400	65.0
Promedio	23833	5.117	2893	1768	400	59.6

Tabla 9: Resultados ensayo a compresión a los 7 días, fibra 2000 (grs/m³), 12% cemento

Donde:

P: Carga aplicada (Kgf)

M: Masa de la probeta (Kg)

V: Volumen de la probeta (cm³)

Da: Densidad aparente (Kg/m³)

S: Superficie de carga (cm²)

Rc: Resistencia de compresión (Kgf/cm²)

Resumen de resultados promedios ensayo de compresión a los 7 días.

Fibra (gr/m ³)	Da (Kg/cm ³)	Rc (Kgf/cm ²)	Rc relativo (%)
0	1755	33.75	100
1000	1810	47.9	142
1500	1805	83.8	248
2000	1768	59.6	177

Tabla 10: Resumen de resultados promedios ensayo de compresión a los 7 días

4.3.2 Ensayo de resistencia a compresión a los 28 días.

Ensayo realizado según NCh 167 y resultados comparados con NCh. 2123.

a) mezcla sin agregado de fibra y 12% cemento.

Nº Probeta	P (Kgf)	M (Kg)	V (m3)	Da (Kg/cm3)	S (cm2)	Rc (Kgf/cm2)
Probeta 1	18000	5.112	2960	1727	400	45.0
Probeta 2	21000	5.180	2880	1798	400	52.5
Probeta 3	20000	5.130	2920	1756	400	50.0
Probeta 4	19000	5.150	2920	1763	400	47.5
Probeta 5	20000	5.169	2960	1746	400	50.0
Probeta 6	20000	5.193	2933	1770	400	50.0
Promedio	19666	5.156	2928	1760	400	49.17

Tabla 11: Resultados ensayo a compresión a los 28 días, mezcla sin fibra, 12% cemento.

b) mezcla con agregado de fibra 1000 (gr/m3) y 12% cemento.

Nº Probeta	P (Kgf)	M (Kg)	V (cm3)	Da (Kg/m3)	S (cm2)	Rc (Kgf/cm2)
Probeta 1	33000	5.191	2880	1802	400	82.5
Probeta 2	30000	5.109	2933	1741	400	75.0
Probeta 3	35000	5.173	2840	1821	400	87.5
Probeta 4	31000	5.182	2933	1766	400	77.5
Probeta 5	31000	5.169	2880	1794	400	77.5
Probeta 6	32000	5.103	2880	1771	400	80.0
Promedio	32000	5.155	2891	1782	400	80.0

Tabla 12: Resultados ensayo a compresión a los 28 días, fibra 1000 (grs/m3), 12% cemento.

c) mezcla con agregado de fibra 1500 (gr/m³) y 12% cemento.

Nº Probeta	P (Kgf)	M (Kg)	V (cm ³)	Da (Kg/m ³)	S (cm ²)	Rc (Kgf/cm ²)
Probeta 1	46000	5.131	2840	1806	400	115.0
Probeta 2	44000	5.117	2880	1776	400	110.0
Probeta 3	42000	5.192	2960	1754	400	105.0
Probeta 4	43000	5.098	2840	1795	400	107.5
Probeta 5	43000	5.125	2920	1755	400	107.5
Probeta 6	46000	5.155	2880	1789	400	115.0
Promedio	44000	5.136	2887	1779	400	110.0

Tabla 13: Resultados ensayo a compresión a los 28 días, fibra 1500 (grs/m³), 12% cemento.

d) mezcla con agregado de fibra 2000 (gr/m³) y 12% cemento.

Nº Probeta	P (Kgf)	M (Kg)	V (cm ³)	Da (Kg/m ³)	S (cm ²)	Rc (Kgf/cm ²)
Probeta 1	37000	5.139	2840	1809	400	92.5
Probeta 2	33000	5.089	2800	1817	400	82.5
Probeta 3	34000	5.127	2880	1780	400	85.0
Probeta 4	36000	5.132	2840	1807	400	90.0
Probeta 5	33000	5.102	2960	1723	400	82.5
Probeta 6	34000	5.109	2880	1773	400	85.0
Promedio	34500	5.116	2866	1784	400	86.3

Tabla 14: Resultados ensayo a compresión a los 28 días, fibra 2000 (grs/m³), 12% cemento

Donde:

P: Carga aplicada (Kgf)

M: Masa de la probeta (Kg)

V: Volumen de la probeta (cm³)

Da: Densidad aparente (Kg/m³)

S: Superficie de carga (cm²)

Rc: Resistencia de compresión (Kgf/cm²)

Resumen de resultados promedios ensayo de compresión a los 28 días.

Fibra (gr/m3)	P (Kgf)	M (Kg)	V (cm3)	Da (Kg/cm3)	S (cm2)	Rc (Kgf/cm2)	Rc relativo (%)
0	19666	5.156	2928	1760	400	49.17	100
1000	32000	5.155	2891	1783	400	80.0	163
1500	44000	5.136	2887	1779	400	110.0	224
2000	34500	5.116	2866	1785	400	86.3	176

Tabla 15: Resumen de resultados promedios ensayo de compresión a los 28 días.

4.3.3. Análisis de resultados ensayo de compresión

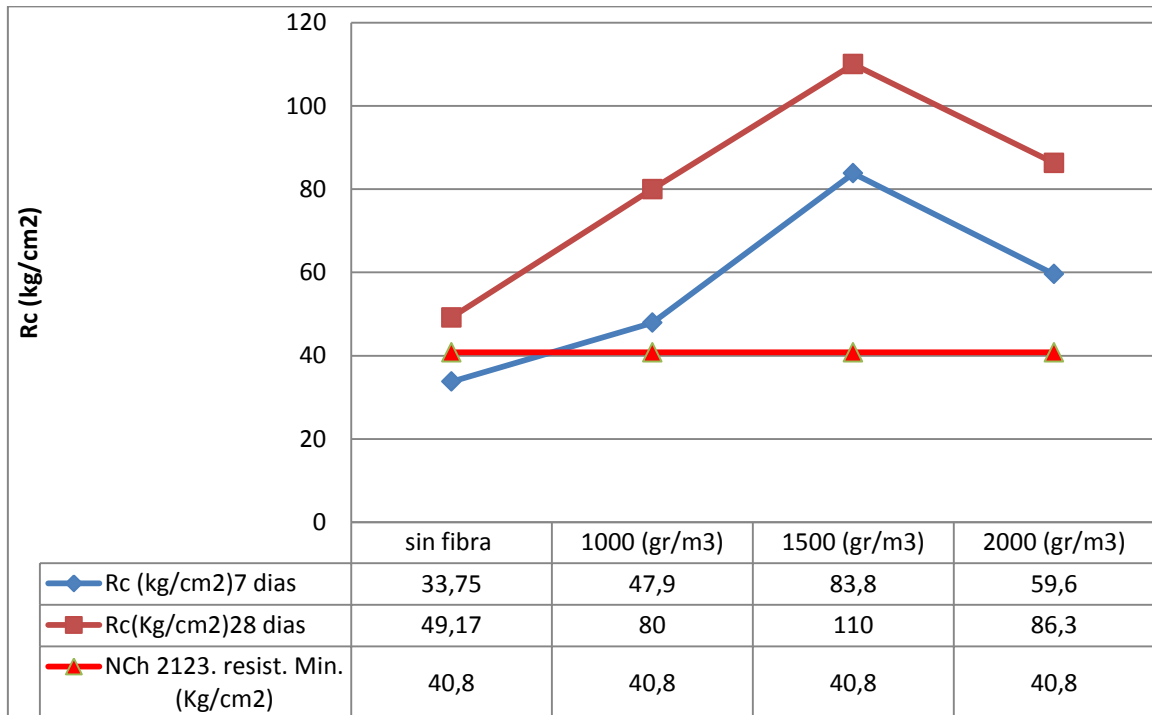


Gráfico 3: Análisis de resultados ensayo de compresión. Rc (kg/cm2) vs fibra (gr/m3)

De acuerdo con los datos obtenidos de los ensayos de compresión a los 7 días y comparados con la NCh 2123, se determina que todas las probetas con agregado de fibras, en sus diferentes concentraciones, cumplen con la resistencia exigida. Por el contrario, las probetas fabricadas sin el agregado no alcanzan aún la resistencia mínima de 4.0 Mpa. Que por norma se establece. Por el

contrario los resultados obtenidos tras los 28 días de curado, se observa que todas las probetas sobrepasan la resistencia mínima requerida, tanto para las fabricadas con agregado de fibra, como para la fabricada sin ella.

Para las dos edades en evaluación, se obtiene que en los resultados promedios, la mayor resistencia es alcanzada por la mezcla con el agregado de fibra de 1500 gr/m³.

4.3.4. Ensayo absorción de agua a los 7 días.

Ensayo realizado según NCh 167 y sus resultados comparados con NCh 2123.

a) mezcla sin agregado de fibra y 12% cemento.

Nº Probeta	M. seca (Kg)	M. húmeda (Kg)	Absorción de agua (%)
Probeta 1	5064.0	5784.8	14.2
Probeta 2	5051.2	5739.4	13.6
Probeta 3	4992.8	5669.6	13.6
Probeta 4	5020.4	5673.7	13.0
Probeta 5	5066.2	5696.7	12.4
Probeta 6	5063.3	5743.1	13.4
Promedio	5042.9	5717.9	13.5

Tabla 16: Resultados ensayo absorción de agua a los 7 días, mezcla sin fibra, 12% cemento.

b) mezcla con agregado de fibra 1000 (gr/m³) y 12% cemento.

Nº Probeta	M. seca (Kg)	M. húmeda (Kg)	Absorción de agua (%)
Probeta 1	5115.9	5707.1	11.5
Probeta 2	5092.4	5781.2	13.5
Probeta 3	5127.1	5725.2	11.6
Probeta 4	5131.8	5740.7	11.8
Probeta 5	5120.3	5702.5	11.3
Probeta 6	5155.2	5725.9	11.0
Promedio	5123.8	5730.0	11.8

Tabla 17: Resultados ensayo absorción de agua a los 7 días, fibra 1000 (gr/m³), 12% cemento.

c) mezcla con agregado de fibra 1500 (gr/m³) y 12% cemento.

Nº Probeta	M. seca (Kg)	M. húmeda (Kg)	Absorción de agua (%)
Probeta 1	5039.8	5669.2	12.5
Probeta 2	5021.7	5658.8	12.7
Probeta 3	5083.2	5664.1	11.4
Probeta 4	5063.6	5745.1	13.5
Probeta 5	5087.9	5688.1	11.8
Probeta 6	5057.9	5695.1	12.6
Promedio	5059.0	5686.7	12.4

Tabla 18: Resultados ensayo absorción de agua a los 7 días, fibra 1500 (gr/m³), 12% cemento.

d) mezcla con agregado de fibra 2000 (gr/m³) y 12% cemento.

Nº Probeta	M. seca (Kg)	M. húmeda (Kg)	Absorción de agua (%)
Probeta 1	5057.0	5735.9	13.4
Probeta 2	5054.1	5741.5	13.6
Probeta 3	5022.8	5711.5	13.7
Probeta 4	5044.3	5738.3	13.8
Probeta 5	5061.9	5762.5	13.8
Probeta 6	5087.8	5774.6	13.5
Promedio	5054.7	5744.1	13.6

Tabla 19: Resultados ensayo absorción de agua a los 7 días, fibra 2000 (gr/m³), 12% cemento.

Resumen de resultados promedios ensayo de absorción a los 7 días.

Fibra (gr/m ³)	Absorción de agua (%)	Absorción relativa (%)
0	13.5	100
1000	11.8	87
1500	12.4	92
2000	13.6	101

Tabla 20: Resumen de resultados promedios ensayo de absorción a los 7 días.

4.3.5. Ensayo absorción de agua a los 28 días.

Ensayo realizado según NCh 167 y resultados comparados según NCh 2123.

a) mezcla sin agregado de fibra y 12% cemento.

Nº Probeta	M. seca (Kg)	M. húmeda (Kg)	Absorción de agua (%)
Probeta 1	5094.9	5774.6	13.3
Probeta 2	5120.8	5733.3	11.9
Probeta 3	5055.9	5646.9	11.6
Probeta 4	5102.0	5730.8	12.3
Probeta 5	5056.3	5676.1	12.3
Probeta 6	5062.1	5701.3	12.6
Promedio	5082.0	5710.5	12.3

Tabla 21: Resultados ensayo absorción de agua a los 28 días, mezcla sin fibra, 12% cemento.

b) mezcla con agregado de fibra 1000 (gr/m³) y 12% cemento.

Nº Probeta	M. seca (Kg)	M. húmeda (Kg)	Absorción de agua (%)
Probeta 1	5137.3	5752.5	11.9
Probeta 2	5174.8	5727.4	12.9
Probeta 3	5060.7	5699.8	12.9
Probeta 4	5060.8	5703.5	12.7
Probeta 5	5061.4	5707.8	12.8
Probeta 6	5091.8	5689.7	11.7
Promedio	5081.1	5713.5	12.5

Tabla 22: Resultados ensayo absorción de agua a los 28 días, fibra 1000 (gr/m³), 12% cemento.

c) mezcla con agregado de fibra 1500 (gr/m³) y 12% cemento.

Nº Probeta	M. seca (Kg)	M. húmeda (Kg)	Absorción de agua (%)
Probeta 1	5120.3	5783.3	12.9
Probeta 2	5134.7	5755.1	12.1
Probeta 3	5138.4	5769.0	12.3
Probeta 4	5106.1	5833.8	14.3
Probeta 5	5146.3	5780.3	12.3
Probeta 6	5138.7	5776.3	12.4
Promedio	5130.8	5782.9	12.7

Tabla 23: Resultados ensayo absorción de agua a los 28 días, fibra 1500 (gr/m³), 12% cemento.

d) mezcla con agregado de fibra 2000 (gr/m³) y 12% cemento.

Nº Probeta	M. seca (Kg)	M. húmeda (Kg)	Absorción de agua (%)
Probeta 1	5125.0	5700.1	11.2
Probeta 2	5106.1	5753.0	12.7
Probeta 3	5108.8	5733.8	12.2
Probeta 4	5109.5	5698.5	11.5
Probeta 5	5087.2	5727.9	12.5
Probeta 6	5126.2	5735.6	11.8
Promedio	5110.4	5751.5	12.0

Tabla 24: Resultados ensayo absorción de agua a los 28 días, fibra 2000 (gr/m³), 12% cemento.

Resumen de resultados promedios ensayo de absorción a los 28 días.

Fibra (gr/m ³)	Absorción de agua (%)	Absorción relativa (%)
0	12.3	100
1000	12.5	102
1500	12.7	103
2000	12.0	98

Tabla 25: Resumen de resultados promedios ensayo de absorción de agua a los 28 días.

4.3.6. Análisis de resultados ensayo absorción de agua

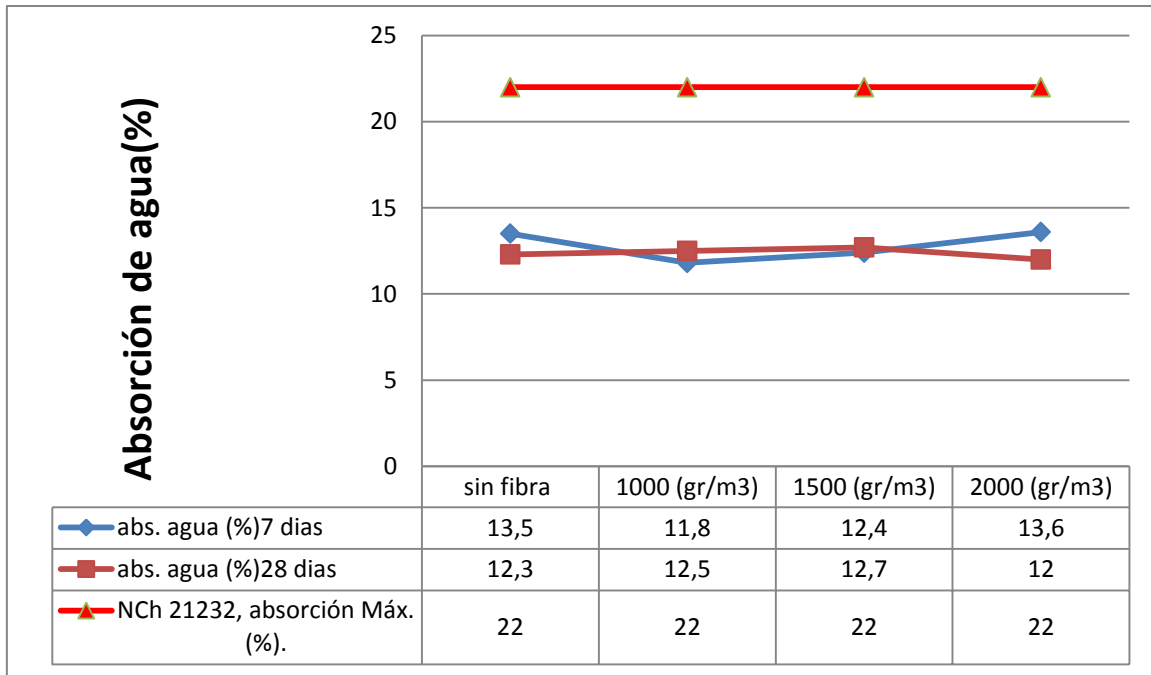


Gráfico 4: Análisis de resultados ensayo de absorción de agua. Absorción de agua (%) vs fibra (gr/m3).

Con los datos promedios obtenidos en el ensayo de absorción de agua, se observa que las probetas ensayadas en ambas edades cumplen con lo requerido en la NCh 2123, en donde se establece como máximo una absorción de un 22% con respecto al peso del ladrillo en estado seco.

4.3.7. Ensayo adherencia a cizalle a los 28 días.

Ensayo realizado según NCh 167 of. 2001 y resultados comparados con NCh 2123 of.2003

a) mezcla sin agregado de fibra y 12% cemento.

Nº Probeta	P (Kgf)	S (cm2)	Adherencia (Kgf/cm2)
Probeta 1	1200	400	3.0
Probeta 2	950	400	2.4
Probeta 3	800	400	2.0
Probeta 4	800	400	2.0
Probeta 5	1100	400	2.8
Probeta 6	800	400	2.0
Promedio	942	400	2.4

Tabla 26: Resultados ensayo adherencia a cizalle a los 28 días, mezcla sin fibra, 12% cemento.

b) mezcla con agregado de fibra 1000 (gr/m3) y 12% cemento.

Nº Probeta	P (Kgf)	S (cm2)	Adherencia (Kgf/cm2)
Probeta 1	700	400	1.8
Probeta 2	750	400	1.9
Probeta 3	750	400	1.9
Probeta 4	750	400	1.9
Probeta 5	850	400	2.1
Probeta 6	700	400	1.8
Promedio	750	400	1.9

Tabla 27: Resultados ensayo adherencia a cizalle a los 28 días, fibra 1000 (gr/m3), 12% cemento.

c) mezcla con agregado de fibra 1500 (gr/m³) y 12% cemento.

Nº Probeta	P (Kgf)	S (cm ²)	Adherencia (Kgf/cm ²)
Probeta 1	1350	400	3.4
Probeta 2	1100	400	2.8
Probeta 3	1050	400	2.6
Probeta 4	950	400	2.4
Probeta 5	1450	400	3.6
Probeta 6	1200	400	3.0
Promedio	1183	400	3.0

Tabla 28: Resultados ensayo adherencia a cizalle a los 28 días, fibra 1500 (grs/m³), 12% cemento.

d) mezcla con agregado de fibra 2000 (gr/m³) y 12% cemento.

Nº Probeta	P (Kgf)	S (cm ²)	Adherencia (Kgf/cm ²)
Probeta 1	900	400	2.3
Probeta 2	1400	400	3.5
Probeta 3	1200	400	3.0
Probeta 4	900	400	2.3
Probeta 5	1400	400	3.5
Probeta 6	1300	400	3.3
Promedio	1183	400	3.0

Tabla 29: Resultados ensayo adherencia a cizalle a los 28 días, fibra 2000 (grs/m³), 12% cemento.

Resumen de resultados promedios ensayo de adherencia a cizalle a los 28 días.

Fibra (gr/m ³)	Adherencia (Kgf/cm ²)	Adherencia relativa (%)
0	2.4	100
1000	1.9	79
1500	3.0	125
2000	3.0	125

Tabla 30: Resumen de resultados promedios ensayo de adherencia a cizalle a los 28 días.

4.3.8. Análisis de resultados adherencia a cizalle

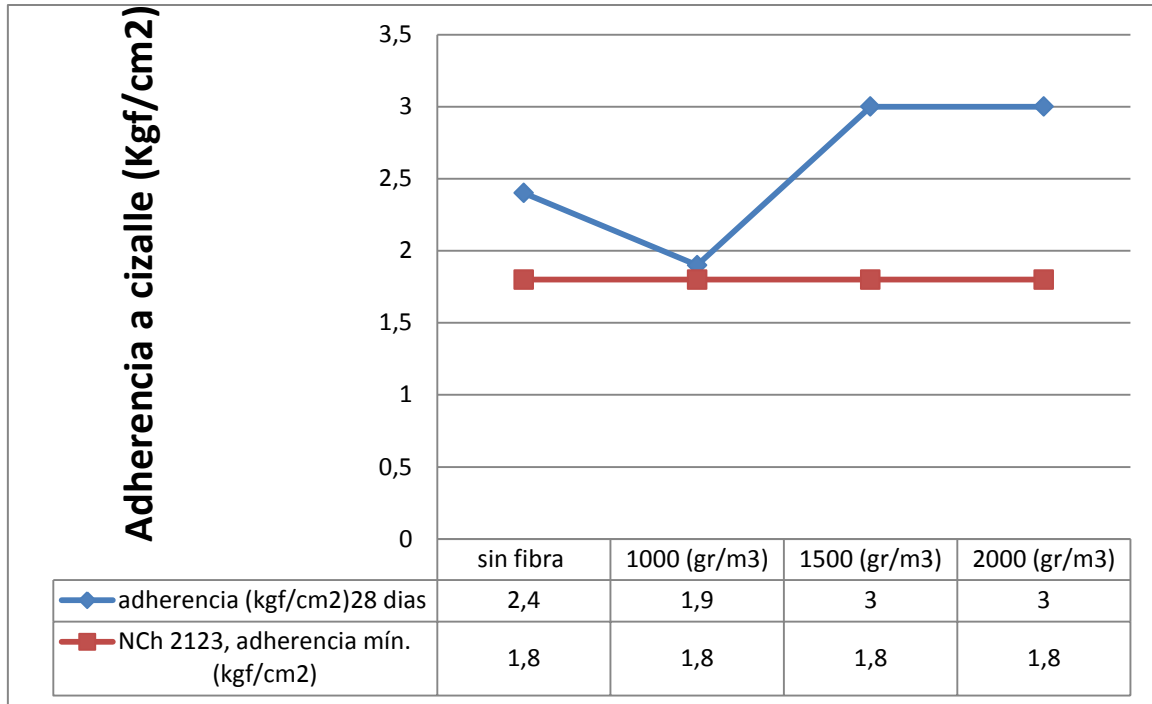


Gráfico 5: Análisis de resultados ensayo de adherencia a cizalle. Adherencia a cizalle (Kgf/cm2) vs fibra (gr/m3).

Con los datos obtenidos en el laboratorio y como se muestra gráficamente, los resultados promedios de adherencia de todas las mezclas superan las resistencias mínimas establecida en NCh 2123.

La menor resistencia es obtenida por la mezcla con agregado de 1000 (gr/m3) de fibra, estando casi en el límite. Los resultados más altos fueron obtenidos por las mezclas de 1500 y 2000 (gr/m3) de agregado de fibra, alcanzando casi el doble de la resistencia que por norma se establece.

Al analizar las probetas, una vez efectuado el ensayo, se logra percibir dos patrones en el fallo:

Las probetas sin agregado de fibra y las con concentración de 1000 gr/m3, presentan la similitud de que en ambas el fallo en la adherencia ocurre entre la cara de contacto más lisa del ladrillo (opuesta a la cara de llenado) y el mortero. Esto debido a que las partículas del mortero no logran penetrar en el ladrillo, obteniendo una baja adherencia entre los materiales.

Para los ladrillos compuestos con los mayores porcentajes de fibra (1500 y 2000 gr/m3) se aprecian dos formas de fallos: el primer caso, igual que el anterior y en el segundo, la rotura se produjo en el ladrillo. En este segundo caso, la falla se presume debido a que la cantidad de fibras que sobresalen de los ladrillos es mayor, estas, al entrar en contacto con el mortero se “enganchan”, brindando una mayor adherencia, por tanto, mayor resistencia.

4.4 Análisis de costos

En este análisis se realizara una comparación económica de ladrillos cerámicos artesanales (fiscal) y los ladrillos de suelo cemento fabricados para la realización de este estudio.

En el caso del ladrillo fiscal, se considerará su valor comercia mas el costo de transporte.

Para el caso de los ladrillos de suelo cemento, se considerarán los costos de sus materiales, maquinaria y mano de obra.

Para el análisis se fija la compra o fabricación diaria de 300 ladrillos.

a) Ladrillos cerámicos:

Ladrillo	precio unitario (\$)	Trasporte (\$)*	Total (\$)
Cerámico (29x14x5)	134	25	159

*se considera un valor de \$7500 por el trasporte de 300 ladrillos por día.

b) Ladrillos de suelo cemento:

Para determinar el valor unitario de los ladrillos de suelo cemento se considerará un ladrillo de las mismas dimensiones que el ladrillo cerámico (29x14x5 cm) y como materiales: el cemento, el agua y la fibra. El árido no será considerado dentro de los costos al ser un material obtenido del lugar de construcción. Para la fibra, solo se evaluará la que tuvo el mejor resultado en los ensayos realizados (1500 gr/m3).

Como maquinaria se considerará solo la compactadora, la que puede ser arrendada en el comercio.

Para la mano de obra se analizarán tres casos, todos considerando dos trabajadores, pero variando en su remuneración.

Costos:

Material	unidad	Precio \$
Cemento polpaico (42.5 kg)	saco	4.990
Agua	m3	650
Fibra	kg	9.000
M.O.	HD	10.000
Compactadora	MD	5.000

Costo unitario:

-caso 1: mano de obra no remunerada:

Material	unidad	Rend.	Precio unitario	Cantidad	Total \$/uni.
Cemento	Saco	0.00894	4.990	1	45
Agua	m3	0.00153	650	1	1
Fibra	Kg	0.0043	9.000	1	39
M.O. (1)	HD	0.0033	0	1	0
M.O. (2)	HD	0.0033	0	1	0
Compactadora	MD	0.0033	5.000	1	17
Total					\$102

-caso 2: mano de obra remunerada y no remunerada:

Material	unidad	Rend.	Precio unitario	Cantidad	Total \$/uni.
Cemento	Saco	0.00894	4.990	1	45
Agua	m3	0.00153	650	1	1
Fibra	Kg	0.0043	9.000	1	39
M.O. (1)	HD	0.0033	10.000	1	33
M.O. (2)	HD	0.0033	0	1	0
Compactadora	MD	0.0033	5.000	1	17
Total					\$135

-caso 3: mano de obra remunerada:

Material	unidad	Rend.	Precio unitario	Cantidad	Total \$/uni.
Cemento	Saco	0.00894	4.990	1	45
Agua	m3	0.00153	650	1	1
Fibra	Kg	0.0043	9.000	1	39
M.O. (1)	HD	0.0033	10.000	1	33
M.O. (2)	HD	0.0033	10.000	1	33
Compactadora	MD	0.0033	5.000	1	17
Total					\$168

c) Resumen y análisis de costo unitario de ladrillos:

Ladrillos (uni.)	Costo (\$)
Cerámico fiscal	159
Suelo cemento - s/M.O.	102
Suelo cemento - M.O.x1	135
Suelo cemento – M.O.x2	168

Como muestra la tabla, la fabricación de ladrillos de suelo cemento es mas económica que la opción de compra de ladrillos de arcilla en dos de los tres escenarios planteados. Podrían haber variaciones que permitan una mayor optimización de los recursos y así abaratar aun más los costos mostrados, por ejemplo: aumentar el rendimiento de la mano de obra, abaratar el costo de la mano de obra, trabajar con un porcentaje menor de cemento, evaluar la compra de la maquina y posterior venta.

Capítulo V: Conclusiones

Mediante esta investigación se logró demostrar, a través de ensayos, que las propiedades mecánicas de ladrillos de suelo cemento aumentan ante la incorporación de fibras híbridas.

De los resultados obtenidos de los ensayos de compresión se determina que todas las mezclas con sus diferentes porcentajes de agregados de fibras, sobrepasan la resistencia mínima establecida para ladrillos artesanales, tanto para los ensayados a los 7 días como los ensayados a los 28 días de curado. Por el contrario, de las probetas ensayadas sin el agregado de fibra, solo cumplieron con la resistencia necesaria las ensayadas a los 28 días de curado.

El mejor resultado logrado para este ensayo fue obtenido por las probetas con agregado de fibras de 1500 gr/m³. A los 7 días su resistencia llegó al doble de la mínima establecida en NCh 2123 y casi a triplicarla en el ensayo a los 28 días curado.

En el ensayo de absorción de agua se demostró que todas las probetas cumplieron con los requerimientos mínimos establecidos para las dos edades en evaluación y tanto para los ladrillos con agregados de fibra, como para los que no la tenían. La variación de los porcentajes de absorción de agua entre las diferentes probetas no es mayor a 1,6 puntos porcentuales. Por tanto, se demuestra que para el ensayo de absorción de agua, la incorporación de fibras no tiene implicancia en sus resultados, siendo otros factores como: la compactación, árido fino, porcentaje de cemento, los que determinan sus resultados.

En adherencia a cizalle, independientemente de la forma y el lugar en donde ocurriera el fallo, las probetas con mayor agregado de fibras fueron las que mostraron la mas alta resistencia. Se deduce que esto ocurre debido a que al haber una mayor cantidad de fibras sobresalientes de los ladrillos, estas entran en contacto con el mortero provocando un “enganche” mayor, aumentado así su adherencia.

Por consiguiente, y tras el análisis de todos los datos obtenidos a través de los ensayos realizados, se determina que es factible la fabricación, en forma artesanal, de ladrillos de suelo cemento con agregados de fibra híbrida. Obteniendo un máximo de resistencia en el material compuesto por un suelo arenoso con un agregado de cemento con respecto su peso del 12% y una concentración de fibras “ruedil xfiber54” de 1500 grs/m³.

Bibliografía

- Godoy, M. (2010). Análisis comparativo entre ladrillos artesanales cerámicos y ladrillos de suelo cemento. Memoria para optar al título de Ingeniero Constructor. Universidad de Valparaíso.
- Canales, R. (2010). Incorporación de micro fibra de polipropileno en mezclas de suelo cemento. Memoria para optar al título de Ingeniero Constructor. Universidad de Valparaíso.
- Rufino, J. Machado, I. Dias, Y. (2013). Determinación de mezclas de suelo estabilizado a partir de recursos de biomasa locales para mejorar la calidad de las viviendas construidas por la población del territorio de Uige, Angola. Revista Ingeniería de Construcción Vol. 28
- Yepes, V. (2012). Environmental Assessment of Concrete Structures. International Journal of Construction Engineering and Management.
- Enteiche, A. (1963). Suelo cemento: su aplicación en la edificación. Centro iberoamericano de vivienda y planeamiento.
- Pumpelly, R. (1908). Explorations in Turkestan. The Carnegie institution of Washington
- Barros, L. Imhoff, F. (2010). Resistencia sísmica del suelo-cemento post tensado en construcciones de baja complejidad geométrica. Revista de la construcción.
- Gatani, M. (2000). Ladrillos de suelo-cemento: Mampuesto tradicional en base a un material sostenible.
- NCh 148 Of. 68: Cemento
- Nch 163 Of. 79: Áridos para morteros y hormigones – Requisitos generales.
- NCh 165 Of. 77: Áridos para morteros y hormigones. – Tamizado y Clasificación de la granulometría.
- NCh 167 Of. 2001: Ensayos de Ladrillos Cerámico

- NCh 169 Of. 2001: Ladrillos cerámicos – Clasificación y requisitos.
- NCh 1498 Of. 82: Agua de amasado en elaboración de hormigones.
- NCh 1517 Of. 77: Mecánica de suelos – Límites de consistencia.
- NCh 1534 Of.79: Mecánica de suelos – Relaciones humedad/densidad.
- NCh 2123 Of. 97: albañilería confinada – requisitos de diseño y calculo.
- M.O.P. (2003). Manual de carreteras, volumen n°5. Chile.
- Ruredil x fiber 54 (2007). <<http://www.ruredil.cl/PDF/RuredilXFiber54.pdf>>