



Facultad de Ingeniería

Escuela de Construcción Civil

# **FACTIBILIDAD TÉCNICA DE INCORPORACIÓN DE AGREGADO LIVIANO A PLACAS DE SUELO CEMENTO CON MICROFIBRA DE POLIPROPILENO.**

Por

Rodrigo Enrique Cortés Vargas

Tesis para optar al Grado de Licenciado en Ciencias de la Construcción y al Título de  
Ingeniero Constructor.

**Profesor Guía: Sr. Claudio Carrasco Aldunate**

**Profesor (a) Co-referente: Sra. Patricia Martínez Ramírez**

Enero, 2016

## ÍNDICE GENERAL

GLOSARIO.....	5
<i>ÍNDICE FIGURAS</i> .....	6
<i>ÍNDICE TABLAS</i> .....	8
<i>ÍNDICE ECUACIONES</i> .....	8
<i>RESUMEN</i> .....	9
<b>CAPÍTULO I: ANTECEDENTES GENERALES</b> .....	10
<b>1.1. Introducción</b> .....	10
<b>1.2. Hipótesis</b> .....	12
<b>1.3. Objetivos de la Investigación</b> .....	12
1.3.1. Objetivo General.....	12
1.3.2. Objetivo Específico .....	12
<b>1.4. Alcances y Limitaciones</b> .....	12
<b>1.5. Metodología de Trabajo</b> .....	13
<b>1.6. Estructuración de la Tesis</b> .....	14
<b>CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....	15
<b>2.1. El Suelo</b> .....	15
<b>2.2. Suelos Estabilizados</b> .....	18
<b>2.3. Suelo Estabilizado con Cemento</b> .....	21
<b>2.4. Agua</b> .....	22
2.4.1. Humedad .....	23
<b>2.5. Agregados Livianos</b> .....	23
2.5.1. Perlita Expandida.....	25
2.5.2. Perlita Expandida EPS.....	27
2.5.3. Piedras Pómez o Pumita.....	29
<b>2.6. Placas como Revestimientos</b> .....	30
<b>2.7. Material Compuesto</b> .....	30
2.7.1. Material Compuesto Laminares o Sándwich .....	31
2.7.2. El Papel .....	32
2.7.3. Material Compuesto con fibra .....	33
2.7.4. Micro fibra de Polipropileno .....	34

<b>2.8. Promotor de Adherencia.....</b>	<b>35</b>
<b>CAPÍTULO III: PROGRAMA DEL DESARROLLO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>36</b>
<b>3.1. Etapas previas a la confección de las placas.....</b>	<b>36</b>
3.1.1. Granulometría de los agregados livianos .....	36
3.1.2. Ensayos al Suelo.....	36
<b>3.2. Variables.....</b>	<b>37</b>
3.2.1. Variables Independientes .....	37
3.2.2. Variables Dependientes.....	37
<b>3.3. Confección de las placas .....</b>	<b>37</b>
<b>3.4. Proceso de Fraguado y Curado .....</b>	<b>38</b>
<b>3.5. Probetas y Ensayos .....</b>	<b>39</b>
3.5.1. Ensayo a la Flexión.....	39
3.5.2. Resistencia al impacto.....	40
3.5.3. Resistencia a la humedad .....	41
3.5.4. Ensayo de Cohesión del Núcleo a Altas Temperaturas.....	42
3.5.5. Ensayo de Transmisión Temperatura en las Caras .....	42
3.5.6. Ensayo de Acústico .....	43
<b>3.6. Diseño de la placa.....</b>	<b>43</b>
3.6.1 Dimensión de la placa .....	43
3.6.2. Materiales para confección de la placa.....	45
<b>3.7. Análisis y Conclusiones.....</b>	<b>45</b>
<b>CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>46</b>
<b>4.1. Desarrollos de ensayos.....</b>	<b>46</b>
<b>4.2. Ensayos a Suelos.....</b>	<b>46</b>
<b>4.3. Determinación de Humedad.....</b>	<b>50</b>
<b>4.4. Confección de las Probetas .....</b>	<b>50</b>
<b>4.5 Promotor de Adherencia, Pruebas .....</b>	<b>54</b>
4.5.1. Pruebas de adherencia con Cola Granulada.....	54
4.5.2. Prueba de adherencia con MurazelN.....	55
4.5.3. Prueba de adherencia con Cola fría diluida en agua .....	55
4.5.4. Prueba de adherencia con Cola fría .....	56

<b>4.6. Costo variable por m<sup>2</sup></b> .....	<b>57</b>
<b>4.7. Resultados Ensayos Mecánicos</b> .....	<b>59</b>
4.7.1. Ensayo de Resistencia a la Flexión.....	59
4.7.2. Ensayo de Resistencia al impacto.....	66
<b>4.8. Resultados Ensayos de Clasificación</b> .....	<b>67</b>
4.8.1. Ensayo de Resistencia a la Humedad RH.....	67
4.8.2. Ensayo de Cohesión del Núcleo a Altas Temperaturas RF .....	68
<b>4.9. Resultados Ensayos Comparativos entre Yeso Cartón y Placas de Suelo Cemento</b> .....	<b>69</b>
4.9.1. Ensayo de Temperatura en las Caras .....	69
4.9.2. Ensayo Acústico .....	72
<b>4.10. Densidades de las Placas</b> .....	<b>73</b>
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y FUTURAS INVESTIGACIONES</b> .....	<b>76</b>
<b>5.1. Resistencia a la Flexión</b> .....	<b>76</b>
<b>5.2. Resistencia al Impacto</b> .....	<b>77</b>
<b>5.3. Clasificación RH o RF</b> .....	<b>77</b>
<b>5.4. Ensayos Comparativos</b> .....	<b>77</b>
<b>5.5. Densidades</b> .....	<b>78</b>
<b>5.6. Conclusión</b> .....	<b>78</b>
<b>5.7. Futuras Investigaciones</b> .....	<b>79</b>
<b>Bibliografía</b> .....	<b>80</b>
<b>ANEXO A, Cohesión del núcleo a altas temperaturas</b> .....	<b>83</b>
<b>ANEXO B, Tablas de ensayos Mecánicos</b> .....	<b>84</b>

**GLOSARIO**

Arpillera: Es el nombre con que se conoce a una pieza textil gruesa y áspera fabricada con distintos tipos de estopas, que suele utilizarse como elemento cobertor y para la fabricación de sacos y piezas de embalaje (Cáñamo).

Estopa: Parte gruesa de una planta rica en fibras (lino, cáñamo o yute) que se emplea en la fabricación de cuerda y tejidos textiles.

Quincha: Sistema constructivo que consiste en un entramado de Caña o Bambú recubierto con barro. Ruido Rosa:

Ruido cuyo nivel sonoro está caracterizado por una densidad espectral inversamente proporcional a la frecuencia. Este ruido se utiliza para hacer mediciones acústicas, en la práctica se utiliza para poder ecualizar salas y habitaciones y calibración del material sonoro.

Suelo Cemento: Mezcla de suelo con cemento, donde la cantidad de este último es insuficiente para adherirse de manera uniforme al área superficial de todos los agregados.

Tapial: Antigua técnica que consiste en construir muros con tierras arcillosas, compactada a golpes mediante un pisón, empleando un encofrado para formarla.

Yute (*Corchorus Capsularis*): Es una planta herbácea fibrosa, cultivada en regiones tropicales por sus fibras.

## ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. 1. Diagrama, Fuente: Elaboración Propia. ....	13
Figura 2. 1 Granulometría según parábola modificada Fuller, Fuente (Minke, 2001).....	16
Figura 2. 2 Diagrama de Clasificación de los Suelos. Fuente (Martíns et al., 2009).....	17
Figura 2. 3 Estabilizadores Apropriados, Fuente (Martíns et al., 2009).....	19
Figura 2. 4 Partículas de Arcilla y Arena antes y después de ser mezclado, Fuente (Toirac, 2008).....	21
Figura 2. 5 Comparación de partículas, Fuente: Elaboración Propia .....	22
Figura 2. 6 Características Morfológicas de las Perlitas Expandidas. Fuente: Elaboración Propia .....	26
Figura 2. 7 Plantas y Yacimiento de Perlita, Fuente: (harborlite, 2013).....	27
Figura 2. 8 Características Morfológicas del EPS. Fuente: Elaboración Propia .....	28
Figura 2. 9 Características Morfológicas de piedra Pómez, Fuente: Elaboración Propia .....	29
Figura 2. 10 Protección de Tabique con Placas, fuente: Elaboración Propia .....	30
Figura 2. 11 Clasificación de Materiales Compuestos, Fuente: Elaboración Propia .....	31
Figura 2. 12 Fibras largas de papel de pulpa mecánica (200 aumentos), fuente: (Carozzi, 2010) .....	32
Figura 2. 13 Configuración Fibras, Fuente: (Barbero et al., 2011).....	33
Figura 2. 14 Tensión Deformación $1500 \text{ g/m}^3$ de microfibras, Fuente, (López, 2013).....	35
Figura 3. 1 Dimensiones de Probetas para ensayos según NCh 146, Fuente: Elaboración propia .....	38
Figura 3. 2 Esquema de máquina para determinar la Flexión, Fuente (Instituto Nacional de Normalizacion, 2000) .....	40
Figura 3. 3 Bola de acero, Fuente: Elaboración Propia .....	41
Figura 3. 4 Equipo Xplorer y sensores de temperatura, Fuente: (Pasco, 2012).....	42
Figura 3. 5 Sensor de sonido para Xplorer GLX, Fuente: (Pasco, 2012) .....	43
Figura 3. 6 Esquema 3D de la Tabiquería, Fuente: (López, 2013).....	44
Figura 4. 1 Ubicación de la extracción de Suelo, Fuente: maps.google.cl .....	46
Figura 4. 2 Curva Granulométrica Suelo camino La Pólvora, fuente: Elaboración Propia .....	47
Figura 4. 3 Límite Líquido Suelo Camino La Pólvora. Fuente, Elaboración Propia .....	48
Figura 4. 4 Porcentaje de humedad, bola de Suelo cemento, Fuente Elaboración Propia .....	50
Figura 4. 5 Suelo Tamizado, Fuente Elaboración Propia .....	51
Figura 4. 6 Toma de densidad aparente Piedra Pómez, Fuente Elaboración Propia .....	52
Figura 4. 7 Probetas de Placas, Fuente Elaboración Propia.....	54
Figura 4. 8 Prueba Promotor de adherencia, Cola Granulada. Fuente, Elaboración Propia .....	55
Figura 4. 9 Prueba Promotor de Adherencia, Murazeln. Fuente, Elaboración Propia .....	55
Figura 4. 10 Prueba Promotor de Adherencia Cola Fría diluida en agua. Fuente, Elaboración Propia .....	56
Figura 4. 11 Prueba Promotor de Adherencia Cola Fría. Fuente, Elaboración Propia .....	56
Figura 4. 12 Resistencia a la Flexión Yeso Cartón, Fuente: Elaboración Propia .....	60
Figura 4. 13 Resistencia a la Flexión de Placas de suelo cemento 10% Perlita Expandida, Fuente: Elaboración Propia .....	60
Figura 4. 14 Resistencia a la Flexión de Placas de Suelo Cemento 10% Piedra Pómez, Fuente: Elaboración Propia .....	61
Figura 4. 15 Resistencia a la Flexión de Placas de Suelo Cemento 10% EPS, Fuente: Elaboración Propia .....	61
Figura 4. 16 Resistencia a la Flexión 20% Perlita Expandida, Fuente: Elaboración Propia .....	62
Figura 4. 17 Resistencia a la Flexión 20% Piedra Pómez, Fuente: Elaboración Propia .....	62
Figura 4. 18 Resistencia a la Flexión Placa Suelo Cemento 20% EPS con arpillera, Fuente: Elaboración Propia ....	63
Figura 4. 19 Probeta ensayo a flexión con 20% EPS con Arpillera, Fuente: Elaboración Propia .....	64
Figura 4. 20 Probetas ensayo a flexión, Fuente: Elaboración Propia .....	64

<i>Figura 4. 21 Resistencia a la Flexión, Fuente: Elaboración Propia</i> .....	65
<i>Figura 4. 22 Resistencia Relativa a la Flexión, Fuente: Elaboración Propia</i> .....	65
<i>Figura 4. 23 Resistencia al impacto, Fuente: Elaboración Propia</i> .....	66
<i>Figura 4. 24 Resistencia a la Humedad, Fuente: Elaboración Propia</i> .....	67
<i>Figura 4. 25 Resistencia a Altas Temperaturas, Fuente: Elaboración Propia</i> .....	68
<i>Figura 4. 26 Temperaturas en las Caras, Fuente: Elaboración Propia</i> .....	70
<i>Figura 4. 27 Diferencial de Temperaturas en las Caras, Fuente: Elaboración Propia</i> .....	71
<i>Figura 4. 28 Espectro Acústico, Fuente: Elaboración Propia</i> .....	72
<i>Figura 4. 29 Espectro Acústico Diferencial, Fuente: Elaboración Propia</i> .....	73
<i>Figura 4. 30 Densidades placas, Fuente: Elaboración Propia</i> .....	74
<i>Figura 4. 31 Densidades Relativas, Fuente: Elaboración Propia</i> .....	75
<i>Figura A. 1. Esquema del montaje de aparato para determinar la cohesión del núcleo a altas temperaturas, fuente: (Instituto Nacional de Normalizacion, 2000)</i> .....	83
<i>Figura A. 2. Detalle de perforación probeta para ensayo de cohesión del núcleo a altas temperaturas, fuente: (Instituto Nacional de Normalizacion, 2000)</i> .....	83

## ÍNDICE TABLAS

Tabla 2. 1. Granulometría Óptima, Fuente (Barros & Imhoff, 2010) .....	16
Tabla 2. 2: Resistencia a la Compresión al Séptimo Día, Fuente (Barros & Imhoff, 2010) .....	19
Tabla 2. 3. Sistema de Clasificación AASHTO, Fuente: (Toirac, 2008).....	20
Tabla 2. 4. Tipos de hormigones livianos y rango de propiedades, Fuente (Maturana, 2005) .....	24
Tabla 2. 5. Valores de Conductividad térmica en función de la densidad aparente, según la NCh 853 of.2007 ....	25
Tabla 3. 1Granulometría óptima, Fuente: (López, 2013) .....	36
Tabla 4. 1 Granulometría Suelo Camino La Pólvora. Fuente, Elaboración Propia .....	47
Tabla 4. 2 Límite Líquido Suelo Camino La Pólvora. Fuente, Elaboración Propia .....	48
Tabla 4. 3 Límite Plástico Suelo Camino La Pólvora. Fuente, Elaboración Propia .....	49
Tabla 4. 4 Resumen Límites de Consistencia, Fuente: Elaboración Propia .....	49
Tabla 4. 5 Datos Aplicados a Estabilizador adecuado, Fuente: Elaboración Propia .....	49
Tabla 4. 6 Granulometría Perlita Expandida, Fuente: Elaboración Propia .....	51
Tabla 4. 7 Granulometría Piedras Pómez, Fuente: Elaboración Propia .....	52
Tabla 4. 8 Granulometría EPS, Fuente: Elaboración Propia .....	52
Tabla 4. 9 Densidades Aparentes sueltas, Fuente Elaboración Propia .....	53
Tabla 4. 10 Dosificación para 10% de Agregado liviano, Fuente: Elaboración Propia .....	53
Tabla 4. 11 Dosificación para 20% de Agregado liviano, Fuente: Elaboración Propia .....	53
Tabla 4. 12 Costo Variable 10% Perlita Expandida, Fuente: Elaboración Propia .....	57
Tabla 4. 13 Costo Variable 10% Piedra Pómez, Fuente: Elaboración Propia .....	57
Tabla 4. 14 Costo Variable 10% EPS, Fuente: Elaboración Propia .....	58
Tabla 4. 15 Costo Variable 20% Perlita Expandida, Fuente: Elaboración Propia .....	58
Tabla 4. 16 Costo Variable 20% Piedra Pómez, Fuente: Elaboración Propia .....	59

## ÍNDICE ECUACIONES

Ecuación 3. 1. Porcentaje de absorción de agua, Fuente: (Instituto Nacional de Normalización, 2000) .....	41
---	----



## **RESUMEN**

En este documento se presenta el estudio, desarrollo y evaluación técnica para la mejora de un producto ya diseñado por López (2013), el estudio nombrado tiene como base el suelo natural, para utilizarse como revestimiento interior (placas prefabricadas).

El desarrollo del estudio se lleva a cabo en dos etapas mediante análisis de laboratorio, para evaluar el diseño y las propiedades físico-mecánicas de las placas prefabricadas.

La primera etapa de desarrollo consistió en la realización de ensayos a la muestra de suelo natural con el fin de establecer si el suelo elegido cumple con los requisitos propuestos en la bibliografía según estudios previos.

En una segunda etapa se elaboran probetas con distintas dosificaciones de agregados livianos, los cuales son Perlita Expandida (PE), Piedra Pómez (PP) y Perlita de Poliestireno Expandido (EPS), con los cuales se realizó ensayos, para determinar propiedades físicas y mecánicas.

Uno de los problemas a determinar en estas placas es la adherencia entre el núcleo y la piel la cual se resolvió por medio de la incorporación de cola fría como promotor de adherencia entre estos dos componentes.

Una vez obtenidos los resultados, se realizó un análisis comparativo entre las placas de Suelo cemento con agregado liviano y las Placas de Yeso Cartón estándar de 15 mm de espesor, donde se demuestra que las placas de Suelo Cemento con PE y PP presentan mejores resultados, demostrando así que es factible la incorporación de agregados livianos.

Palabras claves: Suelo Cemento, Estabilización, Agregados Livianos.

# CAPÍTULO I: ANTECEDENTES GENERALES

## 1.1. Introducción

Desde el momento que el hombre decidió asentarse permanentemente en un territorio, y al no tener a disposición madera o piedras de fácil trabajabilidad, comenzó a utilizar el suelo como material de construcción. Por ejemplo, en Turquestán se descubrieron construcciones con suelo que datan de 8.000 a 6.000 años a.C. Las culturas antiguas, ocuparon el suelo para generar, de una u otra manera, construcción de viviendas, fortalezas y obras religiosas (Minke, 2001).

En Latino América, antes de la introducción del tapial a través de la colonización, ya se utilizaba el adobe como material de construcción de viviendas, el que aparece entre 500 a 600 a.C., o la quincha, e incluso bajo relieves de suelo, ejemplo que aún perdura en la ciudad Andina de Chan Chan, capital del reino Chimú, Trujillo, Perú.

Durante cientos de años se ha demostrado que la utilización de suelos como material de construcción, provoca un bajo impacto, relacionado con los residuos y desechos que afectan al ambiente. Además tiene una buena manejabilidad, por lo que representa una buena alternativa en soluciones habitacionales (Barros & Imhoff, 2010).

Esto indicaría que el material predominante en la construcción de viviendas sea el suelo, pero cuenta con limitaciones por su baja resistencia mecánica. En Chile durante años uno de los materiales más comunes fue el adobe, pero con el paso del tiempo, su aceptación se ha puesto en tela de juicio, ante su resistencia a un sismo de gran envergadura. La construcción en adobe presenta problemas estructurales y de estabilidad a consecuencia de la fragilidad en las uniones de los bloques con el mortero de pega y la poca resistencia de flexión en el plano del muro (Barros & Imhoff, 2010).

En Chile desde el 2010, se considera al adobe como material de construcción en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción, pero no existen normativas vigentes, por lo cual su uso es limitado (MINVU, 2010).

La bibliografía consultada, menciona: *“la ausencia de criterios o normativas nacionales que regulen las construcciones que consideren el suelo como material predominante y/o estructural limita su uso”* (Gaete, 2010)

Por las limitaciones que posee el suelo como material de construcción, al no tener sustancias estabilizantes para la mejora de sus propiedades, civilizaciones antiguas (Incas), utilizaron mezclas de suelo con sustancias para estabilizarlo, por ejemplo con Cal o aglomerantes Puzolanicos (ISCYC, 2007).

Olarte & Guzmán (1993), probaron la estabilización del suelo con distintos elementos como por ejemplo: cemento, paja, cal, yeso. Obteniendo como resultado que el suelo mezclado con cemento en un bajo porcentaje, presenta la mayor resistencia a la compresión de los ensayos realizados, donde la máxima resistencia obtenida fue de  $85 \text{ kgf/cm}^2$ . Por lo que se concluyó, que la estabilización de suelo con cemento es factible, siempre que se asegure un buen curado (Barros & Imhoff, 2010).

A los suelos desde muchos años se les añade generalmente fibras para reducir las fisuras por retracción. Además cuando se añaden fibras finas o pelos de animales en pequeñas cantidades

aumenta la resistencia a la flexión y por consiguiente aumenta levemente la resistencia a la compresión (Minke, 2001).

Se ha experimentado, con ladrillos de adobe estabilizados con cemento portland (6%) y diferentes porcentajes de fibra de coco, concluyendo que “El refuerzo con fibra de coco solo produce mejoras en el incremento de la resistencia a la flexión” (Roux & Olivares, 2002).

Dada las mejoras en la estabilización del suelo como alternativa constructiva en materiales innovadores en la industria de la construcción, se crea un revestimiento de tabiquería interior que es de suelo tratado con cemento y micro fibra de polipropileno que preserva las propiedades del suelo, tomando como base la estructura de las placas de yeso cartón (López, 2013).

El factor fundamental para el desarrollo de una placa de suelo cemento como revestimiento interior es su resistencia a la flexión, por lo que se considera la incorporación de  $1.500 \text{ g/m}^3$  de micro fibra de polipropileno en su fabricación. Otro elemento que contribuye con la resistencia a la flexión es el papel que cubre la placa (De Villanueva et al., 1994).

Una característica a mejorar de las placas diseñadas López, es la densidad, que en sus inicios presenta  $1.900 \text{ kg/m}^3$  aproximadamente. Dado esta condición se considera como opción para mejorar sus prestaciones, la disminución de la densidad, incorporando, a éstas, agregados livianos.

También se considera la incorporación de agregados livianos (P.P, P.E y EPS) que se usan en la fabricación de hormigones livianos, los cuales presentan ciertas características, como su baja densidad y la resistencia a la compresión. Otra característica de estos hormigones y que es producto de los agregados livianos es, la conductividad térmica, que tiene directa relación con la densidad del elemento y aislamiento acústico, ya que las cavidades en el interior amortiguan las vibraciones.

Por lo que con la incorporación de agregados livianos se espera, se logre la “Factibilidad Técnica de Incorporación de Agregado Liviano a Placas de Suelo Cemento con Microfibra de Polipropileno”.

## 1.2. Hipótesis

“La incorporación de agregado liviano en la mezcla de suelo cemento y microfibra de polipropileno, mejora las propiedades físicas y mecánicas de las placas, para ser usadas como revestimiento prefabricado interior”.

## 1.3. Objetivos de la Investigación

### 1.3.1. Objetivo General

- Evaluar la incorporación de un agregado liviano en la mezcla de suelo tratado con cemento y micro fibra de polipropileno, para la elaboración de placas a ser usadas como revestimiento prefabricado interior.

### 1.3.2. Objetivo Específico

- Determinar dosificación óptima de agregado liviano (Piedra Pómez, Perlita Expandida o EPS), que permita aligerar las placas de suelo cemento y micro fibra de polipropileno, para uso de revestimiento interior.
- Evaluar comportamiento mecánico de acuerdo a la normativa Chilena NCh 146/2 Of 2000.
- Evaluar comportamiento térmico y acústico de la placa con incorporación de Agregados Livianos.

## 1.4. Alcances y Limitaciones

- Los ensayos se realizarán en los laboratorios de la Escuela de Construcción Civil de la Universidad de Valparaíso.
- Se usará la dosificación de 1.500 g/m<sup>3</sup> de micro fibra de polipropileno en las placas, según lo realizado por F. López, 2013.
- Se fabricarán placas, para los ensayos, con dimensiones dispuestas en la normativa Chilena NCh 146/2 Of2000, con espesor de 15mm.
- Solo se harán estudios desde el punto de vista técnico sobre el proceso de elaboración del revestimiento.
- No se hará estudio del impacto de la extracción del suelo.
- Los agregados livianos a ocupar en la fabricación de las placas son: Perlita Expandida, Perlas de Polipropileno y Piedras Pómez; estos agregados son de origen nacional.

### 1.5. Metodología de Trabajo

La metodología de trabajo presenta los pasos o etapas en las cuales consiste el desarrollo completo de esta investigación. Se refiere a la organización secuencial de los objetivos propuestos y distribución de tareas, detalladas a continuación en orden cronológico.

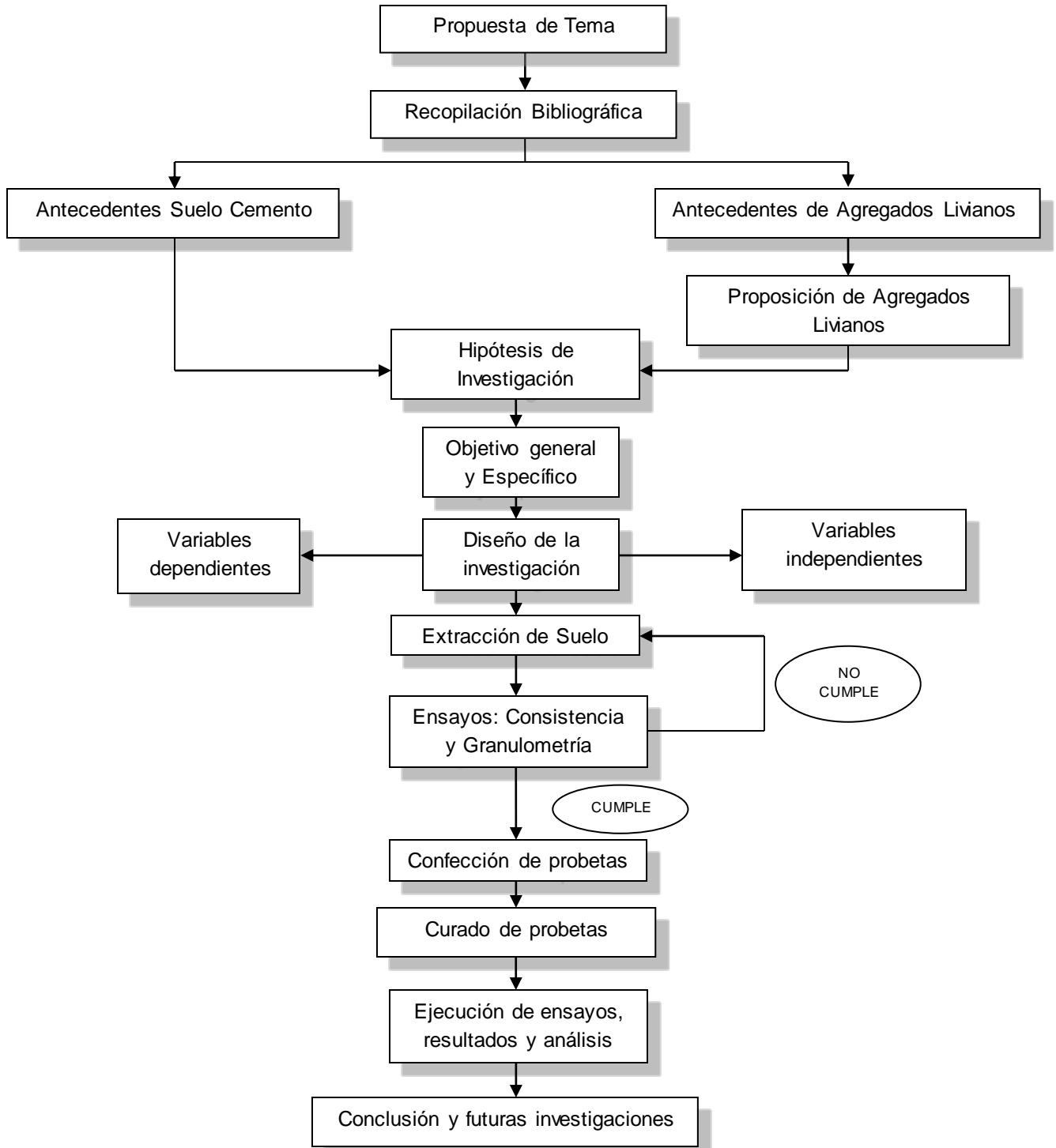


Figura 1. 1. Diagrama, Fuente: Elaboración Propia.

## **1.6. Estructuración de la Tesis**

La tesis está compuesta de cinco capítulos, correspondiendo el primero a los Antecedentes Generales donde principalmente se plantea la justificación de la investigación, los objetivos, hipótesis de la investigación, alcances y limitaciones, y la metodología general que se seguirá para llevar a cabo la investigación.

El segundo capítulo hace referencia a las propiedades elementales y clasificación de los suelos y los otros elementos que componen las placas, además entrega las pautas a seguir en la fabricación de éstas, la mezcla de componentes y los ensayos necesarios según la Norma Chilena NCh 146/2. of2000.

En el tercer capítulo se expone el programa del desarrollo experimental, detallando métodos y ensayos a seguir para llevar a cabo la experiencia, donde se definirán las variables. Además se definirán las dimensiones y materias primas necesarias para la fabricación de placas de suelo cemento.

En el cuarto capítulo se expondrán resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, a través de tablas y gráficos, los cuales serán analizados para la posterior obtención de conclusiones y recomendaciones que conforman el quinto y último capítulo.

## CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 2.1. El Suelo

Al utilizar el suelo como material de construcción es muy importante conocer por anticipado sus características y comportamiento bajo las distintas condiciones a que va a ser sometido en la práctica:

- Fricción interna, resistencia al deslizamiento de un grano sobre otro, causado por la fricción que hay entre las superficies de contacto.
- Cohesión real o adherencia, se debe a la atracción molecular, que crea una ligazón entre las superficies de contacto de las partículas.
- Cohesión aparente o de humedad, característica que poseen los suelos cuando están húmedos. Esta propiedad tiene importancia, ya que mediante tratamientos apropiados, puede alterar y mejorar su cohesión.
- Elasticidad, suelo que disminuye su volumen bajo la acción de una carga y lo recupera en gran parte al desaparecer ésta.
- Capilaridad, propiedad que poseen los suelos de absorber la humedad en cualquier dirección, ésta depende del número, interconexiones y dimensión de vacíos en el interior de éstos.
- Textura, relacionado con el grado de fineza y uniformidad del suelo, se describe por medio de los términos suaves, arenoso; según sensación al tacto.
- Composición y color, que en general están relacionadas íntimamente. Con una inspección visual, es posible identificar la composición de los suelos.
- Granulometría, que clasifica el suelo según las dimensiones de las partículas que éste posea y conforme a normativa.

El suelo en su estado natural es una mezcla de limo, arcilla y arena, que algunas veces tiene agregados mayores como grava. La arcilla está formada por la erosión de distintos minerales, esto genera que actúe como aglomerante que permite pegar las partículas mayores que se encuentran en los suelos, como lo hace el cemento en el hormigón. Las propiedades del limo, arena y grava son distintas a las de la arcilla, son agregados sin fuerza aglutinante y están formados a partir de la erosión de las rocas.

Un suelo se expande al entrar en contacto con agua, así por el contrario su retracción, es producto del secamiento, lo que es desventajoso para ser usado como material de construcción de viviendas. La expansión y retracción dependen de la cantidad de arcilla y del índice de plasticidad de ésta, como así también de la granulometría del limo y la arena. La absorción de humedad del aire no provoca expansión.

La resistencia a la flexión del suelo en estado seco es de poca importancia para la construcción de viviendas con este material, sin embargo cuando se trata de establecer la calidad y rigidez del suelo, toma importancia, por lo que ésta depende fundamentalmente del contenido de arcilla y de minerales que posea la arcilla (Minke, 2001).

Por otra parte, la rigidez de un suelo también depende de la resistencia a la compresión que éste sea capaz de soportar, la cual depende principalmente de su distribución granulométrica, del contenido de agua, así como la cantidad de arcilla. Si las partículas de arena están bien distribuidas, manteniendo el menor volumen de compactación, y si los limos y las arcillas están constituidos de tal

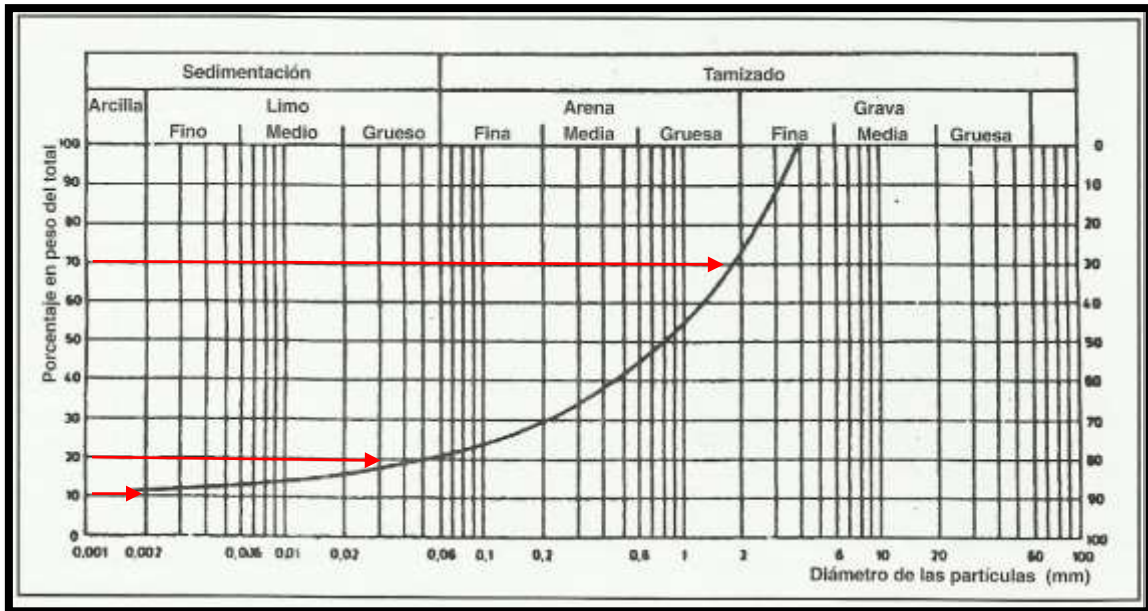
manera que todos los espacios intergranulares de la arena estén llenos con estas partículas, se obtiene mejorar la resistencia a la compresión.

Por esto es que se debe considerar una buena granulometría. Por lo que (Barros & Imhoff, 2010) presentan un cuadro comparativo de granulometrías recomendadas para suelo cemento.

**Tabla 2. 1. Granulometría Óptima, Fuente (Barros & Imhoff, 2010)**

Autores	Recomendación	Arena[%]	Limo [%]	Arcilla[%]
Entieche	Optimo	75	10	15
	Rango	45 a 80	20 a 55	
De la Fuente	Rango	55 a 80	20 a 45	
De Olarte	Optimo	70	15	15
U. de Valparaiso	Rango	70 a 80	20 a 30	5 a 10
<b>Minke</b>	<b>Optimo</b>	<b>70</b>	<b>30</b>	
Walker, Keable	Optimo	45 a 80	15 a 30	5 a 20
Krüger	Optimo	60	40	

Dado este cuadro comparativo de granulometrías recomendadas para suelos cementos, se considera la expuesta por Minke (2001), que considera un 70% de arena (desde 2,00 a 0,06 mm), un 20% de limo (desde 0,06 a 0,002 mm) y un 10% de arcilla (bajo 0,002 mm). La cual se expresa en la figura 2.1.



**Figura 2. 1 Granulometría según parábola modificada Fuller, Fuente (Minke, 2001)**



Otro método para describir gráficamente un suelo con partículas no mayores a 2 mm es el diagrama trilineal, Fig 2.2, donde los porcentajes de arcilla, limo y arena se pueden graficar en tres ejes de un triángulo y leer correlativamente; dado la proporción granulométrica de 70% de arena, 20% de limo y un 10% de arcilla lo clasifica como una Tierra Arenosa.



Figura 2. 2 Diagrama de Clasificación de los Suelos. Fuente (Martíns et al., 2009)

En los suelos además de conocer su granulometría, es importante conocer ciertas propiedades físicas constituidas por las partículas finas. Para ello se han establecido procedimientos que permiten determinar estas propiedades mediante los "Límites de consistencia" de los suelos para lo cual se debe recurrir a la normativa Chilena NCh 1579 of. 79.

La consistencia es el grado de cohesión aparente o de humedad de las partículas de un suelo y su resistencia a las fuerzas exteriores que tiendan a deformar o destruir su estructura. La consistencia depende del grado de humedad de los suelos, y este contenido de humedad da cuatro estados de consistencia que son: estado sólido, estado semisólido, estado plástico y estado líquido.

Procedimientos de análisis para los límites de consistencia:

- Límite líquido: es la cantidad de humedad necesaria para que un suelo fluya cuando se golpea ligeramente con un dispositivo adecuado. Se mide en el por ciento con respecto a su peso seco. Para llevar a cabo este ensayo se debe recurrir conforme a la normativa chilena NCh 1517/1 of. 79.

- Límite plástico: es el contenido de humedad que tiene un suelo al momento de pasar del estado plástico al estado sólido. Para llevar a cabo este ensayo se debe recurrir a la normativa chilena NCh 1517/2 of. 79.

## **2.2. Suelos Estabilizados**

El uso del suelo simplemente compactado (suelo natural), posee buenas cualidades aislantes y resistentes, es vulnerable a la humedad y se erosiona por la acción de agentes externos.

Se denomina estabilizador de suelos a ciertos tratamientos que son sometidos los suelos naturales, haciéndolos aptos para ser empleados como material de construcción.

Para mejorar las propiedades de un suelo se debe considerar un estabilizador, definiendo una composición en que el estabilizador fija las cualidades óptimas del suelo natural y aporta otras, que por sí mismo el suelo no tiene, esto es modificar el comportamiento de las partículas del suelo, mejorando sus propiedades y porcentajes de uso (Enria, 2009).

Los sistemas básicos de estabilización de los suelos son: consolidación, impermeabilización, tratamiento químico y adición de aglomerantes, el cual es analizado en esta tesis.

El cemento y el bitumen son buenos estabilizadores de suelos con bajo porcentaje de arcilla, y la cal es un buen estabilizador de suelos arcillosos (Martíns et al., 2009). Los estabilizadores cubren las partículas de arcilla impidiendo que, por ejemplo, el agua alcance las partículas, las cuales se hidratan provocando la expansión disminuyendo su rigidez y su resistencia.

El cemento actúa como estabilizador del suelo con bajo porcentaje de arcilla, frente a algún agente que provoque su erosión. Mientras mayor sea el contenido de arcilla contenida en un suelo, más cantidad de cemento se necesita para alcanzar el mismo efecto de estabilización. El exceso de incorporación de cemento interrumpe las fuerzas aglutinantes de la arcilla, haciendo posible que la resistencia a la compresión de un suelo estabilizado con cemento sea menor que la de un suelo sin cemento (Minke, 2001).

Existen varios estabilizadores de suelos de origen mineral o vegetal. El que logró los mejores resultados en la estabilización del suelo es el cemento, Tabla 2.2, siempre que se asegure un buen curado (Barros & Imhoff, 2010).

Tabla 2. 2: Resistencia a la Compresión al Séptimo Día, Fuente (Barros & Imhoff, 2010)

Estabilizadores	Técnicas de estabilización	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
Suelo-paja (adobe-tradicional.)		7.25
Suelo-Cal (4% cámara húmeda)		9.85
Suelo-Cal (4% expuesto al sol)		2.9
Suelo-asfalto		14.92
<b>Suelo-cemento</b>		<b>74.0</b>
Suelo-yeso		16.9
	Proctor (4% de agua)	13.5
	Proctor (8% de agua)	39.6
	Proctor (12% de agua)	31.9

No todos los suelos son adecuados para ser estabilizados con cemento. Un suelo ideal debe estar compuesto por: arena, limo, arcilla. Esta condición se considera en la granulometría como ya es mencionado en el ítem 2.1 de éste capítulo. Como también un factor importante para lograr buenos resultados al momento de estabilizar un suelo son los “Límites de consistencia”, que son propios de cada suelo, dependen de la cantidad de arcilla que posea el suelo y el tipo de mineral que posea ésta arcilla, el cual se expresa en la Figura 2.3.

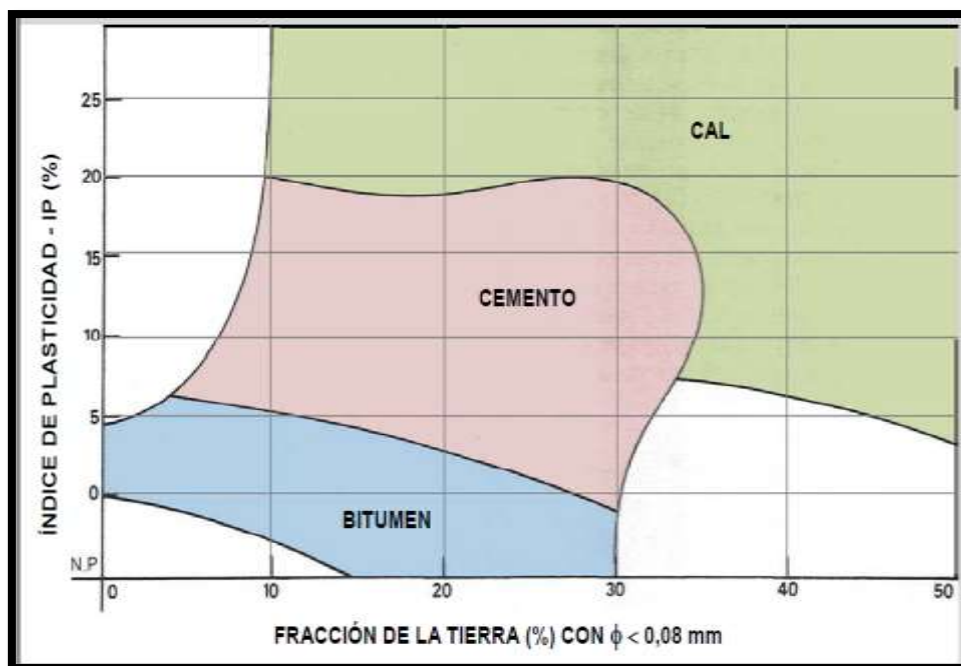


Figura 2. 3 Estabilizadores Apropriados, Fuente (Martíns et al., 2009)

Al utilizar la proporción óptima del suelo de la figura 2.1 y 2.2, señala un suelo del tipo: “Barro Arenoso” con un índice de plasticidad de 6% a 20%. Se puede así clasificar al suelo a utilizar según la clasificación AASHTO, un suelo A-2-4, este suelo considerado por (Toirac, 2008) como el mejor suelo para ser estabilizado con cemento. Como se muestra en la tabla 2.3.

Tabla 2. 3. Sistema de Clasificación AASHTO, Fuente: (Toirac, 2008)

Clasificación General	Suelos Granulares (35% o menos pasando el tamiz No. 200)					Suelos Finos (Más del 35% pasa tamiz No. 200)			
	A-1	A-3	A-2	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8	A-9
GRUPOS	A-1-a	A-1-b	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8
SUB-GRUPOS	A-1-a	A-1-b	A-2-1	A-2-2	A-2-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Porcentaje que pasa el tamiz No.									
10 (2.0 mm)	50 máx.								
40 (0.42 mm)	30 máx.	51 mín.							
200 (0.074 mm)	15 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Característica del material que pasa el tamiz No.40									
Límite Líquido									
Índice Plástico	6 máx.	NP	40 máx.	41 máx.	40 máx.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
INDICE DE GRUPO	0	0	10 máx.	10 máx.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
TIPO DE MATERIAL	Frag. de piedra, grava y arena	arena fina	Grava y arenas limosas o arcillosas	0	4 máx.	suelos limosos	suelos limosos	suelos arcillosos	suelos arcillosos
VALORACION	Bueno requiere adición de suelo fino para hacerlo laborable	requiere añadir suelos finos	Excelente	Buenos	Regular	No es recomendable su uso por requerir elevados consumos de cementos			

### 2.3. Suelo Estabilizado con Cemento

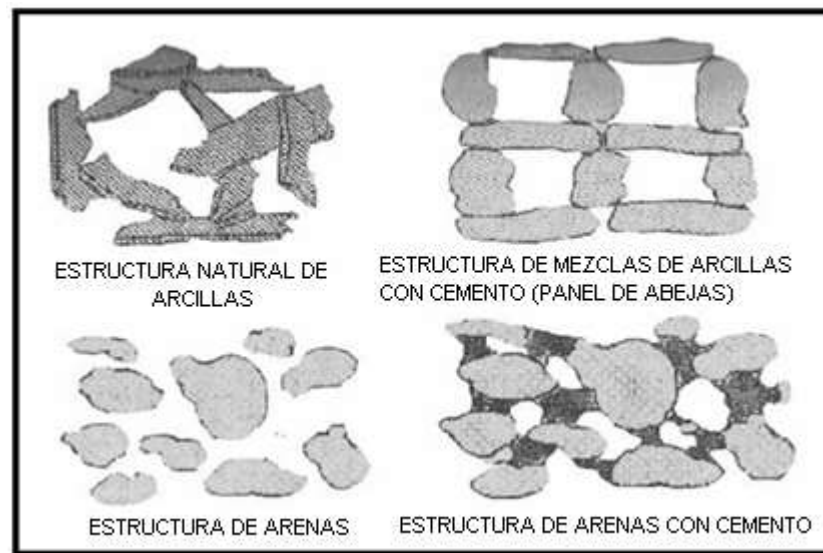
Es la mezcla de suelo fino con agua y cemento, el cual tras mezclarse se compacta y cura mejorando así las propiedades del suelo. Esta mezcla se transforma en un material duro y rígido, la dureza y rigidez depende de la calidad del suelo (ISCYC, 2007).

El cemento actúa como un estabilizador contra el agua en suelos con bajo contenido de arcilla, mientras mayor sea el contenido de arcilla mayor debe ser el contenido de cemento para alcanzar el mismo efecto de estabilización.

Cuando el suelo se estabiliza con cemento, algunos poros deben mantenerse abiertos. Solo los puntos de contacto de los agregados gruesos deben ser cementados, no como en el hormigón que la mayoría de los poros deben rellenarse.

Al hidratar el cemento se forma cal libre, esta reacciona con los ácidos de silicato de los minerales de arcilla de tal manera que además de la primera estabilización provocada por el cemento, ocurre posteriormente un endurecimiento más pronunciado (Minke, 2001).

La figura 2.4, muestra el comportamiento de las partículas de suelo tras ser mezclado con cemento. Esto se cumple en la gran mayoría de los casos, cuando existe un predominio de las fracciones gruesas y una fracción fina que aporta la cohesión necesaria para poder trabajar con esta masa.



**Figura 2.4 Partículas de Arcilla y Arena antes y después de ser mezclado, Fuente (Toirac, 2008)**

La adición de cemento al suelo permite obtener un material que reúne las siguientes ventajas:

- Reducción de cambio volumétrico, por absorción o pérdida de humedad.
- Inalterabilidad al sumergirlo en agua.
- Resistencia a la compresión similar y hasta superior a la de un ladrillo común de arcilla cocida (Miles, 2006).

Se puede diferenciar la mezcla de suelo cemento del hormigón por la forma en que los agregados o partículas de suelo se mantienen unidos. En el Hormigón la mezcla contiene la pasta de cemento suficiente, para adherirse en una capa al área superficial de todos los agregados y llenar los vacíos; en las mezclas de suelo cemento, la pasta de cemento es insuficiente para formar una capa sobre todas las partículas, lo que da como resultado una matriz de cemento que aglomera los módulos de material no cementado (Payán, 2002). Lo anterior se muestra esquemáticamente en la Figura 2.5.

- a) Partícula de Suelo Cemento
- b) Partícula de Hormigón

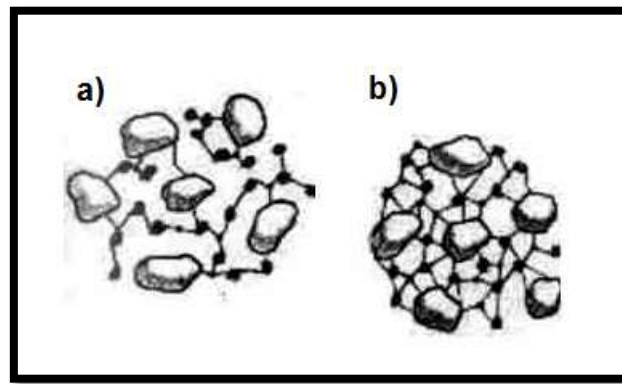


Figura 2.5 Comparación de partículas, Fuente: Elaboración Propia

#### 2.4. Agua

Un factor importante al momento de la estabilización de un suelo es la cantidad de agua, ya que ésta incide en la variación de su resistencia, un suelo demasiado húmedo no puede ser compactado adecuadamente como también un suelo demasiado seco tampoco da buenos resultados dado que no se hidratan bien las partículas del suelo, como las del estabilizador, dificultando su amasado y trabajabilidad (Barros & Imhoff, 2010).

El agua tiene un papel muy importante en la elaboración del suelo tratado con cemento y se debe considerar:

- La humedad óptima de la mezcla
- Hidratación total del cemento
- Buena trabajabilidad de la mezcla

En la elaboración de Suelo Cemento se usa el agua que se especifica en la Norma NCh1498 of. 82 para el amasado en la elaboración de hormigones. El agua potable, es por regla general, el agua óptima para el uso en la fabricación del suelo tratado con cemento.

### **2.4.1. Humedad**

Para el diseño de la 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 pierda. El suelo adquiere una coloración pareja. Si el suelo contiene la cantidad necesaria de fracción fina, este paso se logra con relativa rapidez. La humedad que tendrá el suelo al ser secado al aire es la humedad higroscópica.

Ésta humedad tiene que tomarse en cuenta cuando se determine la cantidad de agua a añadir para obtener la humedad óptima al momento de realizar la mezcla, 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 del estado seco al estado plástico, aplicando carga y reduciendo el volumen de aire en el suelo.

Esto quiere decir que las características plásticas del suelo se representan por el porcentaje de humedad del suelo. Demostrando que el porcentaje de humedad que equivale al límite plástico corresponde prácticamente a la humedad óptima para una mezcla de suelo cemento (Toirac, 2008).

### **2.5. Agregados Livianos**

La densidad de los agregados livianos depende de su procedencia y de su composición.

Los agregados pueden clasificarse en dos grupos: agregados naturales que provienen de yacimientos minerales y utilizados directamente después de diversas operaciones de trituración y clasificación. Y los agregados artificiales, provenientes de una transformación térmica, efectuada por el hombre, de distintos productos minerales utilizados solo o en mezclas.

Los agregados livianos otorgan ciertas propiedades específicas al incorporarse en materiales compuestos (Maturana, 2005), que son por ejemplo:

- **Conductividad Térmica:** La capacidad de conducción de energía térmica de un material está dada por su densidad, mientras más denso, mayor es su conductividad térmica. Los agregados livianos son de baja conductividad térmica y por ende buenos aislantes de calor.
- **Aislante Acústico:** Las cavidades dentro de los agregados livianos permiten amortiguar las vibraciones producidas por ondas sonoras.
- **Trabajabilidad:** Debido a la baja densidad de los agregados, es más fácil su manipulación.
- **Resistencia al Fuego:** Debido al uso de agregados livianos manufacturados en procesos de elevada temperatura, los materiales compuestos con agregados livianos poseen gran resistencia a temperaturas elevadas.
- **Curado Interno:** Producto del agua contenida dentro de los agregados livianos, las partículas de cemento experimentan un curado interno cuando esta agua se libera. Esto permite una mejor hidratación de las partículas cementicias contenidas en la zona de transición interfacial.
- **Adherencia:** Debido a la rugosidad de la superficie de los agregados livianos, se genera adherencia entre la pasta y el agregado.

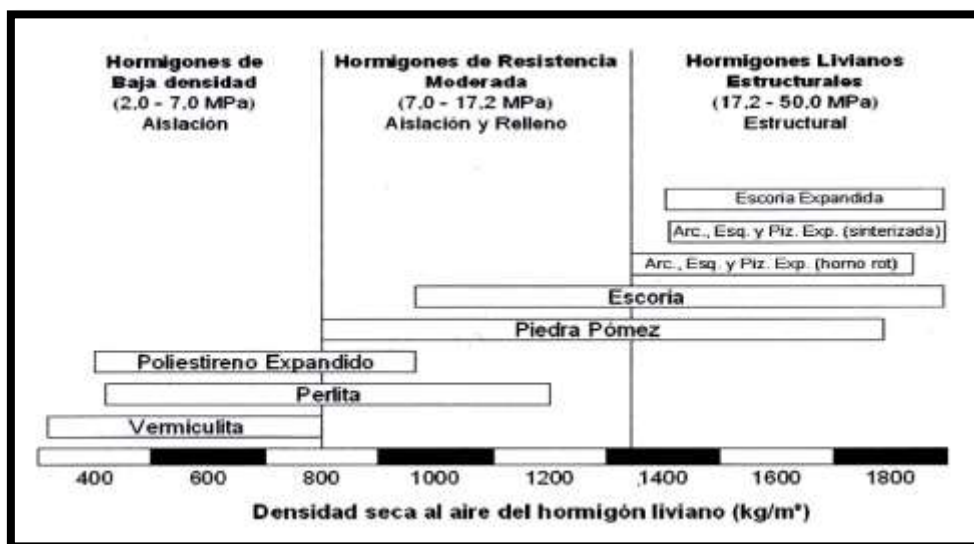
Los agregados livianos incrementan las propiedades de los suelos al ser incorporados en estos, como por ejemplo: la aislación térmica, mientras más porosa sea la mezcla de agregado liviano con el suelo, mayor será su aislación térmica.

Al mezclar un agregado liviano con suelo se genera un material compuesto con una baja densidad, esto depende del porcentaje de agregado que se incorpore en la mezcla. Es posible que produzca retracción producto de un exceso de agregado mineral.

También estos agregados livianos son incorporados en uno de los materiales más común de la construcción, el hormigón, mezcla denominada como Hormigón Liviano, cuya densidad varía entre 600 a 2.000 kg/m<sup>3</sup>. La estructura que presentan es similar a los hormigones ordinarios, pero en su interior hay una gran cantidad de alvéolos que ocupan un volumen considerable, éstos están distribuidos heterogéneamente dentro del hormigón y no presentan una gran absorción de agua. Los agregados livianos se ocupan como aislantes térmicos y acústicos para la fabricación de hormigones livianos, que se presenta en la Tabla 2.4. Esta entrega los valores de conductividad térmica "k" de diversos tipos de hormigones tomado de la normativa Chilena NCh 853 of. 71. En ella se entiende como conductividad térmica válida ( $\lambda$ ) a la asignada a un material de construcción en las condiciones de intercambios superficiales y un contenido de humedad que corresponde a su valor de mayor frecuencia.

Se puede distinguir en la tabla 2.4 que los agregados livianos como la Perlita expandida, Piedras Pómez y EPS aportan una baja densidad y una resistencia moderada al incorporarse en hormigones livianos.

Tabla 2. 4. Tipos de hormigones livianos y rango de propiedades, Fuente (Maturana, 2005)



La conductividad térmica puede ser definida como la cantidad de calor expresada en kilocalorías, que pasa a través de un metro cuadrado de un material homogéneo, de un metro de espesor, en una hora, con una diferencia de temperatura de un grado centígrado entre cara y cara. Esta propiedad está íntimamente relacionada con el contenido de aire del material, ya que actúa como barrera al paso del calor. Si se considera que los agregados livianos de alguna forma u otra poseen aire en su estructura, al ser incorporados en hormigones, éstos presentarán entonces una menor



conductividad térmica que los hormigones convencionales, de acuerdo a la Tabla 2.5 (Maturana, 2005).

**Tabla 2. 5. Valores de Conductividad térmica en función de la densidad aparente, según la NCh 853 of.2007**

<b>Tipo de Hormigón</b>	<b>Densidad Aparente (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Conductividad Térmica (W/m<sup>°K</sup>)</b>
Hormigón con áridos ordinarios, sin vibrar.	2000	1,16
	2200	1,40
Hormigón con áridos ordinarios, vibrado.	2400	1,75
Hormigón Celular con Cenizas	1000	0,41
Hormigón Celular con escoria de altos hornos	600	0,17
Hormigón Liviano (con piedras pómez, escoria dilatada puzolana, poliuretano expandido en copos, vermiculita, etc).	600	0,17
	800	0,26
	1000	0,33
	1200	0,43
	1400	0,55

### **2.5.1. Perlita Expandida**

El término Perlita no corresponde a una denominación comercial, sino a un término genérico usado para la designación de un mineral no metálico, definido como un vidrio volcánico de formación natural.

Es una roca volcánica vítrea de color blanco brillante, altamente poroso, frágil y liviano, como se aprecia en la siguiente figura, la cual contiene agua cristalizada en proporciones de 3 a 6%, la cual no se elimina por simple secado sino solamente a la temperatura de fusión, provocando una expansión notable en su cuerpo. El material así obtenido presenta una contextura de partículas y nódulos de forma perlada; de allí su nombre.



**Figura 2.6 Características Morfológicas de las Perlitas Expandidas. Fuente: Elaboración Propia**

Este material se extrae de yacimientos para ser llevado a las plantas de tratamiento, donde se limpia y se elimina las impurezas que pueda traer, posteriormente las piedras pasan por molinos chancadores. Terminando este proceso es colocado en hornos verticales alimentados de forma continua. Estos hornos deben tener una temperatura de 1000 °C, provocando un cambio en su estado físico-químico, ya que se evapora rápidamente el agua, produciendo un aumento de 15 a 20 veces su volumen inicial, finalmente se obtiene este material, cuya densidad oscila entre 40 a 150 kg/m<sup>3</sup> (Minke, 2001).

Este agregado mineral es totalmente inactivo químicamente, es estéril, no aporta enfermedades ni plagas, ni tampoco absorbe agua.

Dado que su origen es inorgánico, no se descomponen y son inalterables ante un agente químico y físico.

En el mundo existen actualmente once plantas de producción y cuatro yacimientos de perlita expandida, señaladas a continuación y mostradas geográficamente en la figura 2.7:

- PLANTAS: Barcelona (España); Escondido, California (EE.UU.); Green River, Wyoming (EE.UU.); Hassle (Reino Unido); La Porte, Texas (EE.UU.); Milán (Italia); Quincy, Florida (EE.UU.); Vicksburg, Michigan (EE.UU.); Wissembourg (Francia); Youngville, Carolina del norte (EE.UU.); Santiago (Chile).
- YACIMIENTOS: Dikili (Turquía); No Agua, Nuevo México (EE.UU.); Superior, Arizona (EE.UU.); Laguna del Maule, Talca (Chile).



**Figura 2. 7 Plantas y Yacimiento de Perlita, Fuente: (harborlite, 2013)**

### **2.5.2. Perlita Expandida EPS**

El poliestireno expandido o EPS (Expanded Polystirene) se elabora a partir de la materia prima, el poliestireno expansible. Históricamente el poliestireno expansible se descubrió y se originó en Alemania en 1951 por el investigador de la empresa alemana Basf Aktiengesellschaft y es fabricado desde entonces en plantas distribuidas por todo el mundo. Se destina desde entonces a una diversidad de sectores de aplicación, entre los cuales predominan los relacionados con los materiales aislantes de construcción. Paralelamente se destina al uso de envases y embalaje.

El insumo base es el estireno, que corresponde a un derivado del petróleo, el cual por un proceso de polimerización da origen a la materia prima expansible que se presenta bajo gránulos esferoides de tamaño milimétrico y que se denomina Poliestireno Expansible. Estos gránulos o perlas expansibles al someterlos a un proceso de pre expansión por temperatura y vapor pueden alcanzar un volumen de hasta 50 veces superior al inicial, los que luego de un reposo intermedio, variable según la densidad, se incorporan en moldes para expandirse por temperatura y vapor aún más y termo-soldarse entre ellas hasta conformar finalmente un cuerpo volumétrico único y homogéneo que posteriormente se reduce a las dimensiones requeridas.

El producto resultante es una espuma rígida de color blanco con maniobrabilidad, caracterizado por un termoplástico de baja densidad y de alta resistencia físico-mecánico en relación a su reducido peso aparente. Esta espuma rígida está constituida por un sinnúmero de celdas cerradas, solidariamente apoyadas y termo-soldadas por sus tangentes, las que tienen aire quieto ocluido en su interior. El 98% de aire quieto en su volumen es lo que le confiere una capacidad de aislamiento térmico.



**Figura 2. 8 Características Morfológicas del EPS. Fuente: Elaboración Propia**

El Poliestireno Expandido es un material rígido, liviano, fácil de aplicar, transportar y colocar. Puede ser trabajado mecánicamente para ser dispuesto tanto en superficies absorbentes como no absorbentes (puede ser aserrado, cortado, cepillado, lijado, elastificado, atornillado, adherido). Aparte de ser estable dimensionalmente, prácticamente impermeable y también dimensionable milimétricamente en los espesores y medidas según el requerimiento deseado, mantiene su capacidad de aislamiento térmico en el tiempo, lo que sin duda permite una trabajabilidad para resolver múltiples singularidades en la construcción.

Todas estas cualidades unidas a su resistencia física y mecánica lo han caracterizado y consolidado por muchos años en la industria de la construcción como un material óptimo para aislar y construir, y por cierto inocuo y compatible con la salud y el medio ambiente.

Estas partículas sueltas, perlas y granuladas; se emplean para el mejoramiento de las condiciones del suelo, sobrelosas de hormigón liviano, para la colocación de tubos de drenajes y similares (Miles, 2006).

El Poliestireno Expandido es un material versátil que tiene una diversidad de aplicaciones, tales como:

- Aislamiento térmico de elementos constructivos (aislamiento térmico exterior e interior de la envolvente en edificación).
- Aislación para losas radiantes de entrepisos de edificaciones.
- Hormigones y rellenos livianos para sobrelosas.
- Absorción de vibraciones producidas por el transporte ferrocarril, urbano y afines.
- Paneles prefabricados diversos para su uso en viviendas y en la industria frigorífica.
- Piezas y moldes para materializar formas y complementar obras de moldaje.
- Complemento de materiales para aliviar estructuras, como por ejemplo: bóvedas, encofrados perdidos entre otros.

- Aplicaciones geotécnicas, para la protección de carreteras frente a las bajas temperaturas y la conformación de terraplenes livianos para la reducción de asentamiento y tensiones de empuje de los estribos de puentes, viaductos, y obras afines, ampliación de obras civiles y revestimiento vertederos (Miles, 2006).

### 2.5.3. Piedras Pómez o Pumita

Material de origen volcánico, de estructura celular esponjosa, obtenida naturalmente por distensión de la materia bajo la acción de una fuerte presión de gas en su interior y un enfriamiento rápido.

Se le encuentra en bancos de uno o más metros de espesor, mezclada con cenizas volcánicas, la cual puede ser retirada mediante lavado y flotación.

Las piedras pómez básicamente la componen óxidos de sílice, calcio, aluminio y fierro. Su estructura está compuesta por partículas vítreas con un alto contenido de sílice superior al 50%. Las características físicas como: Color (blanco grisáceo, ceniza amarillenta), textura (porosa, esponjosa o espumosa. Escoriácea, con muchos huecos y cavidades) y brillo (Piedras Pómez frescas son de brillo sedoso)



**Figura 2. 9 Características Morfológicas de piedra Pómez, Fuente: Elaboración Propia**

Las piedras pómez mezcladas con arena silícea o arenas de pómez y cemento portland originan hormigones livianos de calidad, de densidades entre 650 a 1.600 kg/m<sup>3</sup>.

Dado las condiciones de vacío que posee en su interior las piedras pómez son un buen aislante térmico, aumentando su uso en construcción de viviendas, dando buenas condiciones de habitabilidad.

Chile es uno de los países donde se puede encontrar en yacimiento.

## 2.6. Placas como Revestimientos

Las placas aportan protección a uno o varios planos que delimita una superficie de un local o una fachada, lo que se busca de un revestimiento es un óptimo desempeño, fácil y rápida instalación, además de protección y propiedades como resistencia al: impacto, flexión, fuego, actuando como material aislante (López, 2013).

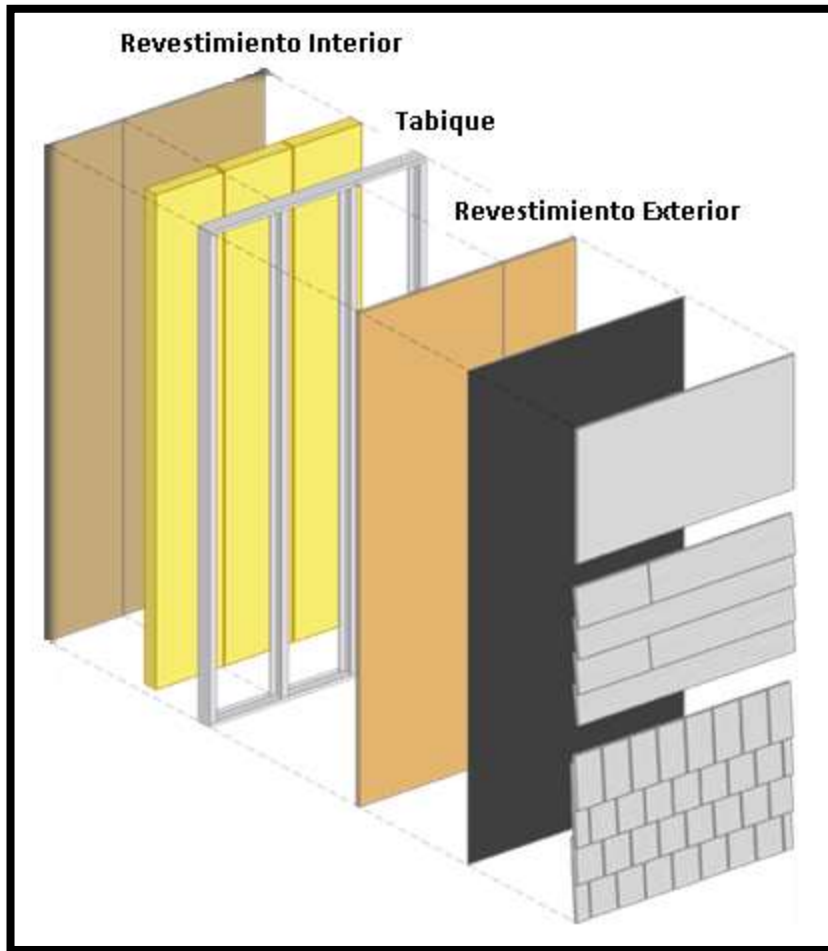


Figura 2. 10 Protección de Tabique con Placas, fuente: Elaboración Propia

Por otro lado también se deben considerar las preocupaciones de orden estético, al buscar una valoración estrictamente decorativa (Cusa, 1995).

## 2.7. Material Compuesto

Cada vez que surge un material compuesto es por la intención de mejorar las propiedades de uno existente, ya que por sí solo no se pueden obtener ciertas características. De esta composición se pueden obtener combinaciones de rigidez, resistencia a la corrosión, conductividad, resistencia, rendimiento a altas temperaturas.

Un material compuesto debe presentar ciertas características como estar formado por dos o más micro o macro componentes que físicamente son distinguibles y separables mecánicamente, ser

completamente insolubles entre sí, sus propiedades deben ser mayor que la suma de las propiedades de los componentes por separado.

Conjugando y complementando las propiedades de los mismos, uno asume el rol de matriz y el otro de refuerzo; un ejemplo claro de esto es el nacimiento del hormigón armado, cuya matriz es el hormigón y su refuerzo el acero (Gómez, 2008).

De esta manera los materiales compuestos se clasifican en tres tipos que se detallan en la Figura 2.11: (a) con Partículas, (b) con Fibras y (c) Laminares o Sándwich. La estructura de las placas es de un material compuesto, conformando por fibras del tipo laminar o sándwich.

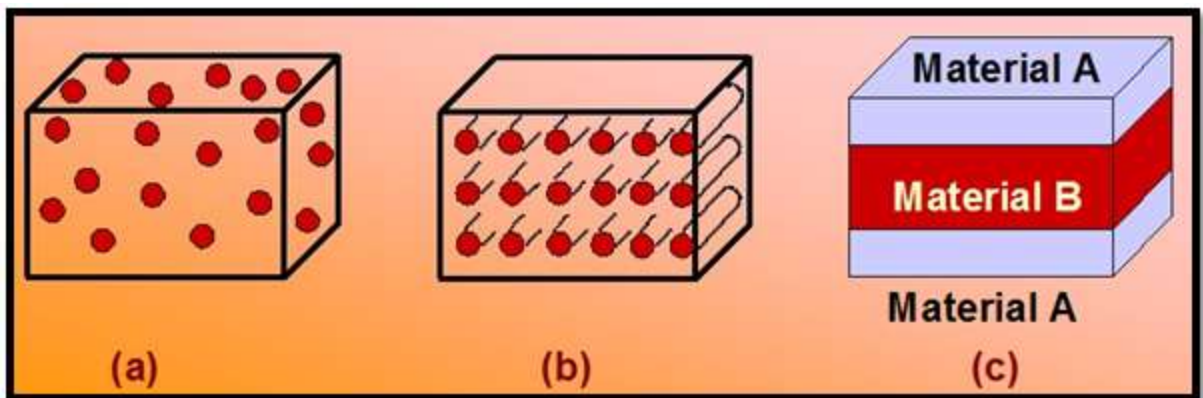


Figura 2.11 Clasificación de Materiales Compuestos, Fuente: Elaboración Propia

### 2.7.1. Material Compuesto Laminares o Sándwich

Existe una gran variedad de materiales compuestos laminares o sándwich, pero en todos estos se pueden distinguir las siguientes fases:

- Agente reforzante o Piel: de carácter discreto y su geometría es fundamental al momento de definir las propiedades mecánicas del material.
- Matriz o Núcleo: tiene el carácter de continuo y es responsable de las propiedades físicas. Es capaz de transmitir los esfuerzos al agente reforzante.

Uno de los materiales de uso común en la construcción de viviendas son las placas de yeso cartón, éstas forman un material compuesto con la configuración de placas tipo sándwich en su diseño.

La piel de esta placa, conformada por papel, debe estar perfectamente adherida a las caras del yeso (núcleo), cumpliendo principalmente la función de resistir la deformación perpendicular al plano de la cara, dar resistencia al cizalle a lo largo de los planos perpendiculares a las caras, debe resistir los esfuerzos de tracción, debe proteger el núcleo ya que este es el que aporta la rigidez y resistencia al esfuerzo cortante (De Villanueva et al., 1994).

### 2.7.2. El Papel

El papel esta hecho principalmente de celulosa, que es un polisacárido presente en la membrana celular de todos los vegetales. Los troncos que se usan en la fabricación del papel son aquellos con mayor cantidad de celulosa y al mismo tiempo da mejor calidad de papel.

Las propiedades del papel, se pueden agrupar en propiedades mecánicas y propiedades visuales. La propiedad mecánica más importante del papel es la rigidez, esto depende de las fibras que lo forman, el papel fabricado con mayor cantidad de fibras largas (3 milímetros) será más rígido que aquel que es elaborado con fibras cortas (1 a 2 milímetros). Otro factor que afecta a la rigidez del papel es el tipo de pulpa de celulosa.

La pulpa está hecha a base de madera, que es utilizada en la fabricación de papel. Las maderas usadas con este fin son conocidas como maderas pulpables, que generalmente son maderas blandas como la Picea, Pino, Abeto y el Alerce, pero también maderas duras como el Eucaliptus y el Abedul (Carozzi, 2010).

Quien aporta mayormente rigidez al papel, es la pulpa mecánica por encima de la pulpa química.

Otras propiedades mecánicas son: resistencia al rasgado, resistencia superficial y resistencia a la absorción de agua.

Propiedades visuales que se distinguen en el papel son: color, brillo, tersura y opacidad del papel.

Por último, otra propiedad física del papel es el gramaje, indica el peso en gramos por metro cuadrado de papel, dando estabilidad dimensional, al no variar sus dimensiones originales, cuando varían las condiciones ambientales o al verse sometido a esfuerzos y la humedad que es el contenido de agua como porcentaje del peso total del papel.

El papel para placas yeso-cartón, es un papel de alta resistencia que revisten ambas caras al complejo compuesto por un núcleo de yeso y aditivos especiales, estos papeles son producidos 100% con fibras recicladas (Empresas CMPC, 2010), mostradas en la siguiente figura.

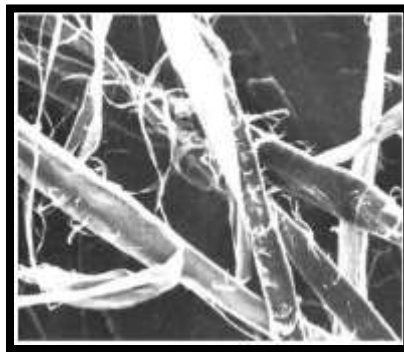


Figura 2. 12 Fibras largas de papel de pulpa mecánica (200 aumentos), fuente: (Carozzi, 2010)



### 2.7.3. Material Compuesto con fibra

La idea de reforzar un material con fibras, se remonta décadas anteriores; en el antiguo Egipto se incorporaba paja a suelos arcillosos para confeccionar ladrillos, esto le confirió una mayor resistencia y por lo tanto una buena manejabilidad después de la cocción al sol (Maccaferri, 2008).

En los últimos años la incorporación de fibras a los hormigones y morteros ha sido de gran ayuda para mejorar las propiedades de éstos. “La incorporación de fibras como refuerzo al esfuerzo de corte aumenta la ductilidad del hormigón, permitiendo mayores deformaciones que un hormigón convencional. Se observa que la capacidad de absorber energía de los hormigones, cuantificada a través de la tenacidad, se incrementa más de tres veces cuando se incorporan fibras y no se tienen roturas frágiles. Por lo tanto, la incorporación de fibras como refuerzo es una buena solución para mejorar la respuesta del hormigón ante solicitaciones de corte” (Carmona & Cabrera, 2009).

En la actualidad se están empezando a emplear fibras artificiales que se obtienen como excedentes de procesos industriales y son susceptibles a ser utilizadas como mejora de diferentes materiales de construcción.

Se consideran fibras, aquellos cuerpos cuya longitud es mucho mayor que su grosor. Las fibras cumplen la función de refuerzo y estas pueden ser de tipo continuo y discontinuo: En las fibras discontinuas son cortas y de forma aleatoria, en cambio las fibras continuas son largas y tejidas y se distribuyen en orden laminar.

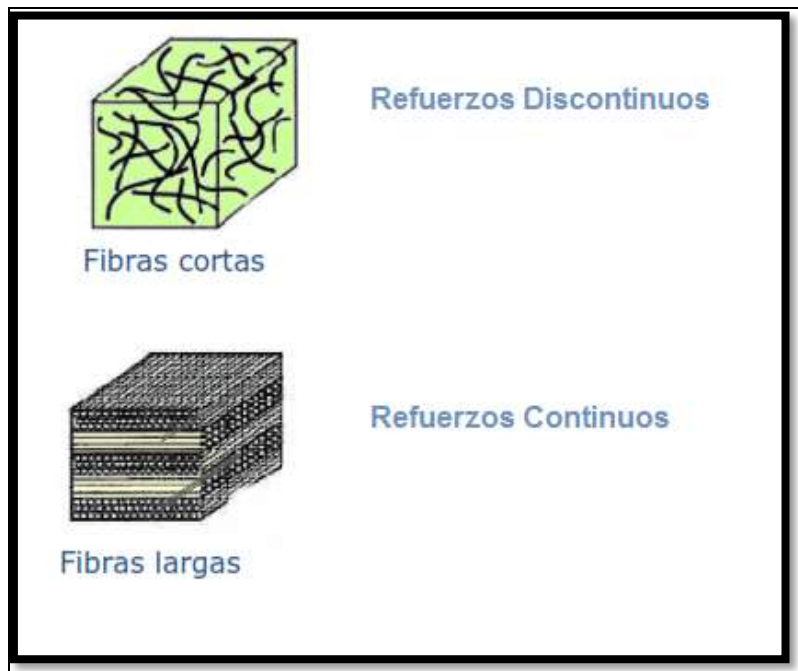


Figura 2. 13 Configuración Fibras, Fuente: (Barbero et al., 2011)

Algunos materiales tradicionales de la construcción se refuerzan con fibras con el fin de obtener ciertas propiedades que mejoren el producto final. Los materiales a los se le suele agregar fibras son los derivados del cemento: hormigones proyectados, soleras, prefabricados de yeso.

El incorporar fibras para producir un material compuesto genera un aumento en las propiedades mecánicas como resistencia a la compresión, flexión, tracción, adherencia, también aumenta la relación resistencia – peso. Las fibras pueden ser naturales, de vidrio, cuarzo, kevlar, carbono.

#### **2.7.4. Micro fibra de Polipropileno**

Es una fibra del tipo poliméricas (fibras plástica), el objetivo es agregarla a la mezcla para evitar la micro fisuración, provocada como consecuencia de la retracción en el proceso de endurecimiento de la mezcla. (Moraño & Gullén, 2010; Moraño & Gullén, 2010).

Canales (2010), con la intención de mejorar un material incorpora  $1.200 \text{ g/m}^3$  de micro fibra de polipropileno a una mezcla de suelo cemento fabricando bloques para realizar ensayos a compresión, cizalle, absorción de agua y flexión. En el análisis de resultados se observó que una de las propiedades que más incrementaba era la de flexión, en más de un 35% a los 28 días.

Por lo anterior, López (opcit, 2013) incorpora microfibra de polipropileno en la mezcla de suelo cemento, logrando brindar mejores propiedades: resistencia a la flexión, impacto, humedad e ignífuga, de las placas de suelo cemento, en comparación con placas de yeso cartón ST de 15 mm de espesor.

Dado los resultados obtenidos por López, se considera la utilización de la misma dosificación de microfibra de polipropileno “FIBERMESH 150”.

En la figura 2.14 se ilustra el comportamiento de las placas de suelo cemento, con una dosificación de  $1500 \text{ g/m}^3$  de microfibra de polipropileno (en línea roja), frente a las placas de yeso cartón (líneas negras), donde se aprecia claramente que todas las placas de suelo cemento se comportan de manera muy similar a las placas de yeso cartón, ensayadas transversalmente al sentido de la plancha, éste fenómeno se debe principalmente al papel que cubren las placas de yeso cartón comportándose de diferente manera dependiendo de la orientación (López, 2013).

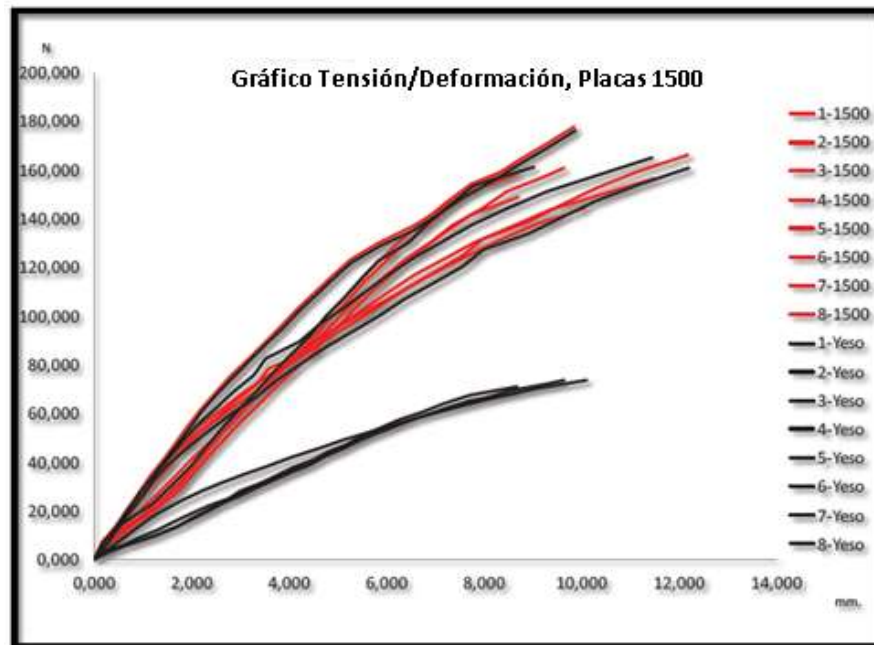


Figura 2. 14 Tensión Deformación 1500 g/m<sup>3</sup> de microfibra, Fuente, (López, 2013)

## 2.8. Promotor de Adherencia

También llamados adhesivo o pegamento, son aquellas sustancias capaces de unir a otras por contacto superficial. Se pueden clasificar según su tipo en: Adhesivos inorgánicos y adhesivos orgánicos: dentro de estos últimos están los naturales y los sintéticos.

Uno de los problemas a resolver de ésta investigación es la adherencia entre el núcleo y la piel, ya que condiciona las propiedades físico-mecánicas de las placas fabricadas con suelo cemento. En las placas fabricadas por López (2013), se utilizó como promotor de adherencia Sika Látex para hormigones. Éste material no cumplió con los requerimientos necesarios. Es por esto que en el trabajo de investigación de López, se propone como futuras investigaciones la solución a la adherencia entre el núcleo y la piel, el cual se desarrollará en el capítulo 4 de esta investigación.

## CAPÍTULO III: PROGRAMA DEL DESARROLLO EXPERIMENTAL

### 3.1. Etapas previas a la confección de las placas

Consiste en la extracción del suelo ya establecido que cumpla con los requisitos indicados en el capítulo II, este tipo de suelo se encuentra en camino La Pólvara, Valparaíso. Se realizarán ensayos al suelo, para corroborar que cumpla con las características del suelo ocupado en una primera instancia.

#### 3.1.1. Granulometría de los agregados livianos

Se considera un tamaño máximo de los agregados livianos hasta 2,5 mm de diámetro, dado que en dimensiones mayores el agregado liviano produce fisuración en las probetas. No es recomendable el uso de dimensiones mayores a las mencionadas, ya que mientras mayor es la dimensión, mayor es la deformación producto de la compactación. Posteriormente, éstas recuperan su forma inicial fracturando las probetas (Miles, 2006).

#### 3.1.2. Ensayos al Suelo

Los ensayos a realizar al suelo a extraer se realizarán en los laboratorios de Mecánica de Suelo de la Universidad de Valparaíso.

El suelo debe extraerse a más de 40 cm bajo la superficie, para así evitar que tenga materia orgánica. Se extraerá aproximadamente 1 m<sup>3</sup>.

Los ensayos a realizar al suelo son: ensayo de límite de Consistencia y Granulometría.

##### 3.1.2.1. Granulometría del Suelo.

El suelo extraído desde el camino La Pólvara, se someterá a análisis granulométrico basado en la normativa Chilena NCh 165 of. 77. El suelo para la confección de las placas debe cumplir con los siguientes requisitos.

Tabla 3.1 Granulometría optima, Fuente: (López, 2013)

Requisito	%
Material bajo el malla N°10	100%
Material retenido en malla N°200	70% ± 5%
Material bajo malla N°200	30% ± 5%

##### 3.1.2.2. Límite de Consistencia

El suelo tamizado se someterá a ensayos establecidos en la normativa chilena NCh 1579 Of. 79, este debe estar dentro del parámetro dado en el ítem 2.5., donde señala el estabilizador indicado para cada tipo de suelos.

### **3.2. Variables**

Análisis de las variables independientes y dependientes relacionados a la investigación, para establecer las propiedades de la placa.

#### **3.2.1. Variables Independientes**

A considerar como variable independiente son los agregados livianos, que son: Las Perlitas expandidas (PE), Perlitas de Polipropileno expandido (EPS) y Piedras Pómez (PP).

El resto de los componentes se mantiene constantes, cemento al 12%, agua al 22% y micro fibra de Polipropileno en cantidad de  $1.500 \text{ g/m}^3$  de suelo (López, 2013).

#### **3.2.2. Variables Dependientes**

Estas variables son los datos que se obtendrán mediante los ensayos establecidos por la normativa Chilena vigente NCh 146/2 of. 2000 y ensayos termo – acústico, acondicionados por (López, 2013) en comparación a la tendencia entre las placas de yeso cartón y las placas de suelo cemento.

### **3.3. Confección de las placas**

Las placas se confeccionarán con tres tipos de agregados livianos, los cuales son: Perlita expandida, Perlitas de Poliestireno expandido y Piedras Pómez, la dosificación de agregados livianos será de 10% y 20%, donde se reemplazará directamente volumen de suelo por volumen del agregado liviano, el cual será agregado a la mezcla en el proceso de elaboración. Estos porcentajes están relacionados con los recomendados según la bibliografía y los resultados obtenidos por López (2013). Este porcentaje se reemplazará directamente en volumen de suelo por volumen de agregados livianos.

El agua como material hidratante de cemento responde a las exigencias establecidas en la normativa Chilena NCh 1948 of. 82. En esta experiencia se utilizará agua potable de la red pública de la ciudad de Valparaíso.

Las probetas se elaborarán sobre una base plana y nivelada, usando un marco o molde metálico de dimensiones interiores de 30 x 40 cm, con un espesor de 15 mm.

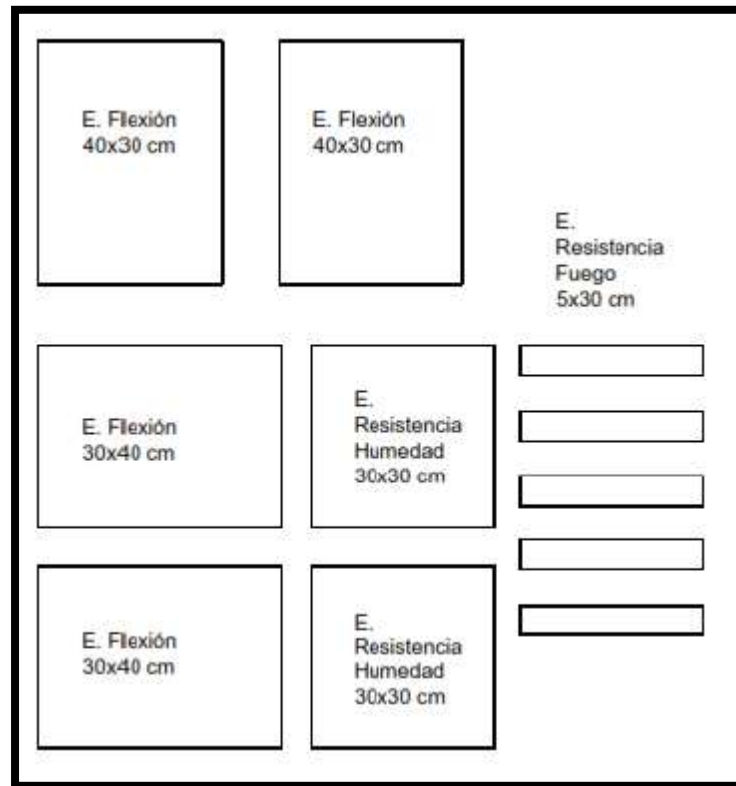


Figura 3. 1 Dimensiones de Probetas para ensayos según NCh 146, Fuente: Elaboración propia

### 3.4. Proceso de Fraguado y Curado

El tiempo de fraguado del cemento es muy importante en el suelo cemento, por tal razón las operaciones de mezclado y confección deben desarrollarse y terminarse antes que el proceso se inicie, o sea dentro de un periodo de dos horas.

Para asegurar un curado eficiente, las probetas deben ser almacenadas con una adecuada protección del sol y de la lluvia.

Las probetas se colocarán aisladas del terreno y sobre una superficie plana y seca.

El proceso de curado de las probetas debe ser lento y sin cambios violentos de temperatura. Por lo tanto, la pérdida de humedad en las primeras 24 horas de su fabricación debe ser controlada, de manera que no se produzca una eliminación brusca y total, que afecte la calidad del material.

Pasada las 24 horas las probetas se someten regularmente a riego de agua con un aparato difusor, en forma de lluvia fina a baja presión. Manteniendo el riego hasta los ocho días (Miles, 2006).

### 3.5. Probetas y Ensayos

Todos los ensayos que se realizarán a las placas de suelo cemento están referidos a la normativa vigente, NCh 146/2. Of 2000, aplicados a las planchas de yeso-cartón. La norma mencionada hace referencia a los siguientes ensayos:

- Resistencia a la Flexión
- Resistencia al Impacto.
- Resistencia a la Absorción de Humedad.
- Cohesión del Núcleo a Altas Temperaturas.

Se definirán parámetros de comparación entre las placas de Suelo Cemento y las placas de Yeso-Cartón, sometidas a iguales condiciones, pasando por una sala acondicionada la cual mantiene la temperatura y humedad relativa del aire constante. Las placas, además se someterán a ensayos que permitan establecer propiedades acústicas y térmicas, ya que las placas en su fase inicial de diseño fueron sometidas a éstos ensayos.

Las dimensiones y cantidades de probetas dependen directamente del tipo de ensayo a las que serán sometidas, según la norma chilena NCh 146/2 of2000, para cada dosificación del agregado liviano.

Todas las probetas deben ser acondicionadas, sometiéndolas a una temperatura entre los 17°C y 22°C con una humedad entre 55% a 65%, durante 12 horas. Se debe chequear su peso, hasta que en dos mediciones sucesivas no haya una variación menor o igual al 0,1% de su peso, según la normativa Chilena NCh 146/2 of2000.

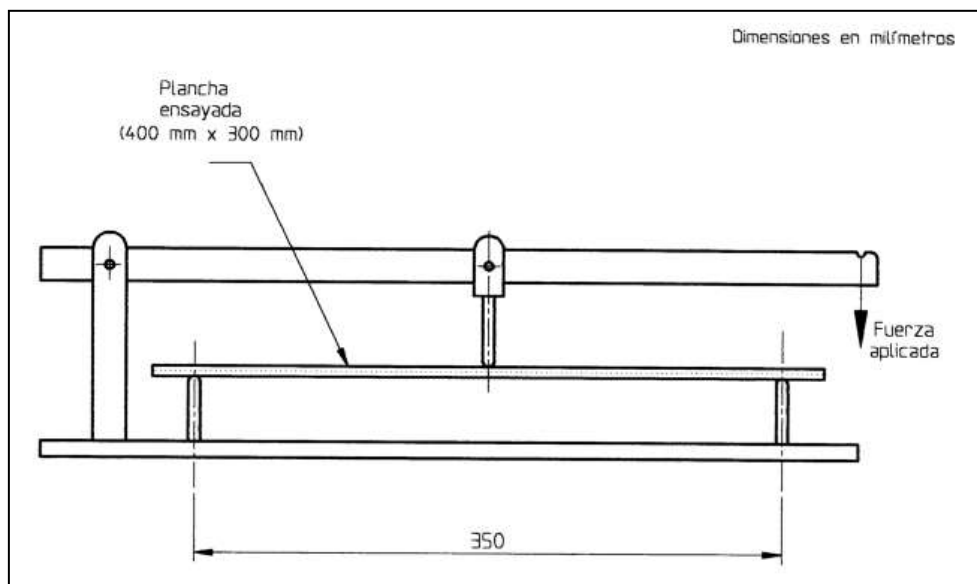
#### 3.5.1. Ensayo a la Flexión

Se debe cortar cuatro probetas de 300x400 mm  $\pm$  5 mm de variación, dos de ellas en sentido longitudinal y las otras dos en sentido transversal a la placa, en sectores a más de 100 mm del borde de ésta.

Este ensayo, se puede realizar con dos tipos de máquinas.

Máquina A: Máquina universal para efectuar compresión, en intervalos de 100 N y 1.000 N.

Máquina B: Máquina de Flexión. Ilustración del esquema de la Maquina B.



**Figura 3.2 Esquema de máquina para determinar la Flexión, Fuente (Instituto Nacional de Normalización, 2000)**

Los apoyos y la superficie de esta máquina deben estar nivelados, los bordes de cada apoyo deben estar redondeados con un radio de 3 mm. La carga se debe aplicar con un incremento uniforme de 250 N/min  $\pm$  20%, hasta que se produzca la rotura.

Se deben considerar las cuatro orientaciones de la placa.

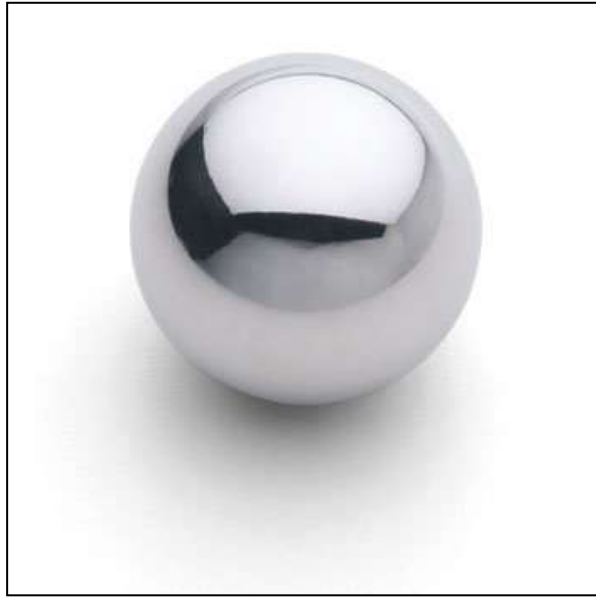
- Carga aplicada perpendicularmente al borde longitudinal y sobre la cara.
- Carga aplicada perpendicularmente al borde longitudinal y sobre el dorso.
- Carga aplicada paralelamente al borde longitudinal y sobre la cara.
- Carga aplicada paralelamente al borde longitudinal y sobre el dorso.

### 3.5.2. Resistencia al impacto

Se realizará este ensayo con una bola de acero normalizada de 50 mm  $\pm$  1 mm de diámetro y 530 g  $\pm$  20 g de masa, sobre una probeta de cada placa de la muestra, de 300x300 mm  $\pm$  5 mm.

Se deben tomar dos medidas en cada probeta, dejando caer la bola en caída libre, desde una altura de 500 mm  $\pm$  10 mm, se medirá el diámetro dejado por la huella de la bola con un pie de metro con resolución de 1 mm. El valor final será el promedio aritmético entre las dos medias.





**Figura 3.3 Bola de acero, Fuente: Elaboración Propia**

### **3.5.3. Resistencia a la humedad**

Se preparará una probeta de 300 x 300 mm ± 1 mm, cortándola desde el centro de la placa de la muestra, entre ambos bordes longitudinales y a más de 150 mm del borde transversal, sin dañar el cartón.

Cada probeta se pesará en una balanza con resolución de 0,1 g, después se sumergirá en forma horizontal en agua, la que estará a temperatura de 21 °C ± 0,5 °C. La probeta estará sumergida a una altura de 25 mm ± 1 mm en el agua. Después de dos horas transcurridas desde que se sumergió la probeta, se retirará eliminando el exceso de agua superficial con el papel y pesar inmediatamente en la misma pesa donde se comenzó el ensayo.

Se determinará el porcentaje de agua mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de Agua Absorbida} = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100$$

$m_0 = \text{masa inicial}$

$m_1 = \text{masa final}$

**Ecuación 3.1. Porcentaje de absorción de agua, Fuente: (Instituto Nacional de Normalización, 2000)**

### 3.5.4. Ensayo de Cohesión del Núcleo a Altas Temperaturas

Se trata en someter 5 probetas de 50 x 300 mm a fuego directo, por cada porcentaje del agregado liviano que se incorporó en la mezcla.

Se perforan las probetas con un diámetro de 3 mm en los extremos más lejanos entre sí. Colgando cada probeta desde un apoyo fijo y se aplicará una fuerza de 22 N en el extremo inferior, para después fijar dos mecheros Merker a 6 cm de distancia de las caras de la placas y dos termocupla tipo K a dos centímetros de las mismas caras.

La temperatura medida por la termocupla debe estar a  $970 \pm 40$  °C a los tres minutos comenzado el ensayo y permanecer dentro del rango.

Este ensayo se explica detalladamente en el Anexo A.

### 3.5.5. Ensayo de Transmisión Temperatura en las Caras

Ensayo desarrollado por (López, 2013), cuya finalidad es establecer un patrón de comparación entre una placa de yeso cartón de 15 mm de espesor y las placas estudiadas en esta investigación.

Se basa en someter las probetas de las placas a una diferencia de temperatura entre las dos caras. Para esto se requiere una cámara fabricada con melamina o terciado de 15 mm de espesor, las dimensiones interiores son: 100 cm de largo, 40 cm de ancho y 30 cm de alto. Todas las caras interiores de la cámara estarán cubiertas por lana de vidrio, así asegurar la aislación térmica.

Para generar la temperatura se instalará una ampollita incandescente estándar capaz de producir calor, en la parte superior de la cámara a 25 cm del borde transversal derecho y a 20 cm del borde longitudinal.

Se instalará una probeta de largo de 39 cm por 30 cm de ancho en el centro de la cámara, dividiéndola en dos partes iguales.

Para la medición de cada probeta según los porcentajes de agregado liviano, se utiliza el equipo Xplorer GLX de Pasco, con los sensores de temperatura superficial PS-2131 (figura 3.4). Los sensores se instalan en contacto directo con cada cara de la probeta que se está ensayando.



Figura 3.4 Equipo Xplorer y sensores de temperatura, Fuente: (Pasco, 2012)

### 3.5.6. Ensayo de Acústico

Ensayo desarrollado por (López, 2013), persigue, al igual que el ensayo anterior, en establecer un patrón de comparación entre las placas.

Se usará la misma cámara que se utilizó en el ensayo de temperatura en las caras y en las mismas condiciones.

Las mediciones se realizarán a través del equipo Xplorer GLX de Pasco con el sensor PS-2109 (figura 3.5), que registra los datos en dB(A) del ruido rosa emitido desde una fuente.

Se instalarán un par de parlantes en un extremo de la cámara y en el extremo opuesto el equipo ya mencionado con los sensores de sonido. Se reproducirá un ruido rosa para medir la intensidad sin las probetas divisorias y con la probeta divisoria.

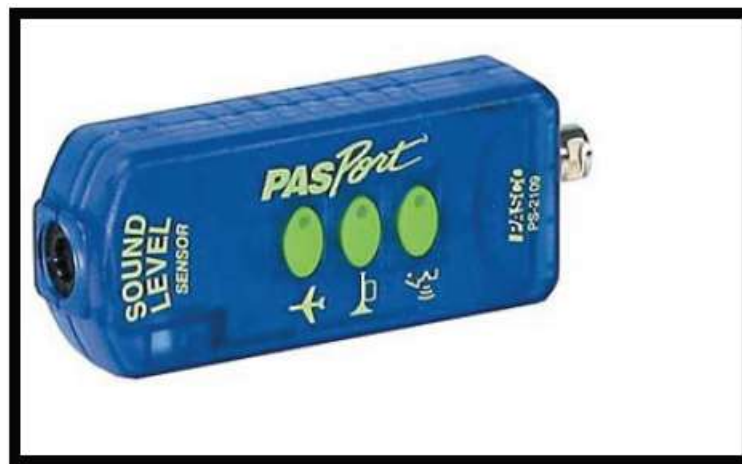


Figura 3.5 Sensor de sonido para Xplorer GLX, Fuente: (Pasco, 2012)

## 3.6. Diseño de la placa

### 3.6.1 Dimensión de la placa

Las dimensiones para las placas de suelo cemento están basadas en la configuración de una placa tipo sándwich, placa de yeso cartón de 15 mm de espesor.

Espesor de la piel ( $e_p$ ) = 0,5 (mm).

Espesor del núcleo ( $e_n$ ) = 14 (mm).

Espesor del adhesivo ( $e_a$ ) = 0,1 (mm).

Las dimensiones de las placas se establecen para cumplir con los requerimientos establecidos por la O.G.U.C., que determina las normativas para la construcción de diafragmas o tabiques, éstas son:

1. La separación entre los pies derechos no pueden ser mayor a 0,5 metros, entre ejes.
2. La separación máxima entre ejes de travesaños, entre ellos y la solera, será de 0,65 metros.
3. La altura como mínimo del nivel de piso terminado a cielo para viviendas, oficinas o lugares destinados a hospedajes es de 2,3 metros.
4. Los diafragmas de fachadas no podrán tener más de 3,0 metros de alto, medido entre los ejes de las soleras (Ministerio De Vivienda y Urbanismo, 2011).

Basado en las condiciones anteriores, en la primera fase de desarrollo de la placa se determinó que las dimensiones de la placa a fabricar, serán 100 centímetros de ancho por 120 centímetros de alto con un espesor de 15 milímetros. Estas proporciones están pensadas para poder ser manipuladas por una persona sobre una estructura que posea, idealmente, pies derechos a 50 centímetros entre ejes y un travesaño central con su eje a 1,2 metros desde el piso, de esta forma generar el encuentro y fijación de la placa (figura 3.6).

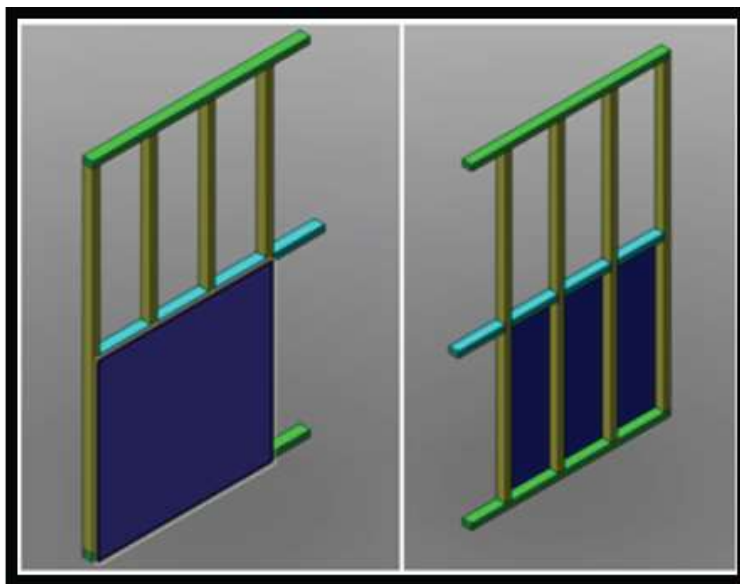


Figura 3. 6 Esquema 3D de la Tabiquería, Fuente: (López, 2013)

Un factor fundamental es el peso de la placa, por lo que en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción establece que no puede pesar más de 50 kilogramos para ser transportada por un solo hombre, según la ley 20.001 del año 2005.

### 3.6.2. Materiales para confección de la placa

Siguiendo el trabajo desarrollado por López (2013), dado los resultados obtenidos de los ensayos realizados a las placas de Suelo Cemento, los materiales en esta segunda fase del desarrollo son:

- **Suelo:** con clasificación AASHTO A-2-4.
- **Cemento:** Portland puzolánico, distribuido bajo el nombre comercial de “Especial” de la empresa Polpaico.
- **Micro fibra:** de Polipropileno del tipo discontinua (fibras cortas), con el nombre comercial de FIBERMESH 150.
- **Papel:** de fibras largas y de resistencia mecánica con un gramaje de 200 g/m<sup>2</sup>.
- **Promotor de adherencia:** nombre comercial de Cola fría Solcrom.
- **Perlita expandida:** de origen mineral, comercializado por Harbolite.
- **Perlita de poliestireno expandido:** Isopack.
- **Piedra Pómez:** de origen mineral, comercializado por Áridos Caribbean.

### 3.7. Análisis y Conclusiones

En esta última etapa, se analizarán los resultados obtenidos de todas las probetas ensayadas en el laboratorio, donde se compararán las placas de yeso cartón estándar de 15 mm de espesor que se encuentran en el comercio y las placas diseñadas en esta investigación. Los análisis de estos ensayos son de carácter comparativo. Así evaluar la hipótesis planteada en esta investigación.

## CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1. Desarrollos de ensayos

La materialización de las placas de suelo cemento y los ensayos fueron realizados como se indica en los laboratorios de la Escuela de Construcción Civil de la Universidad de Valparaíso. Cada uno de estos ensayos se apoyan en las normativas vigentes y siendo acotados solo por las condiciones que exija el estudio en cuestión.

### 4.2. Ensayos a Suelos

Para el desarrollo de la experiencia se consideraron los ensayos sobre el suelo natural, el cual consiste en la Granulometría y Límites de Consistencia, estos entregan las características físicas y mecánicas propias de cada suelo.

- Granulometría: La muestra de suelo fue sometida a análisis granulométrico para determinar la cantidad porcentual de arena, limo y arcilla que posea. Este ensayo se llevó a cabo según lo estipulado en la normativa Chilena NCh 165 of.77 referida al tamizado y determinación de la granulometría de los suelos.
- Límites de Consistencia: La muestra de suelo fue sometida a ensayos para la determinación de los límites de consistencia, según los procedimientos establecidos en la NCh 1517 of. 79. Con los datos obtenidos se calcula el límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad.

Se consideró la recolección del suelo en la ruta 60 camino La Pólvara, con el cruce del camino F-730 específicamente a 5,5 kilómetro de la ruta 68 autopista de Pacífico dirección poniente, según se muestra en Figura 4.1.



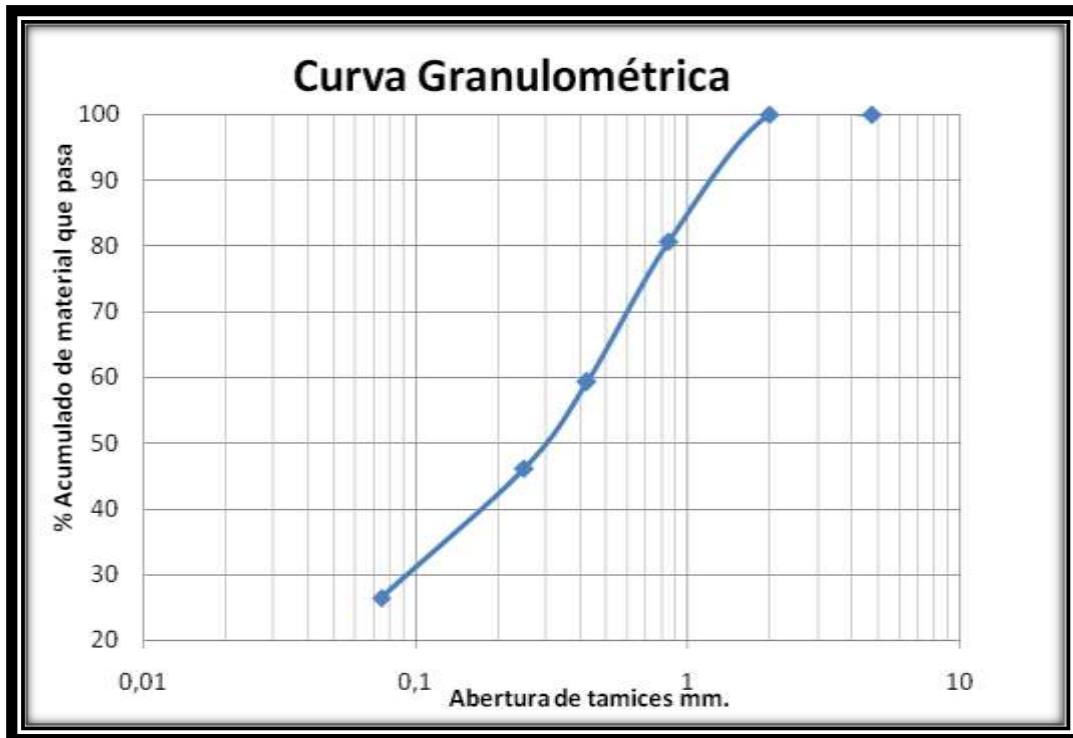
Figura 4.1 Ubicación de la extracción de Suelo, Fuente: maps.google.cl

Para la granulometría del suelo se debió considerar una masa de 500 g de suelo en estado seco al horno por 24 hr y luego tamizado bajo la malla 10 (2,00 mm). En la siguiente tabla, se presenta la granulometría de la muestra de suelo.

**Tabla 4.1 Granulometría Suelo Camino La Pólvara. Fuente, Elaboración Propia**

Tamiz mm.	Nº Tamiz	Peso retenido grs.	% retenido	% ret. Acumulado	Peso que pasa grs.	% que pasa
2,00	10	0	0	0	500	100
0,840	20	96,59	19,32	19,32	403,41	80,68
0,420	40	106,74	21,35	40,67	296,67	47,87
0,250	60	66,18	13,24	53,90	230,49	22,07
0,074	200	98,51	19,70	73,60	131,98	5,83
residuo		131,98	26,40			
$\Sigma$		500				

De la Tabla 4.1 se puede extraer los porcentajes de arena y fino presente en el Suelo natural del Camino La Pólvara, el cual concentra un porcentaje del 73,6% de arena y un 26,4% de fino. Lo cual se representa en la siguiente figura.



**Figura 4.2 Curva Granulométrica Suelo camino La Pólvara, fuente: Elaboración Propia**

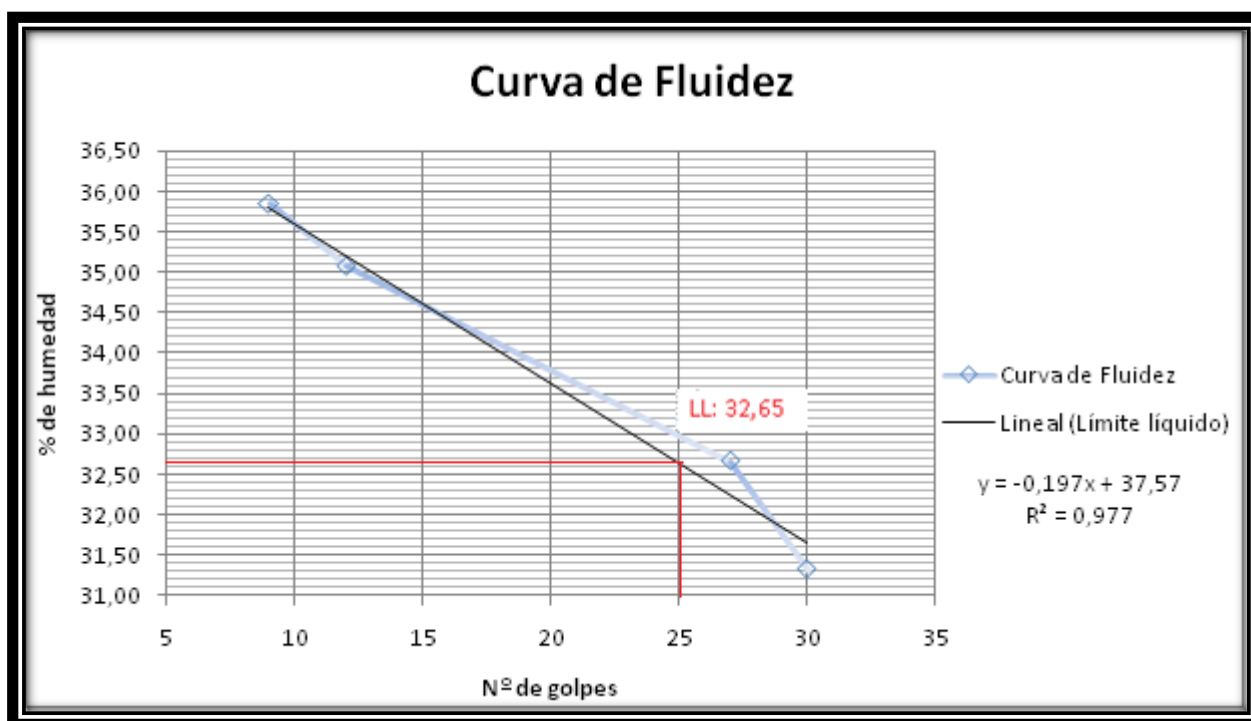
Para conocer las propiedades que aportan las partículas finas (limo y arcilla) se realizaron los ensayos de Límite de consistencia, que constan de dos partes: determinación del límite líquido y determinación del límite plástico.

Para analizar el límite líquido, el suelo se tamizó bajo la malla nº 40 (0,420 mm) y saturado por 24 hr.

**Tabla 4.2 Límite Líquido Suelo Camino La Pólvara. Fuente, Elaboración Propia**

Ensayos	nº de Golpes	P Húmedo (g)	P Seco (g)	P Cápsula (g)	% de Humedad
1	9	26,99	22,06	8,31	35,85
2	12	25,78	20,71	6,26	35,09
3	27	19,62	16,33	6,26	32,67
4	30	25,03	21,48	10,15	31,33
5	40	17,11	15,05	6,77	24,88

El ensayo nº 5 no se consideró dado que no es representativo en el gráfico de % de humedad versus nº de golpes.



**Figura 4.3 Límite Líquido Suelo Camino La Pólvara. Fuente, Elaboración Propia**



Límite Plástico realizado al suelo para verificar que cumpla las condiciones necesarias.

**Tabla 4.3 Límite Plástico Suelo Camino La Pólvora. Fuente, Elaboración Propia**

Ensayos	Cápsula	P Húmedo (g)	P Seco (g)	P Cápsula (g)	% de Humedad
1	N	11,93	11,31	8,5	22,06
2	62	11,3	10,66	7,89	23,10
3	30	12,57	11,75	8,24	23,36
				L. plástico	22,84

En la siguiente tabla 4.4, se muestra en resumen, los límites de consistencia de suelo extraído de camino La Pólvora.

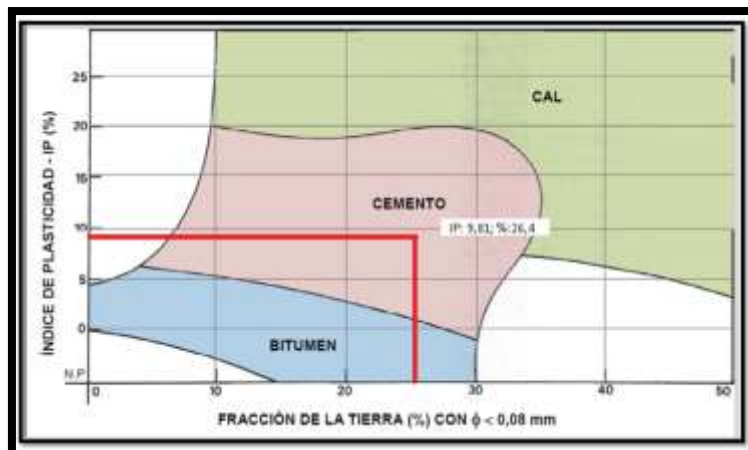
**Tabla 4.4 Resumen Límites de Consistencia, Fuente: Elaboración Propia**

PROPIEDADES	PORCENTAJE (%)
LÍMITE LÍQUIDO (LL)	32,65
LÍMITE PLÁSTICO (LP)	22,84
ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP)	9,81

Con los datos obtenidos, se puede decir que el suelo analizado corresponde al tipo A-2-4, según el sistema de clasificación AASHTO (párrafo 2.2).

En la Tabla 4.5 se muestra que el suelo extraído desde el camino la Pólvora, Valparaíso. Cumple con los requerimientos necesarios para ser estabilizado con cemento.

**Tabla 4.5 Datos Aplicados a Estabilizador adecuado, Fuente: Elaboración Propia**



### 4.3. Determinación de Humedad

Dado que el agua juega un papel importante en la mezcla de suelo cemento, se consideró el método de determinación del porcentaje de agua a incorporar por Miles, (2006).

- Oprimir entre las dos manos una porción de la mezcla hasta formar una bola lo más redonda posible.
- Desde una altura aproximadamente de 1.20 m dejar caer. Si se disgrega, el material no está en condiciones de ser usado y se debe incorporar más agua, pero si al caer la bola se aplasta sin disgregarse, la mezcla tiene la humedad adecuada. (Miles, 2006)

Esto tiene relación con el ensayo Proctor, el cual busca la densidad máxima compactada, cuando alcance la humedad óptima. No se logra la humectación necesaria para que el cemento reaccione y aporte al suelo la resistencia que se desea, incluso puede disminuir la resistencia que el suelo por sí solo puede alcanzar (Minke, 2001).

El porcentaje de humedad óptimo es de un 22% según el ensayo de la bola. El cual es similar al Limite Plástico que también es recomendado por (Toirac, 2008), el cual recomienda que el óptimo del porcentaje de agua es similar al Limite Plástico del suelo (LP = 22,84).



Figura 4. 4 Porcentaje de humedad, bola de Suelo cemento, Fuente Elaboración Propia

### 4.4. Confección de las Probetas

El proceso de la confección dio inicio con el tamizado del suelo con la malla N° 10 (según ASTM). El suelo a ocupar es el que queda debajo de esta malla y libre de materia orgánica. Y posteriormente se mezcla el suelo para asegurar las condiciones de homogeneidad, para luego certificar que todas las probetas tuvieron las mismas condiciones.



**Figura 4.5 Suelo Tamizado, Fuente Elaboración Propia**

Con el suelo tamizado y mezclado se procedió a la determinación de las densidades de: suelo, perlita expandida, EPS, Piedra Pómez. Para así determinar la dosificación de los materiales para la elaboración de las probetas. Considerando un 12% de cemento, un 22% de agua,  $1500 \text{ g/m}^3$  de microfibras.

Por otra parte, las Piedras Pómez fueron tratadas con la máquina de los Ángeles, para poder disminuir su diámetro. Este ensayo consistió en incorporar las doce bolas de acero con el número máximo de 500 revoluciones, para luego tamizar y determinar la granulometría, luego se determinó también la granulometría de la Perlita Expandida y EPS, que se muestran a continuación en las tablas 4.6, 4.7, 4.8.

**Tabla 4.6 Granulometría Perlita Expandida, Fuente: Elaboración Propia**

Granulometría Perlita Expandida				masa inicial grs.	49,86
Nº Tamiz	Peso retenido grs.	% retenido	% ret. Acumulado	Peso que pasa grs.	% que pasa
4	0	0	0	49,86	100
10	6,55	13,14	13,14	43,31	86,86
20	28,75	57,66	70,80	14,56	25,37
40	9,13	18,31	89,11	5,43	2,76
60	1,67	3,35	92,46	3,76	0,21
200	2,07	4,15	96,61	1,69	0,01
Bajo 200	1,69	3,39			
$\Sigma$	49,86				

Tabla 4. 7 Granulometría Piedras Pómez, Fuente: Elaboración Propia

Granulometría Piedras Pómez				masa inicial grs.	248,7
Nº Tamiz	Peso retenido grs.	% retenido	% ret. Acumulado	Peso que pasa grs.	% que pasa
4	0	0	0	248,7	100
10	37,26	14,98	14,98	211,44	85,02
20	35,84	14,41	29,39	175,6	60,03
40	46,69	18,77	48,17	128,91	31,12
60	51,33	20,64	68,81	77,58	9,71
200	65,72	26,43	95,23	11,86	0,46
Bajo 200	11,86	4,77			
$\Sigma$	248,7				

Tabla 4. 8 Granulometría EPS, Fuente: Elaboración Propia

Granulometría EPS				masa inicial grs.	7
Nº Tamiz	Peso retenido grs.	% retenido	% ret. Acumulado	Peso que pasa grs.	% que pasa
1/4"	0	0	0	7	100
4	2,45	35,00	35,00	4,55	65,00
8	4,55	65,00	100,00	0	0,00
10	0	0,00	100,00	0	0,00
20	0	0,00	100,00	0	0,00
40	0	0,00	100,00	0	0,00
60	0	0,00	100,00	0	0,00
200	0	0,00	100,00	0	0,00
Bajo 200	0	0,00			
$\Sigma$	7				

Luego se obtuvo los resultados de las granulometrías de los agregados livianos y del suelo, se procedió a la toma de densidades aparentes sueltas de estos elementos según el procedimiento de la NCh 1116 of. 77

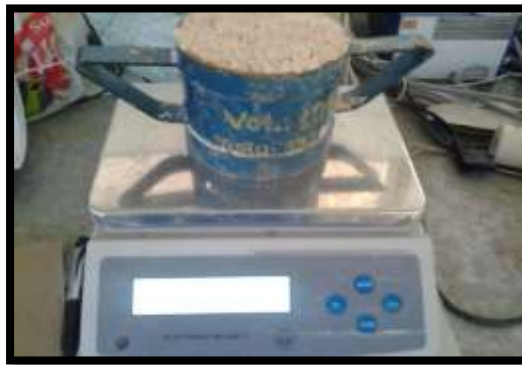


Figura 4. 6 Toma de densidad aparente Piedra Pómez, Fuente Elaboración Propia

**Tabla 4.9 Densidades Aparentes sueltas, Fuente Elaboración Propia**

Densidades aparente			
Material	Peso (kg.)	Volumen (m3)	Densidad (Kg/m3)
Suelo Suelto	0,9707	0,00104	933,37
Perlita Expandida	0,1176	0,00104	113,08
EPS.	0,0119	0,00104	11,44
Piedras Pómez	0,553	0,00104	531,73

Según estas densidades aparentes suelta presentadas en la tabla 4.9, se calculó el volumen y la dosificación para el reemplazo de agregado liviano en un 10% y 20% por suelo, el reemplazo correspondió a volumen de suelo por volumen de agregado liviano para ser incorporar en la mezcla.

En la tabla 4.10, se muestra la dosificación para el reemplazo de 10% de los agregados livianos y el resto de materiales que se ocuparon en la mezcla, esta dosificación está calculada para dos y cuatro probetas.

**Tabla 4.10 Dosificación para 10% de Agregado liviano, Fuente: Elaboración Propia**

Colada para 4 probetas de placas con 10% de agregado liviano			
Material 20% +	unidad	X 2	X 4
Suelo	grs.	6270,2	12540,4
Cemento 12%	grs.	950,4	1900,8
Agua 22%	grs.	1588	3176
Agua 25% Piedra Pómez (*)	grs.	1805	3610
Mocrifibra 1500 g/m3	grs.	7,3	14,6
Agregado liviano	ml.	749	1498

En la tabla 4.11, se muestra la dosificación para el reemplazo de 20% de los agregados livianos y el resto de materiales que se ocupan en la mezcla, esta dosificación está calculada para dos y cuatro probetas.

**Tabla 4.11 Dosificación para 20% de Agregado liviano, Fuente: Elaboración Propia**

Colada para 4 probetas de placas con 20% de agregado liviano			
Material 20% +	unidad	X 2	X 4
Suelo	grs.	5573	11146
Cemento 12%	grs.	950,4	1900,8
Agua 22%	grs.	1588	3176
Agua 27% Piedra Pómez (*)	grs.	1950	3754
Mocrifibra 1500 g/m3	grs.	7,3	14,6
Agregado liviano	ml.	1498	2996

(\*) Como ya se mencionó con anterioridad, el agua juega un papel importante en la hidratación de la mezcla, por esto, se aumenta el porcentaje de agua que se incorpora en la mezcla con Piedra Pómez, dado que éste material presenta mucha porosidad, ya que posee una estructura celular esponjosa, lo que produce la absorción de parte del agua de amasado, pudiendo afectar en la resistencia final, por ende se realiza nuevamente el ensayo de la caída de bola, así se obtuvo que con un 10% de piedra Pómez, el óptimo será de un 25% y con un 20% de piedra Pómez, el óptimo será de un 27%. Estos porcentajes debieran ser constantes, pero se puede explicar, porque en un 20% de piedras Pómez tenemos un 80% de suelo por lo que hay menos cantidad de fino el cual absorbe parte del agua del amasado.

Con las dosificaciones se procedió a la confección de las probetas con la incorporación de los agregados livianos en la mezcla, tras la confección se procede con un curado de 7 días que consistió en humedecer todos los días las probetas con un pulverizador de agua para así evitar la fisuración por retracción para que no se viese afectado la resistencia de las probetas. A los 14 días se procedió a pegar con cola fría el papel en las caras de las probetas, para conformar un material compuesto laminar o tipo sándwich. Después de este proceso a los 28 días desde su fabricación se ensayaron las probetas.



Figura 4.7 Probetas de Placas, Fuente Elaboración Propia

#### 4.5 Promotor de Adherencia, Pruebas

Para buscar una solución al problema de la adherencia entre la piel y el núcleo, se efectuaron pruebas de adherencia con diferentes materiales: Cola Granulada, Cola Fría, Cola Fría diluida en agua y pegamento para papel mural Murazeln.

##### 4.5.1. Pruebas de adherencia con Cola Granulada

Material utilizado para trabajos de carpintería y ebanistería, en forma de granos. Utilizado también para pegar papel, materiales porosos como la madera. No es recomendable utilizar en materiales expuestos a la humedad, ya que se hincha y se derrama.

En la figura 4.8, se aprecia que la adherencia entre la piel y el núcleo no fue la esperada por lo que éste material no se utilizó como promotor de adherencia.



**Figura 4. 8 Prueba Promotor de adherencia, Cola Granulada. Fuente, Elaboración Propia**

#### **4.5.2. Prueba de adherencia con MurazeIN**

Adhesivo a base de multiceulosa y resinas especiales, utilizado como pegamento para papel mural, en superficies limpias y lisas. En la figura 4.9, se muestra la baja adherencia de la piel al núcleo. Por lo que éste material también fue descartado como promotor de adherencia.



**Figura 4. 9 Prueba Promotor de Adherencia, MurazeIN. Fuente, Elaboración Propia**

#### **4.5.3. Prueba de adherencia con Cola fría diluida en agua**

Dado que la cola fría es un material viscoso, se diluyó en agua para disminuir su viscosidad y así mejorar la penetración del material en el núcleo de las placas. Con esto se esperó obtener mejores resultados en la adherencia de la piel al núcleo, pero la adherencia no mejoró con éste proceso. En la siguiente imagen se puede observar lo mencionado anteriormente.



**Figura 4.10 Prueba Promotor de Adherencia Cola Fría diluida en agua. Fuente, Elaboración Propia**

#### **4.5.4. Prueba de adherencia con Cola fría**

Adhesivo de tipo orgánico sintético, una emulsión líquida de aspecto lácteo que tiene en suspensión pequeñas partículas en medio acuoso (no contiene solventes), de sustancias aceitosas o resinosas, más aditivos que sirven para darle ciertas características especiales, tales como: adherencia, tiempo de trabajo, tiempo de sacado, color, olor y pH (grado de ácidos).

Su uso produce excelentes uniones entre elementos celulósicos, es decir, madera y sus derivados. No es tóxico y es soluble en agua mientras está fresca. La película que produce es transparente y no se deteriora con el tiempo. (Solcrom, 2002).

En la figura 4.11, se observan los resultados de las pruebas de adherencia hechas con Cola Fría. En el momento en que se intentó desprender la piel del núcleo, el papel se rasgó, por lo tanto, con este material se obtuvo una adherencia adecuada, para efectuar y resistir las pruebas a las que se sometieron las placas.



**Figura 4.11 Prueba Promotor de Adherencia Cola Fría. Fuente, Elaboración Propia**



Unas de las ventajas que ofrece la Cola fría es: está libre de solventes, ofrece una alta resistencia mecánica, dado esta característica se usa para uniones rígidas y mantiene sus propiedades durante el tiempo.

#### 4.6. Costo variable por m<sup>2</sup>

La confección de una placa tiene costos inherentes a su producción, también existen diversos factores que pueden afectar el valor final del producto. Lo son por ejemplo, la mano de obra, el transporte. En esta investigación solo se realizaron consideraciones económicas de costos de la materia por metro cuadrado de placa.

**Tabla 4. 12 Costo Variable 10% Perlita Expandida, Fuente: Elaboración Propia**

cantidad de materiales para placas de suelo cemento 10% PE				
material	cantidad		valor por unidad	costo neto m2
Suelo	22	kg/m2	\$ 10,52	\$ 231,44
Cemento	3,34	kg/m2	\$ 89,00	\$ 297,26
Microfibra (1500 gr/m3)	0,038	kg/m2	\$ 2.185,00	\$ 83,03
Promotor de adherencia	0,4	lt/m2	\$ 2.990,00	\$ 1.196,00
papel	0,24	kg/m2	\$ 700,00	\$ 168,00
agua	3,378	lt/m2	\$ 30,00	\$ 101,34
Agregado Liviano	6,25	lt/m2	\$ 74,00	\$ 462,50
				<b>\$ 2.540</b>

**Tabla 4. 13 Costo Variable 10% Piedra Pómez, Fuente: Elaboración Propia**

cantidad de materiales para placas de suelo cemento 10% PP				
material	cantidad		valor por unidad	costo neto m2
Suelo	22	kg/m2	\$ 10,52	\$ 231,44
Cemento	3,34	kg/m2	\$ 89,00	\$ 297,26
Microfibra (1500 gr/m3)	0,038	kg/m2	\$ 2.185,00	\$ 83,03
Promotor de adherencia	0,4	lt/m2	\$ 2.990,00	\$ 1.196,00
papel	0,24	kg/m2	\$ 700,00	\$ 168,00
agua	3,378	lt/m2	\$ 30,00	\$ 101,34
Agregado Liviano	6,25	lt/m2	\$ 200,00	\$ 1.250,00
				<b>\$ 3.327</b>

Tabla 4. 14 Costo Variable 10% EPS, Fuente: Elaboración Propia

cantidad de materiales para placas de suelo cemento 10% EPS				
material	cantidad		valor por unidad	costo neto m2
Suelo	22	kg/m2	\$ 10,52	\$ 231,44
Cemento	3,34	kg/m2	\$ 89,00	\$ 297,26
Microfibra (1500 gr/m3)	0,038	kg/m2	\$ 2.185,00	\$ 83,03
Promotor de adherencia	0,4	lt/m2	\$ 2.990,00	\$ 1.196,00
papel	0,24	kg/m2	\$ 700,00	\$ 168,00
agua	3,378	lt/m2	\$ 30,00	\$ 101,34
Agregado Liviano	6,25	lt/m2	\$ 55,00	\$ 343,75
				<b>\$ 2.421</b>

Tabla 4. 15 Costo Variable 20% Perlita Expandida, Fuente: Elaboración Propia

cantidad de materiales para placas de suelo cemento 20% PE				
material	cantidad		valor por unidad	costo neto m2
Suelo	19,55	kg/m2	\$ 10,52	\$ 205,67
Cemento	3,34	kg/m2	\$ 89,00	\$ 297,26
Microfibra (1500 gr/m3)	0,038	kg/m2	\$ 2.185,00	\$ 83,03
Promotor de adherencia	0,4	lt/m2	\$ 2.990,00	\$ 1.196,00
papel	0,24	kg/m2	\$ 700,00	\$ 168,00
agua	3,378	lt/m2	\$ 30,00	\$ 101,34
Agregado Liviano	12,5	lt/m2	\$ 74,00	\$ 925,00
				<b>\$ 2.976</b>

**Tabla 4. 16 Costo Variable 20% Piedra Pómez, Fuente: Elaboración Propia**

cantidad de materiales para placas de suelo cemento 20% PP				
material	cantidad		valor por unidad	costo neto m2
Suelo	19,55	kg/m2	\$ 10,52	\$ 205,67
Cemento	3,34	kg/m2	\$ 89,00	\$ 297,26
Microfibra (1500 gr/m3)	0,038	kg/m2	\$ 2.185,00	\$ 83,03
Promotor de adherencia	0,4	lt/m2	\$ 2.990,00	\$ 1.196,00
papel	0,24	kg/m2	\$ 700,00	\$ 168,00
agua	3,378	lt/m2	\$ 30,00	\$ 101,34
Agregado Liviano	12,5	lt/m2	\$ 200,00	\$ 2.500,00
				<b>\$ 4.551</b>

#### 4.7. Resultados Ensayos Mecánicos

Para establecer una comparación óptima de los resultados de las probetas de suelo cemento, se estableció un patrón de comparación entre las placas de suelo cemento con distintos porcentajes de agregado liviano y las placas de yeso-cartón comercializadas.

La NCh 146 of. 2000, establece dos ensayos en relación a la resistencia mecánica de las placas, son el de Resistencia a la Flexión y el ensayo de Resistencia al Impacto. Los resultados, son expresados en las figuras 4.12 a 4.18. Las tablas para la realización de los diferentes gráficos se encuentran en el ANEXO B.

##### 4.7.1. Ensayo de Resistencia a la Flexión

Los ensayos a la flexión entregaron los resultados que se presentan en las siguientes figuras, de los cuales se obtuvo el cálculo de la desviación estándar para cada una de las placas ensayadas, para así considerar los datos más significativos y determinar un nuevo promedio, para luego mejorar la precisión de los datos.

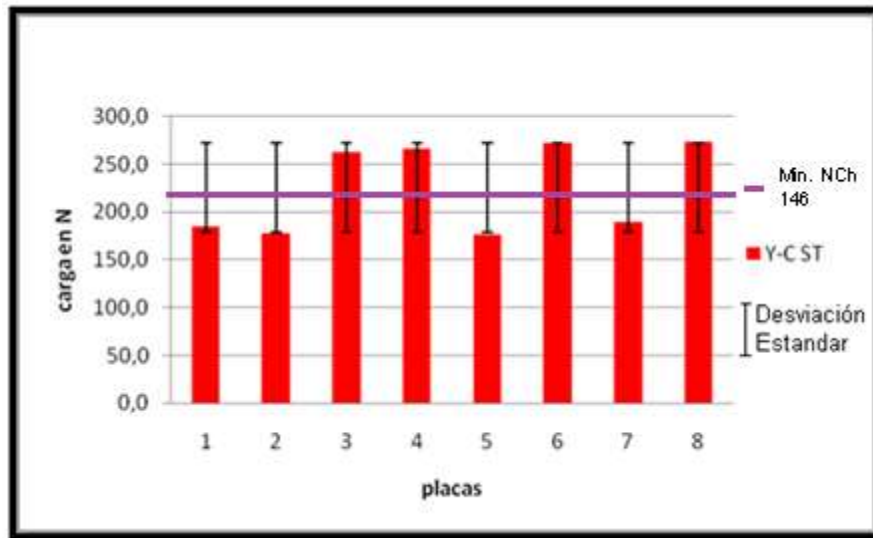


Figura 4. 12 Resistencia a la Flexión Yeso Cartón, Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la figura anterior, existen dos tendencias de resistencia en las placas de Yeso Cartón, la tendencia que tiene una menor resistencia es en orientación paralela a la placa, es decir la orientación de la carga es paralela al largo de la placa. Este resultado también se vio observado en la primera etapa de la investigación (López, 2013).

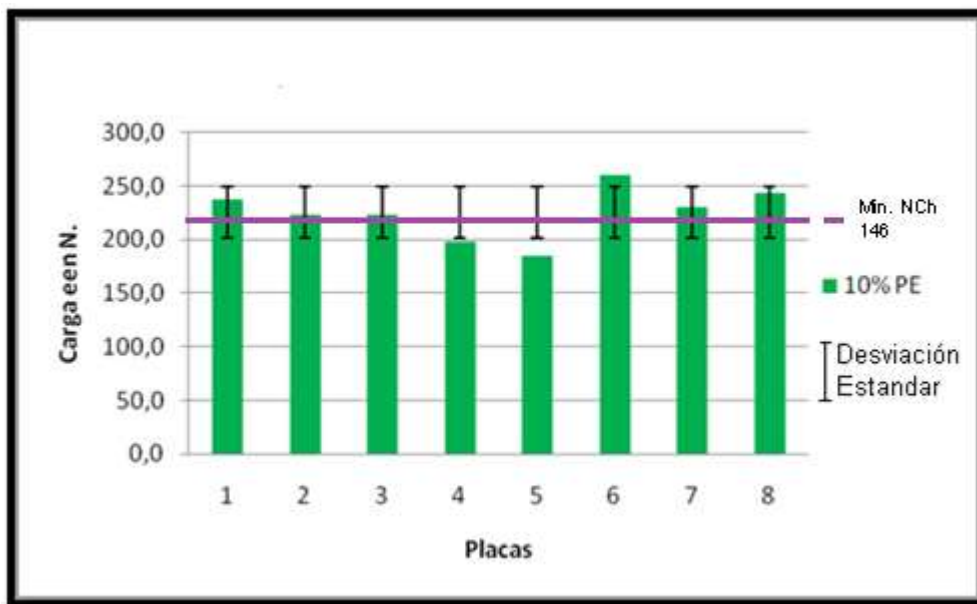


Figura 4. 13 Resistencia a la Flexión de Placas de suelo cemento 10% Perlita Expandida, Fuente: Elaboración Propia

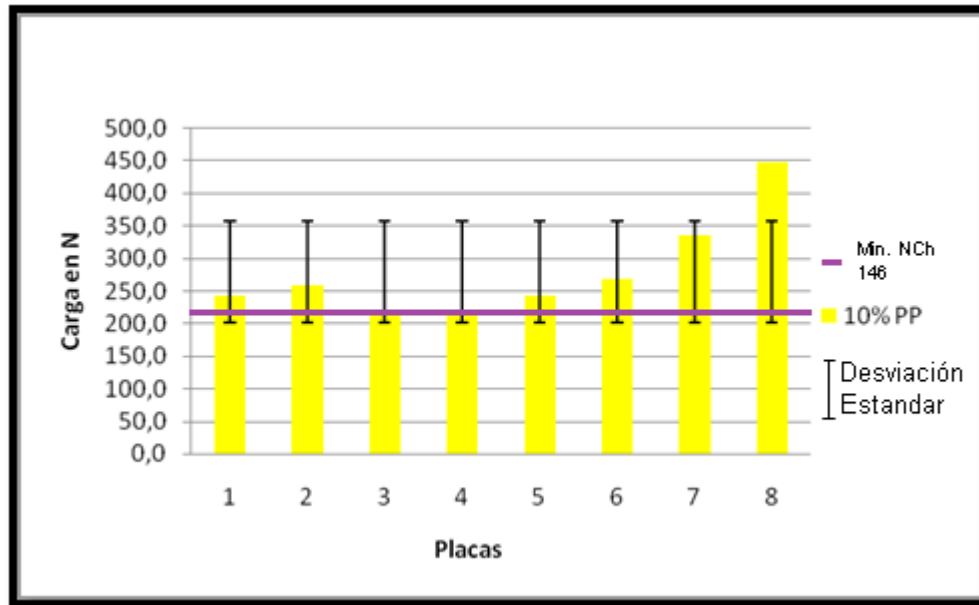


Figura 4. 14 Resistencia a la Flexión de Placas de Suelo Cemento 10% Piedra Pómez, Fuente: Elaboración Propia

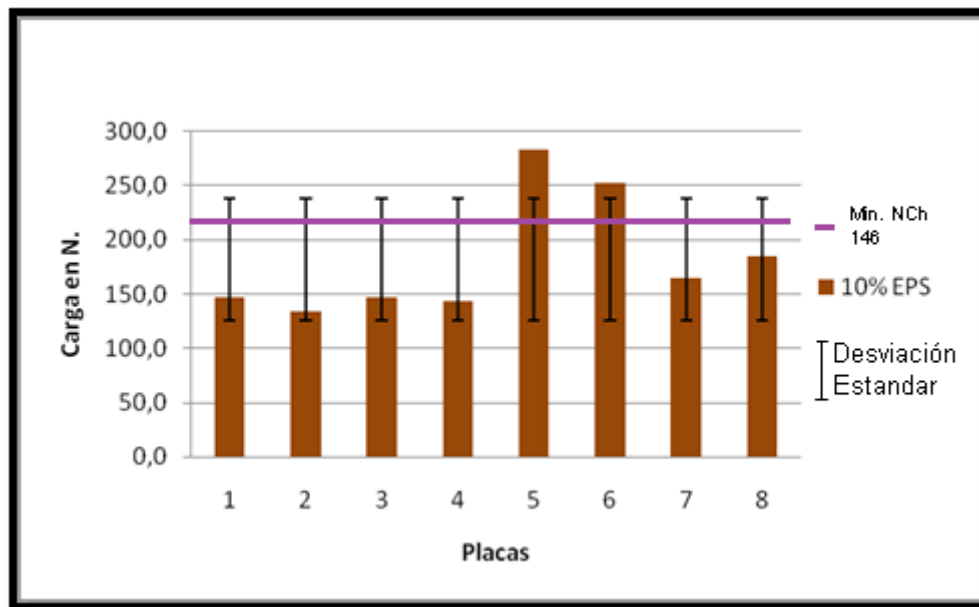


Figura 4. 15 Resistencia a la Flexión de Placas de Suelo Cemento 10% EPS, Fuente: Elaboración Propia

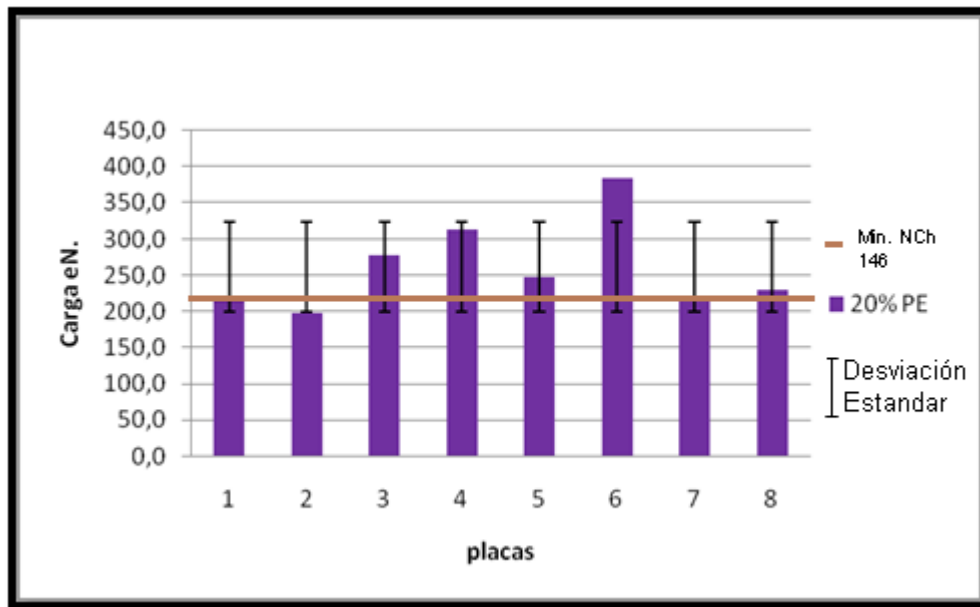


Figura 4. 16 Resistencia a la Flexión 20% Perlita Expandida, Fuente: Elaboración Propia

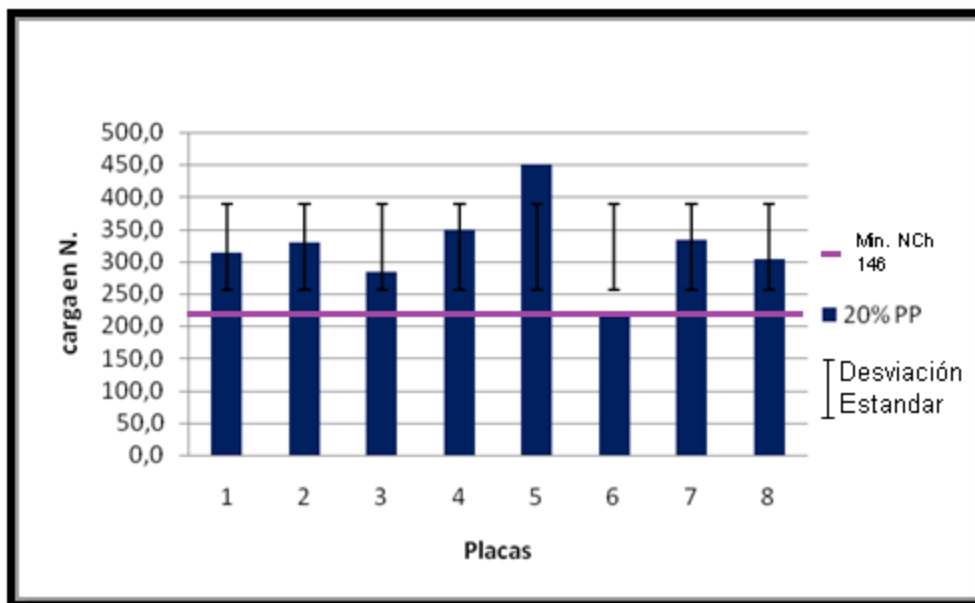
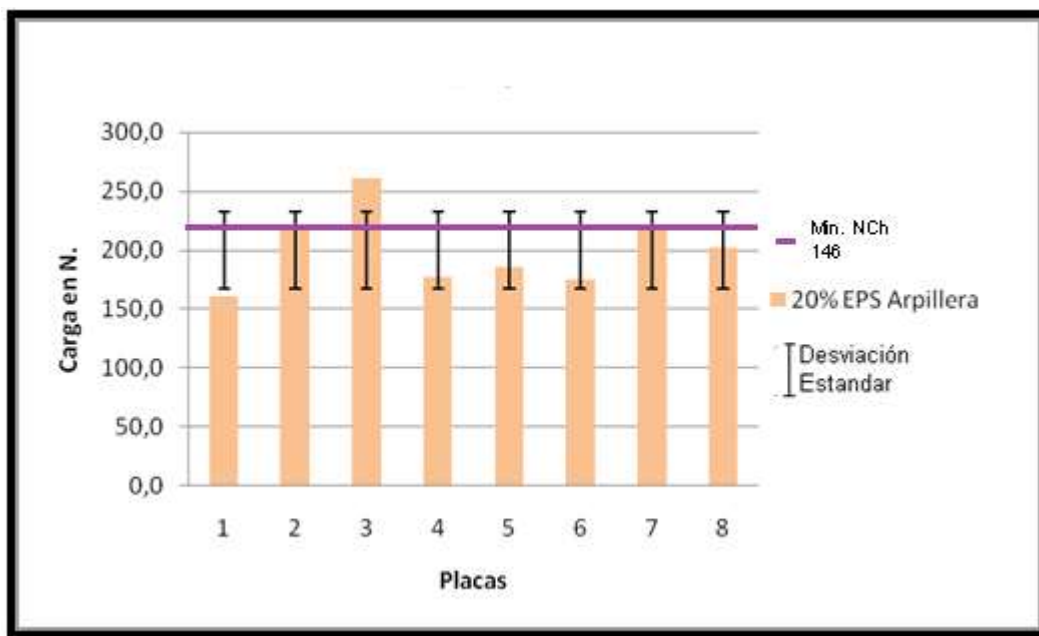


Figura 4. 17 Resistencia a la Flexión 20% Piedra Pómez, Fuente: Elaboración Propia

Mediante análisis de las figuras anteriormente vistas, podemos observar cómo se contrastan los promedios corregidos de las resistencias obtenidas. Como se puede apreciar, las placas con 10% EPS no cumplen con los requisitos establecidos, por lo que se opta por sustituir el papel de las caras de las placas por un material más resistente o con mayor resistencia al rasgado, reemplazando por Arpillera de Yute, material que gracias a sus fibras tiene mayor resistencia, y así se podrán obtener mejores resultados. Luego de ejecutar los ensayos a las placas con Arpillera de Yute, se observa que las placas no cumplieron con la carga mínima de resistencia a la flexión, 220 N para un espesor de 15 mm, valores establecidos en la NCh 146 of. 2000.



**Figura 4. 18 Resistencia a la Flexión Placa Suelo Cemento 20% EPS con arpillera, Fuente: Elaboración Propia**

En la figura 4.19 se observa que la falla en la probeta tras ser sometida al ensayo de resistencia a flexión, no tiene que ver con la piel con la que se fabrica la probeta con 20% de EPS, ya que la piel utilizada, arpillera de yute, no sufrió cambios aparentes ni daños después de someter la placa al ensayo. Por lo tanto la baja resistencia obtenida es un resultado que corresponde al comportamiento que se produce entre el suelo cemento y las perlas de EPS. La adherencia que se genera entre estos dos componentes, no es la suficiente para lograr resistir la carga solicitada. Lo que busca este ensayo es la rotura o rasgado de la piel producto de la flexión a la cual es sometida la probeta.



**Figura 4.19** Probeta ensayo a flexión con 20% EPS con Arpillera, Fuente: Elaboración Propia

Lo expuesto anteriormente se puede explicar por la diferencia en la dimensión de las perlas de EPS, que varían entre 0,5 mm y 2,5 mm, dado esta situación, la mezcla no logró una buena adherencia entre éstas y el suelo cemento. No se logró un recubrimiento adecuado ni la adherencia necesaria entre la mezcla de suelo cemento y las perlas, producto de que las perlas son polímeros de origen pétreo no compatible con el agua que es el solvente del cemento y el suelo. Por otra parte no se logró obtener una mezcla 100% homogénea, dado que las perlas de EPS, son menos densas que la mezcla de suelo cemento, por lo que se produce segregación, producto de esta condición, se acumulan en la superficie.

En la figura 4.20. se observa como se realizaron los ensayos de resistencia a la flexión, además se logra apreciar la gran deformación que son capaces de soportar las probetas antes de la rotura.



**Figura 4.20** Probetas ensayo a flexión, Fuente: Elaboración Propia



En la figura 4. 21, se observan los resultados promedios obtenidos en los ensayos de resistencia a la flexión. Se considera como patrón la resistencia obtenida por la placa de Yeso Cartón estándar (Y-C ST).

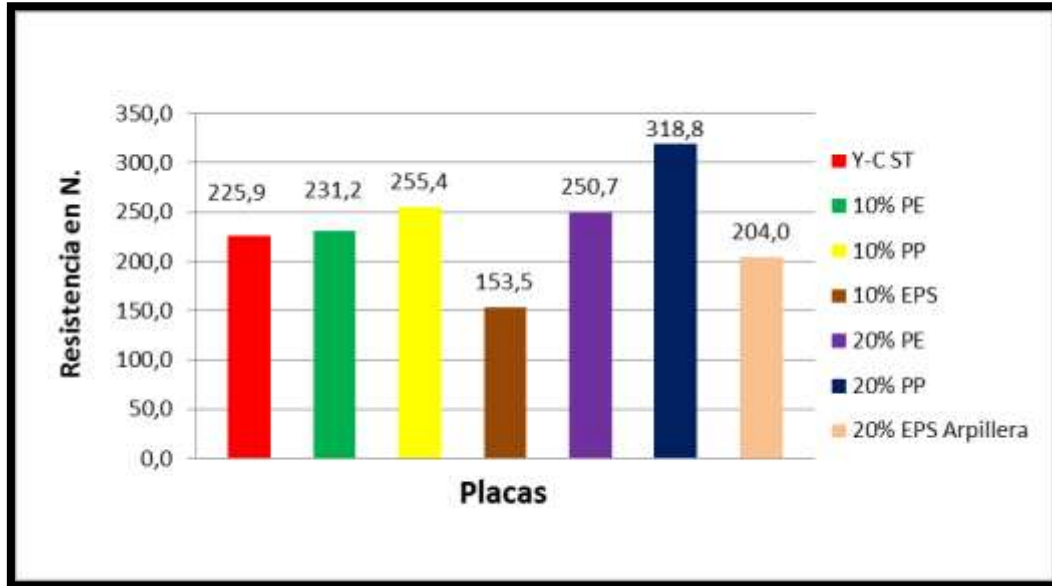


Figura 4. 21 Resistencia a la Flexión, Fuente: Elaboración Propia

En la figura 4.22, se presenta el análisis comparativo porcentual de la resistencia a la flexión de las probetas, usando como referencia la muestra patrón las placas, esto es, las probetas de las placas de yeso cartón.

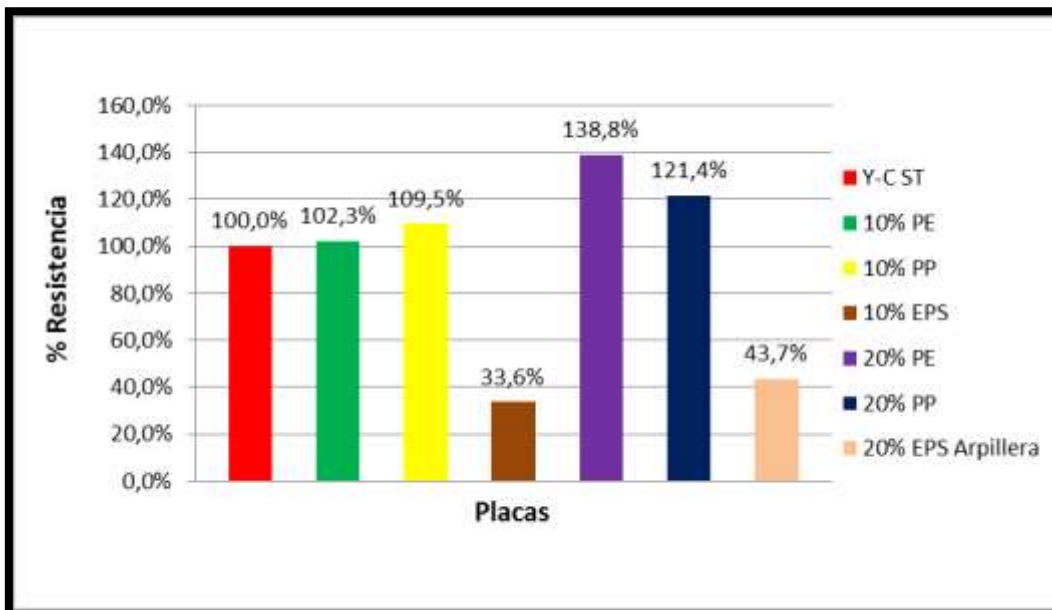


Figura 4. 22 Resistencia Relativa a la Flexión, Fuente: Elaboración Propia

Tras el análisis de las figuras 4.21 y 4.22, relativas a la resistencia a la flexión de probetas, se observa que las probetas con un 10% de EPS y 20% EPS con piel reforzada con arpillera de yute, no cumplen con lo exigido por la NCh 146 of. 2000, que establece una mínima resistencia a la flexión de 220 Newton.

Se puede decir según resultados que un material disminuye su resistencia mecánica, al disminuir su densidad, según esta información, como segundo punto, se observa que las placas con menor resistencia a la flexión, son aquellas con menor densidad y porcentaje de agregado liviano. Esto es resultado de las consideraciones que se tomaron en cuenta al tiempo de curado, en primera instancia, se sugiere de 21 días de curado para ladrillos de suelo cemento de baja densidad, igual tiempo aplicado para las probetas con 10% de agregados livianos, esto produjo que a los 21 días, el agua de amasado todavía se encontrara en el interior del núcleo, por lo tanto el papel que cubre al núcleo absorbió el agua, debilitando las fibras del papel provocando una disminución en la resistencia al rasgado. El fenómeno anteriormente descrito, no ocurrió con las probetas con 20% de agregado liviano, que tuvieron un proceso de curado de 28 días.

Como tercer punto, los resultados con 20% de PE y PP resistieron un 38% y un 21%, respectivamente, más que la muestra patrón, logrando un amasado homogéneo y una buena adherencia entre la pasta de suelo cemento y las PE y PP.

#### 4.7.2. Ensayo de Resistencia al impacto

Como se aprecia en la figura 4.23 de resistencia al impacto, todas las placas cumplen con el requisito establecido. Las placas con porcentajes de 10% y 20% de Piedra Pómez, representan los mínimos y máximos diámetros de huella dejada por la bola de acero. El diámetro máximo de la hendidura dejada por la bola, es de 20 mm, definido por la NCh 146/2 of. 2000.

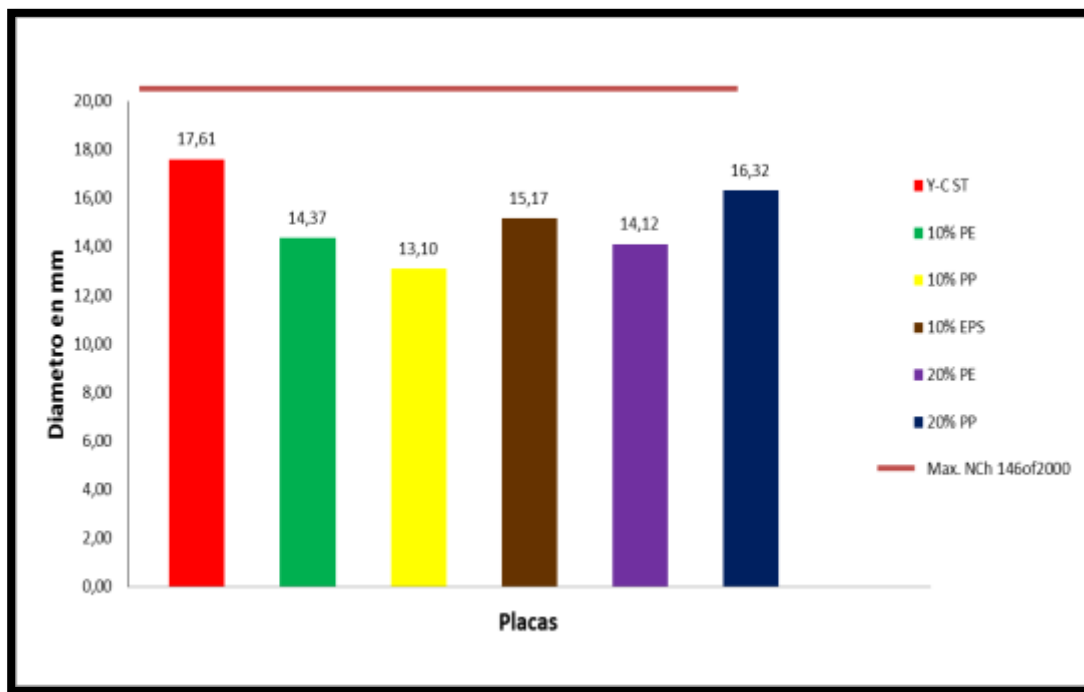


Figura 4. 23 Resistencia al impacto, Fuente: Elaboración Propia

#### 4.8. Resultados Ensayos de Clasificación

La NCh 146 of 2000, establece los siguientes ensayos para la clasificación de las placas los cuales son: de Resistencia a la Humedad (RH) y el Método de ensayo de cohesión del núcleo a altas temperaturas en las placas (RF), Los resultados se presentan en las siguientes tablas y figuras.

##### 4.8.1. Ensayo de Resistencia a la Humedad RH

Para ser clasificada como RH, una probeta de placa debe haber estado sumergida en agua por dos horas, como lo indica la normativa en cuestión, al momento de ser pesada la masa de la probeta, no debe haber aumentado su masa en más de un 5%, porcentaje establecido según la norma NCh 146 of.2000.

Luego de analizar a través de la siguiente figura los porcentajes obtenidos, se concluye que las placas no pueden ser clasificadas como RH, ya que no cumplen con el porcentaje mínimo establecido por la NCh 146 of. 2000.

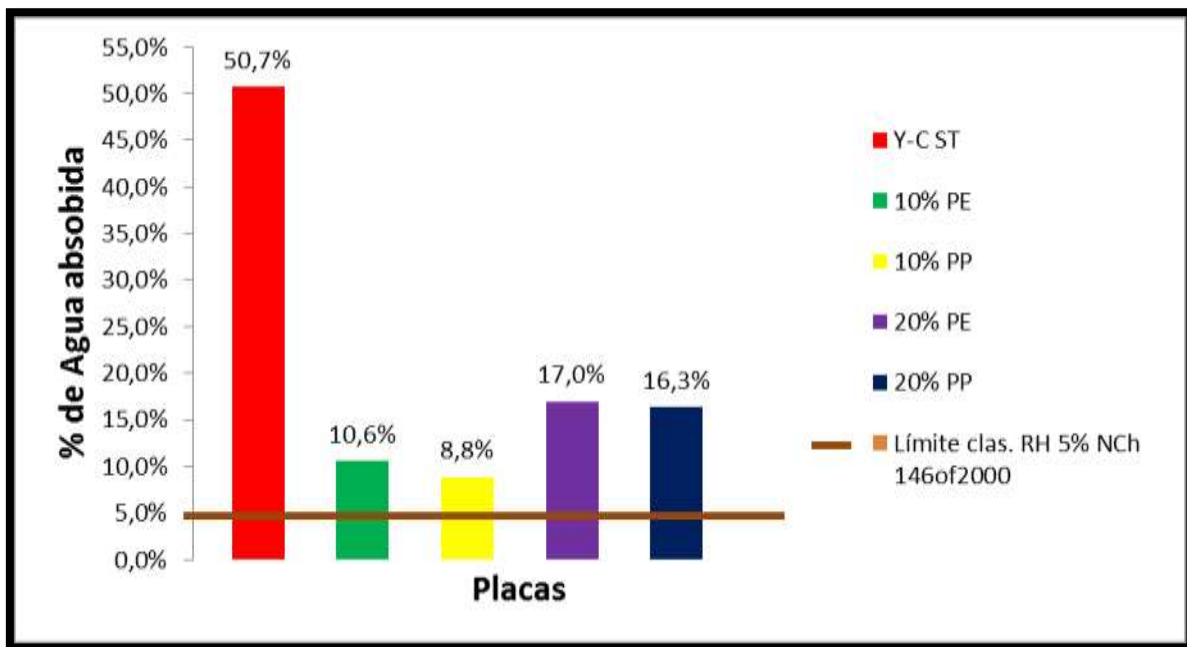


Figura 4. 24 Resistencia a la Humedad, Fuente: Elaboración Propia

Se puede apreciar que las placas de suelo cemento con sus distintos agregados livianos presentaron una diferencia notable en la absorción de humedad en comparación con las placas de yeso cartón estándar.

Dado los resultados obtenidos, ninguna de las placas cumple con esta clasificación, ni la patrón ni las de suelo cemento, pero las placas de suelo cemento con sus distintos porcentajes de agregados livianos presenta una clara diferencia en comparación con las placas comerciales de Yeso

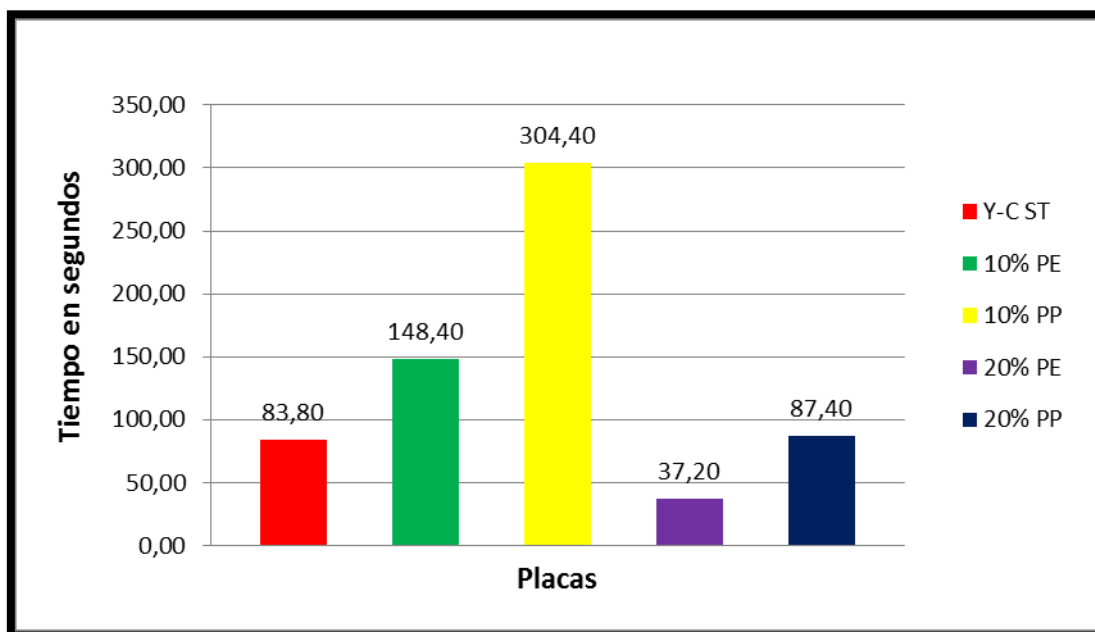
Cartón estándar. Esta diferencia tiene relación con las densidades de los materiales presentados, dado que como se disminuye la densidad de estos materiales; de un 10% de agregado a un 20% de agregado liviano incorporado de las probetas, la capacidad de absorber agua aumento, lo que se puede explicar por la porosidad del material que presenta, esto pasa con el yeso cartón y las probetas de suelo cemento con un 20% de agregado liviano, las cuales tienen una mayor porosidad que las probetas con un 10% de agregado liviano.

#### 4.8.2. Ensayo de Cohesión del Núcleo a Altas Temperaturas RF

Este método se basa en la resistencia que ofrece el núcleo de las placas al ser sometido a la acción de llama directa y esfuerzo de tracción con carga constante, estos son ejecutados simultáneamente hasta la rotura de la probeta.

Las placas se clasifican como RF si, de cinco probetas ensayadas, cuatro de ellas se rompen en un tiempo superior a 30 minutos (1800 segundos) y ninguna de ellas se rompe antes de 20 minutos (1200 segundos).

En el siguiente gráfico, se muestran los resultados obtenidos luego de efectuar el ensayo a las placas.



**Figura 4. 25 Resistencia a Altas Temperaturas, Fuente: Elaboración Propia**

Analizando la figura 4.25 de resistencia a altas temperaturas, ninguna de las placas cumplió con el requisito mínimo que establece la NCh 146/2 anexo A.

Si se compara la placa de Yeso Cartón estándar con las placas de Suelo Cemento, se observa que, las placas fabricadas con un 10% de agregado liviano en PE y PP, tienen mayor resistencia a altas temperaturas, ya que estuvieron un mayor tiempo expuestas al fuego sin que se produjese la rotura. En las probetas con un 20% de agregado liviano que fueron sometidas a este

ensayo, se obtuvo un resultado similar o desfavorable al que presentaron las placas de Yeso cartón estándar.

La piel de papel es la que ofreció la mayor resistencia a la tracción, por lo que dadas las condiciones que ofrece el ensayo, al estar sometido a fuego directo, ésta perdió toda resistencia a la que está sometida, pasando a que el aglomerante (Suelo Cemento) deba tener la capacidad de resistir la carga. Esta condición explica que las probetas con un 10% hayan tenido una mayor resistencia en el tiempo en relación a las probetas con un 20% de agregado liviano. Al tener una mayor cantidad de agregado liviano hay una menor cantidad de aglomerante, que es el que ofrece la resistencia a la tracción como ya se explicó, esta resistencia disminuyó entre un 25 a 30% en las dos condiciones de agregados livianos.

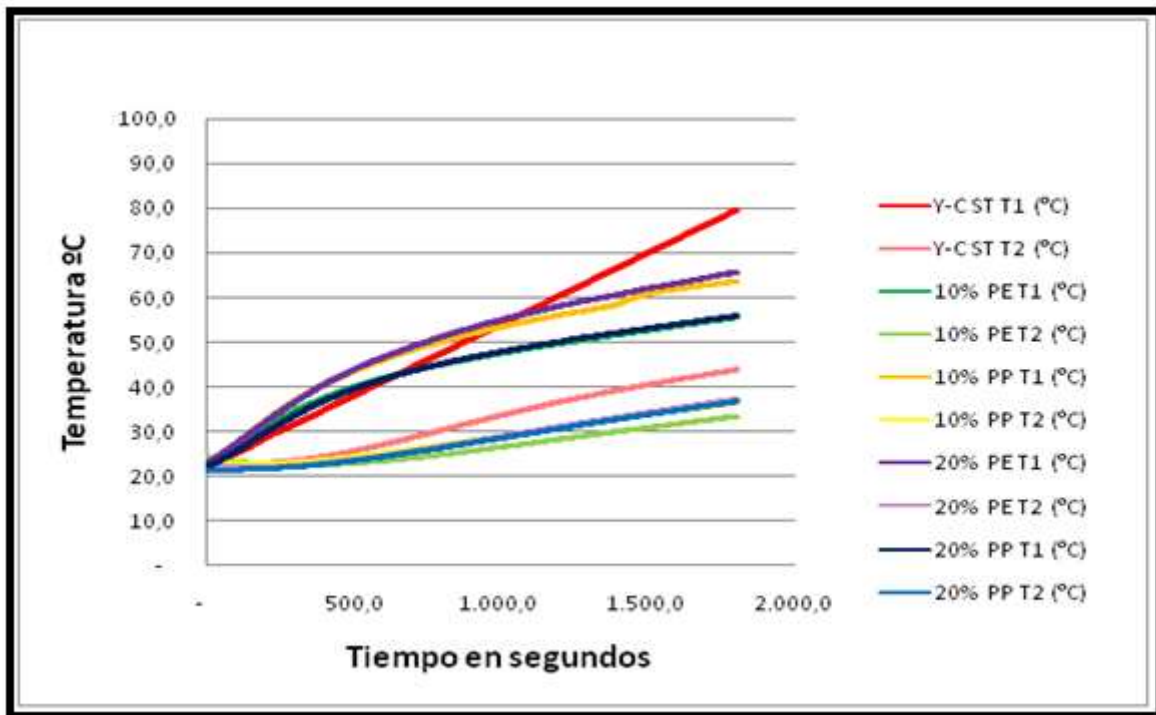
#### **4.9. Resultados Ensayos Comparativos entre Yeso Cartón y Placas de Suelo Cemento**

Estos ensayos fueron diseñados por López (2013), y tienen relación con un comparativo entre las placas de Yeso Cartón y las placas de Suelo Cemento con sus diferentes dosificaciones y porcentajes de agregados livianos, que cumplieron con los requisitos mecánicos de resistencia a la Flexión y de resistencia al Impacto. Las placas de agregados livianos que cumplieron estos requisitos son las placas que contienen 10% PE, 10% PP, 20% PE y 20% PP.

##### **4.9.1. Ensayo de Temperatura en las Caras**

Este ensayo consistió en someter las probetas a una fuente de emisión constante, en las mismas condiciones para observar cuanta es la capacidad que tienen para absorber el calor y ser transmitido a su otra cara o ambiente. La toma de datos se obtuvo con el equipo Xplorer GLX de Pasco, con los sensores de temperatura superficial PS-2131, de la transmisión de calor que se genera entre sus caras con una fuente de emisión constante.

La figura que se muestra a continuación, se obtuvo tras el análisis de los datos de la transmisión de calor que se generó entre las caras de la probeta, en esta se puede apreciar el comportamiento en un tiempo determinado con una fuente de emisión constante y en las mismas condiciones para todas las probetas a ensayar.

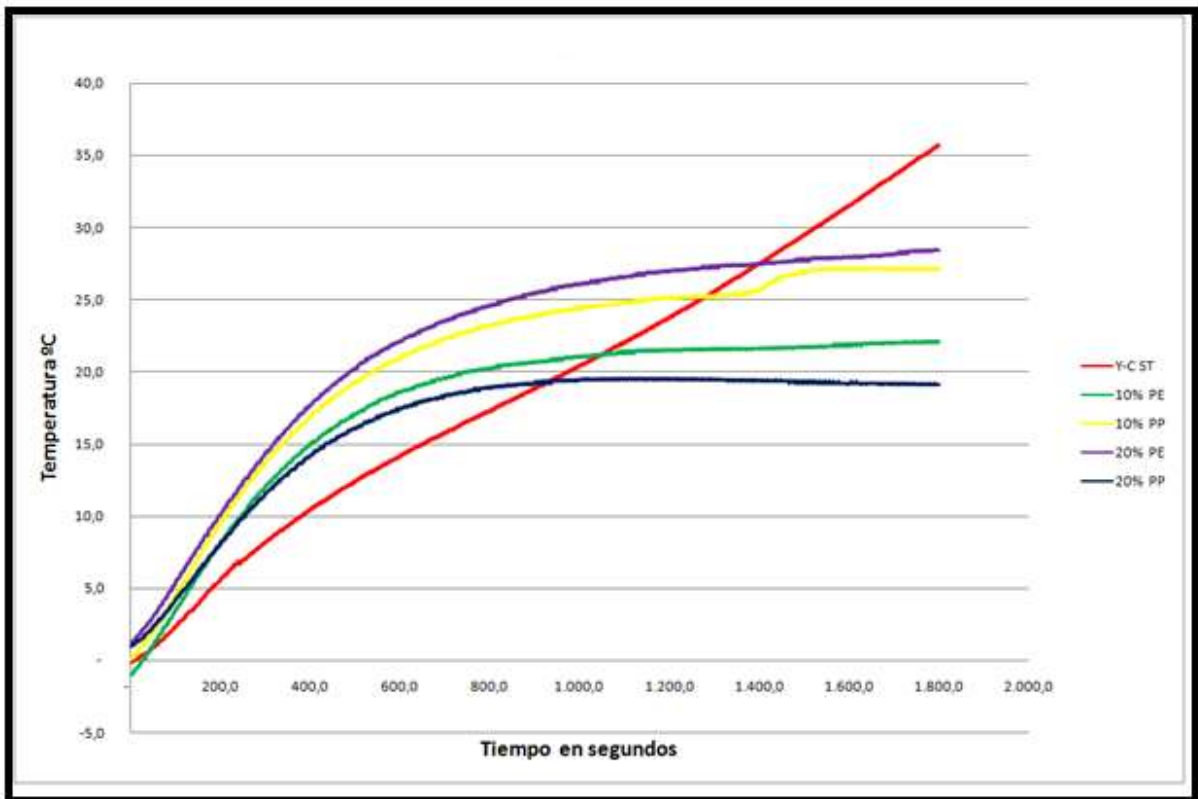


**Figura 4. 26 Temperaturas en las Caras, Fuente: Elaboración Propia**

En la Figura 4. 26, se puede observar las distintas capacidades que tienen los materiales de absorber calor y distribuirlo gradualmente en su estructura interna, para ser transmitida a otro ambiente.

Se observa que el Suelo Cemento absorbió calor hasta alcanzar un almacenamiento y lo distribuyó en su estructura interna, el almacenamiento de calor tendió a mantener constante en el tiempo, esto se produjo dado que requiere de una gran cantidad de energía para aumentar su temperatura, es decir su variación térmica es más estable que la del Yeso Cartón, estas variaciones térmicas estables llamadas inercia térmica (Silva, 2004).

Para hacer representativos los resultados obtenidos y observar la transferencia de temperatura en las caras de las probetas ensayadas, se presenta a continuación la siguiente figura, en el cual se muestran los diferenciales de la transmisión de temperatura. Así observar cuanto es lo que aísla cada placa en un tiempo determinado.



**Figura 4.27 Diferencial de Temperaturas en las Caras, Fuente: Elaboración Propia**

El gráfico anterior, indica que las placas de suelo cemento presentan una conductividad moderada de temperatura, cuando se emite calor desde una fuente constante, en cambio las placas de Yeso cartón presentan una mayor transmisión de temperatura, dado esta situación tiene una menor capacidad de aislación. Este gráfico muestra que en las placas de Suelo Cemento, se sigue manteniendo una de las características del Suelo, esto quiere decir que mantiene la cualidad de absorber la energía calórica y distribuirla gradualmente en su estructura interna, dado que requiere una gran cantidad de energía para aumentar su temperatura, por lo que se genera un efecto llamado almacenamiento de calor.

Las placas de Suelo Cemento con 10% de Perlita Expandida y con 20% de Piedra Pómez son las placas que presentan una mejor aislación térmica o mayor resistencia a la absorción de temperatura, ya que tardan más tiempo en absorber y transmitir calor. Lo anterior se traduce, en que el comportamiento de las placas de suelo cemento con agregado liviano en ambientes con variaciones de temperatura, será estable, dada la capacidad del Suelo de almacenar energía calórica en su estructura interna, por lo cual se tiene que es capaz de aislar en un determinado tiempo, para después mantener el traspaso de temperatura constante, por lo cual podría ser un acondicionador de espacios.

#### 4.9.2. Ensayo Acústico

El ensayo acústico consistió en la capacidad de aislación acústica que presentan las probetas. Se puede apreciar el comportamiento ante el ruido de las placas de Yeso Cartón y las Placas de suelo cemento con agregados livianos, cuando son sometidas a la exposición de ruido rosa constante, para luego inferir que tipo de placa presenta una mejor aislación o mayor resistencia al paso de las ondas del ruido.

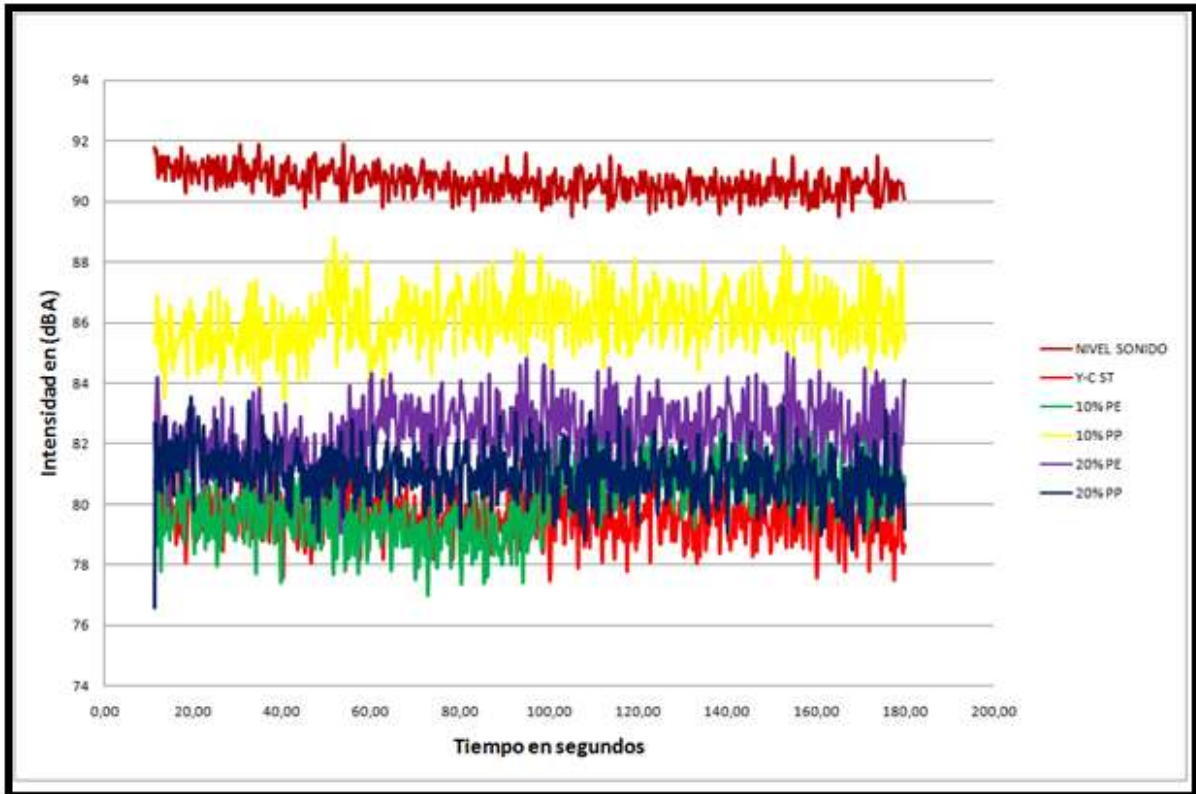
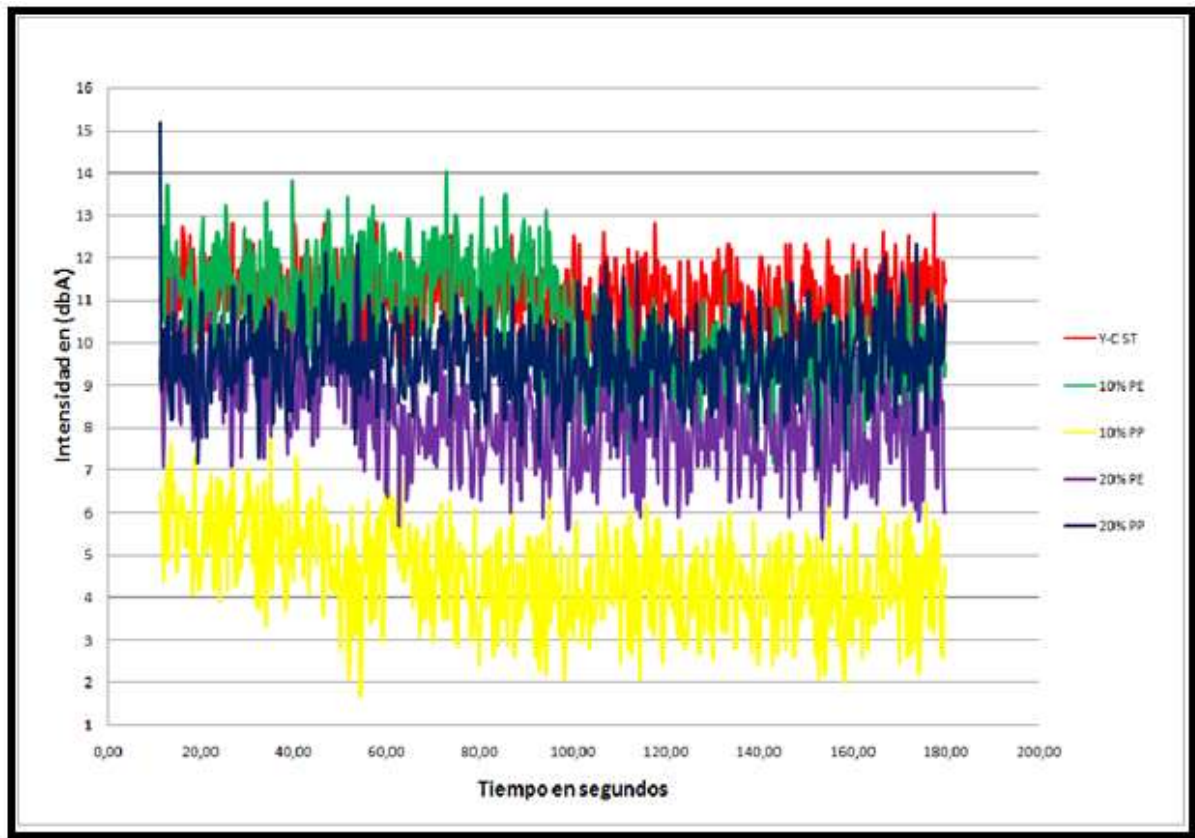


Figura 4. 28 Espectro Acústico, Fuente: Elaboración Propia

En el Espectro acústico presentado, la curva de color marrón representa el ruido emitido sin aislación (patrón) y el resto de curvas son el resultado de la aislación correspondiente a cada placa como se detalla en el gráfico.

Para representar de mejor manera los resultados de aislación acústica, se exponen en el siguiente gráfico los diferenciales acústicos, de ésta forma se observa la capacidad que tiene cada placa para transferir el ruido desde un espacio a otro en un tiempo determinado.





**Figura 4. 29 Espectro Acústico Diferencial, Fuente: Elaboración Propia**

Según los datos expresados en el espectro, la placa que logró aislar de manera deficiente, es la placa de suelo cemento con un 10% de PP, presenta un promedio de 4,5 dB, pero el resto de las placas logran una aislación promedio de 10 dB.

#### **4.10. Densidades de las Placas**

La densidad de las placas de Suelo Cemento es mayor en comparación a la densidad de las placas de Yeso Cartón, por esto, se consideró la incorporación de agregados livianos a las placas de suelo cemento. La que se expresa en la siguiente figura, que es un comparativo de densidades entre las placas de suelo cemento con agregado liviano y las placas de yeso cartón de 15 mm de espesor.

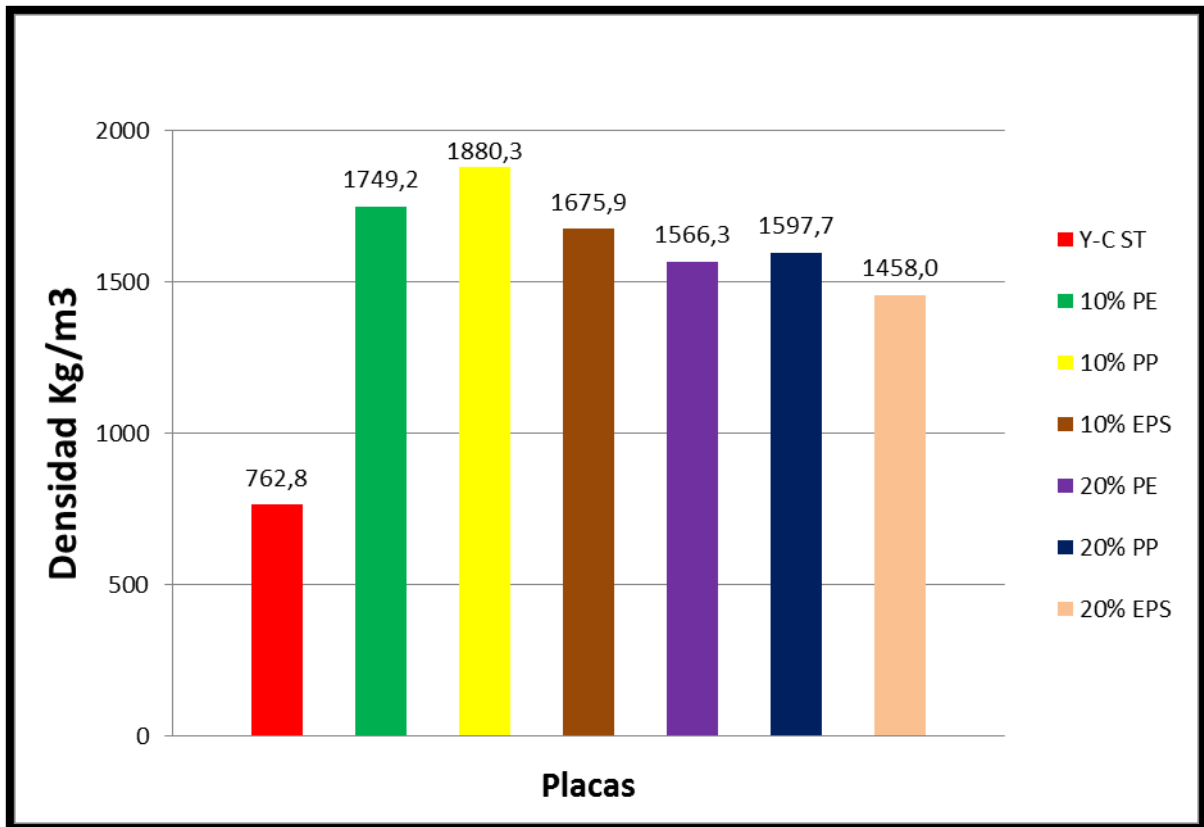


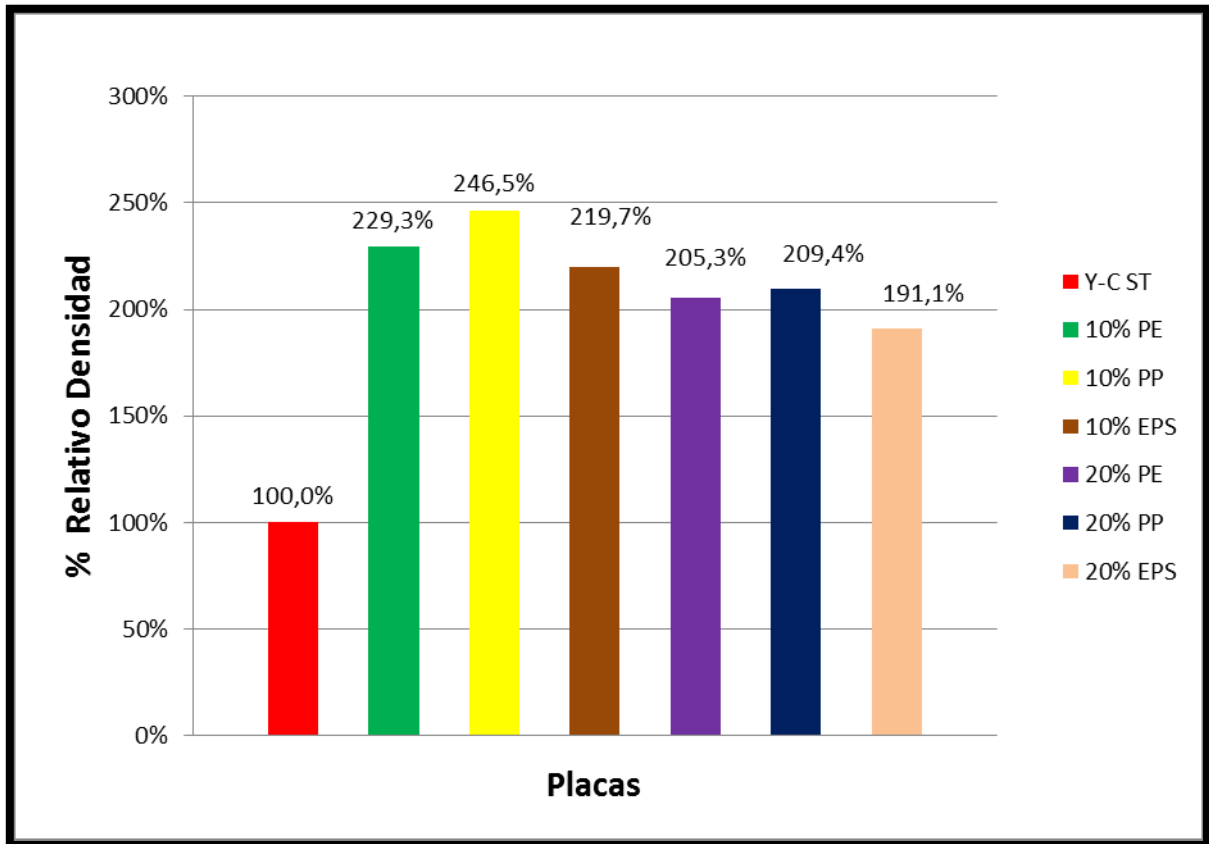
Figura 4. 30 Densidades placas, Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 4.30, se presentan las densidades de las placas donde se observa la diferencia entre el Yeso Cartón y el Suelo Cemento, en las cuales hay una diferencia aproximadamente del 100%.

También en la figura se aprecia el gradual de diferencias de densidades, que mantiene el comportamiento en relación a la incorporación de agregados livianos, se mantiene este gradual tras el aumento del 10% al 20% de agregado liviano, su comportamiento es similar tras este aumento entre las placas del mismo agregado, hay entre un 10% a 15% de disminución de densidad. Entre las placas de Perlita Expandida de un 10% a un 20% hay una disminución de la densidad del 10%, en las placas de Piedras Pómez hay una disminución del 15% y en las placas de EPS (Perlitas de Poliestireno Expandido) hay una disminución de 13% de la densidad.

Se debiese esperar que en las placas de EPS hubiese el mayor diferencial entre el 10% y el 20% en relación a la densidad, esto no ocurre debido a la discontinuidad de la granulometría del EPS que va entre los 0.5mm a los 2.5 mm, por ende entre cada perlita hay vacío que es llenado por la mezcla de Suelo Cemento y por lo tanto se distorsiona el diferencial en relación a la densidad.

Dada la condición de las diferencias entre densidades, a continuación se presenta la figura 4.31, las Densidades Relativas, tomando como referencia las placas de Yeso cartón.



**Figura 4. 31 Densidades Relativas, Fuente: Elaboración Propia**

En esta Figura se aprecia la diferencia de densidades, tomando como referencia las placas de Yeso Cartón, esta representa el 100% de densidad, para así apreciar cuanto es el aporte del agregado liviano en la reducción de la densidad en cada caso.

Se esperaría que la menor densidad obtenida fuese de las placas que tienen un 20% de EPS, que existiera una gran diferencia entre estas densidades, ya que si se observa en la Tabla 4.9 de densidades aparente, existe una gran diferencia entre las densidades de los agregados livianos, pero como se explicó anteriormente, existe una mala distribución granulométrica del EPS. Entonces no solo depende de la baja densidad que pueda ofrecer el agregado liviano, sino también depende de una buena distribución granulométrica.

Esta distribución granulométrica, también se puede observar que tiene directa relación a la resistencia a la Flexión, dado que las placas con EPS, no cumplieron con los requerimientos mínimos exigidos por la normativa aplicable.

Se aprecia que la mayor densidad obtenida es de las placas que se incorporó 10% de PP, que tiene relación, a que en la tabla de densidades aparentes, la Piedra Pómez tiene una densidad de 531.73 Kg/m<sup>3</sup>.

## **CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y FUTURAS INVESTIGACIONES**

Debido a la ausencia de normativas, para el estudio de las placas dadas las características establecidas por ésta investigación, se consideró como referencia la norma NCh 146 of. 2000, normativa vigente para placas de Yeso Cartón, por esto, se hizo una comparación entre las placas de yeso cartón existentes en el mercado y las placas en estudio de suelo cemento.

### **5.1. Resistencia a la Flexión**

Por tratarse de un ensayo comparativo no normalizado, se define la corrección de los datos a través del cálculo de la desviación estándar, para así descartar los valores que están fuera de la dispersión con respecto al valor promedio calculado.

Dado que las probetas con un 10% de EPS no cumplieron con los requisitos mecánicos, los estudios y ensayos para las probetas con un 20% de EPS, no se llevaron a cabo, pero para descartar la influencia que se pudiese obtener de la piel en relación a la resistencia a la Flexión, se cambió el papel por arpillera de Yute. Luego de los resultados obtenidos de los ensayos realizados, se concluyó que la baja resistencia mecánica, no se debe al tipo de piel a raíz de que el daño se generó en el núcleo, dado que se espera que para este tipo de ensayo, el daño se produzca en la piel. El daño que se debiese generar en relación a como se realiza el ensayo es el rasgado de la piel, debido a la rotura de la placas producto de la carga.

La falla del núcleo se debe a la mala distribución granulométrica que ofrece el EPS, no se logra obtener una mezcla 100% homogénea, debido a la segregación producida por la baja densidad de éste material.

Uno de los problemas a mejorar fue la adherencia entre la piel y el núcleo, esta mejora de adherencia entre estos componentes se logró mediante la aplicación de cola fría. Así las probetas trabajaron como un conjunto, el papel no se desprendió de la probeta producto de la carga aplicada en el ensayo. El papel que se ocupó en el diseño de las probetas, es un papel de 220 gr/m<sup>2</sup>, conocido como papel ecológico, el cual en su interior considera fibras largas las que aportaron resistencia a la flexión.

Las placas con un 10% PE, 10% PP y 10% EPS fueron ensayadas a los 21 días, según las recomendaciones dada por Miles (2006). Los resultados obtenidos no fueron los óptimos debido a que a los 21 días existía agua del amasado, esto se debe a que la piel que compone este material impide que esta se libere en el tiempo mencionado, por lo cual las probetas en los siguientes porcentajes de agregados livianos fueron ensayadas a los 28 días. Esta humedad mejora el curado de la mezcla, pudiendo ser un factor relevante en relación a la resistencia mecánica.

Las placas que lograron la mayor resistencia, son las fabricadas con Piedra Pómez (PP) al 20%, alcanzando un promedio de 318 N de carga resistida. Esto se traduce a que se podría incorporar un mayor porcentaje de PP a la mezcla, para así lograr disminuir más la densidad de ésta.

## **5.2. Resistencia al Impacto**

Basándose en la normativa vigente correspondiente a la NCh 146 of. 2000, que establece un diámetro máximo de hendidura dejada de 20mm por la bola normalizada, todas las placas cumplen con lo mencionado en la norma, alcanzando una mejora entre un 7,3% a un 25,6% en relación a los resultados obtenidos del ensayo aplicado a las placas de Yeso Cartón.

## **5.3. Clasificación RH o RF**

Según los resultados, las placas de suelo cemento no clasifican como RH (Hidroresistente) debido a que ningún tipo de placa en sus diferentes dosificaciones, aumenta su masa menos de 5%, luego de absorber agua en las condiciones especificadas. Todas están cerca del requisito mencionado dado que los valores varían entre un 8,8% y un 17%, pero se demuestra que mientras mayor sea el porcentaje de agregado liviano, aumenta la cantidad de agua que puede absorber la placa debido a la cantidad de vacío en el interior. No obstante, este resultado presenta mejoras sustanciales en comparación con las placas de Yeso Cartón, las cuales absorbieron un 50,7% de agua.

Por otra parte tampoco clasifican como RF (resistente al fuego), puesto que su resistencia al fuego no se sostuvo por más de 1800 segundos. Las probetas con un 10% de agregados livianos (PE y PP) lograron mejores resultados que las placas de Yeso Cartón, sin embargo, las probetas con un 20% de agregados livianos (PE y PP), tuvieron un resultado deficiente en comparación a los resultados de las placas de Yeso Cartón.

La diferencia entre la resistencia se explica a que el fuego daña la piel que es la que resiste la carga a la tracción que está sometida en el ensayo, pasando a cumplir un rol fundamental la mezcla de Suelo Cemento. Al aumentar la cantidad de agregado liviano hay menos mezcla que cumple el rol de aglomerante.

## **5.4. Ensayos Comparativos**

Con la incorporación de agregados livianos, se esperaba un buen resultado, por el porcentaje de aire que aporta el agregado liviano, el cual produce una buena aislación térmico-acústica, además de las características que aporta el suelo, como se vio expresado en los ensayos.

Las placas de suelo cemento son capaces de mantener la temperatura estable entre los 19° C a 26°C durante un tiempo prolongado en relación al yeso Cartón que sigue absorbiendo temperatura, las placas de suelo cemento tienen la capacidad de absorción lenta de temperatura existente en su entorno o explicado de otra manera, el aumento de temperatura en la cara que está expuesta a la fuente de emisión en el tiempo es bajo y la transmisión tiende a ser constante en el tiempo.

Con los ensayos acústicos el suelo cemento y el yeso cartón, presentan similitudes siendo despreciable en sus diferencias, las que varían aproximadamente en 3dBA, estando en el rango de 9dBA a 12dBA.

### **5.5. Densidades**

Es factible la incorporación de agregados livianos tales como Perlita Expandida y Piedras Pómez para lograr disminuir las densidades de las probetas o placas, sin que se vean afectadas directamente las propiedades mecánicas. Se mantiene la posibilidad de aumentar el porcentaje de agregados livianos a las placas, dado los resultados obtenidos en los ensayos a la flexión, ensayo con mayor resistencia mecánica y que demuestra la óptima resistencia que poseen las placas estudiadas sobre las placas de Yeso Cartón de 15 mm de espesor que se encuentran en el mercado. Sin embargo la densidad de las placas de suelo cemento sigue siendo un 100% mayor que la densidad de las placas de yeso cartón estándar.

### **5.6. Conclusión**

Luego del análisis por ensayo realizado, se entregan las conclusiones que surgen de esta investigación:

El tipo de suelo a utilizar es un factor fundamental en la calidad y resistencia de las probetas, ya que es la base o materia prima de éstas, es por esto que debe cumplir con todos los requisitos solicitados.

Queda demostrado en los resultados de los ensayos que el agua es un factor esencial en la obtención de calidad y resistencia de la mezcla de suelo cemento, ya que este último requiere de una adecuada hidratación para producir la reacción química de sus partículas.

Del tiempo de curado, para la realización de los ensayos, debe ser de 28 días y no 21 días como lo menciona (Miles, 2006), dado que el papel protege al núcleo, logrando que el agua de curado quede en el interior por más tiempo de lo esperado.

Tras la realización de los ensayos de granulometría y límites de consistencia a la muestra de suelo escogido para la realización de la investigación, según el criterio AASTHO, éste corresponde a una Arena Limosa Arcillosa, que es considerado apto para la estabilización con cemento.

Es factible la incorporación de EPS a la mezcla de Suelo cemento para la fabricación de probetas, sin embargo, los buenos resultados se ven afectados directamente por el diámetro de las perlitas, las cuales deben tener un diámetro menor a los 2,5 mm.

Las probetas con un 20% de PE Y PP fueron ensayadas a los 28 días. Con los ensayos de flexión se notó que hubo un mayor tiempo de maduración del cemento, por ende, se obtuvo mejores resultados.

Luego de presentados los resultados y análisis se puede decir que es factible la incorporación de Perlita Expandida y Piedras Pómez a la mezcla de Suelo cemento con microfibras de polipropileno, luego de demostrar bajo estudio que cumplen con los requisitos mecánicos establecidos en la NCh 146 of 2000.

Luego de demostrar la factibilidad de incorporación de agregado liviano a la mezcla de Suelo Cemento con Microfibras de Polipropileno, no viéndose perjudicadas las propiedades físicas y mecánicas, se logró disminuir la densidad de las placas, respecto al estudio anterior, lo que entrega mayor trabajabilidad a las placas, para así lograr un revestimiento prefabricado interior, poseedor de

mejores características en comparación a las entregadas por las placas de Yeso Cartón. Estas características son: mejor resistencia a la flexión, mejor resistencia al impacto, mejor resistencia a la absorción de humedad y un mejor aislamiento térmico.

### **5.7. Futuras Investigaciones**

Se propone para futuras investigaciones el aumento del porcentaje de agregados livianos (PP y PE) o la incorporación de EPS con un diámetro menor de 2,5mm y la incorporación de Cenizas Volantes a la mezcla, aumentando su resistencia como ya se ha demostrado en hormigones.

## **Bibliografía**

Amarayol et al., 2003. *Hormigones con agregados livianos*. Rosario, Argentina: DEPARTAMENTO DE MECANICA APLICADA Y ESTRUCTURAS, FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS INGENIERIA Y AGRIMENSURA-UNR.

Barbero, P.E., Garcia, C.S. & Sanchez, S.S., 2011. *Universidad Carlos III de Madrid*. [Online] Available at: <http://ocw.uc3m.es/mecanica-de-medios-continuos-y-teoria-de-estructuras/mecanica-de-materiales-compuestos/material-de-clase-1/introduccion> [Accessed 28 June 2012].

Barros, L. & Imhoff, F., 2010. Resistencia sismica del suelo-cemento postensado en construcciones de baja complejidad geometrica. *revista de la construccion*, pp.26-38.

Barros, L. & Imhoff, F., 2010. Resistencia sismica del suelo-cemento postensado en construcciones de baja complejidad geometrica. *revista de la construccion*, pp.26-38.

Begliardo, H. et al., n.d. *LADRILLOS DE SUELO-CEMENTO ELABORADOS CONSUELOS SUPERFICIALES Y BARROS DE EXCAVACIÓN para pilotes*. Santa Fe, Argentina: Universidad Tecnologica Regional, Facultad Regional Rafaela.

Canales, R., 2010. *Incorporacion de Microfibra de Polipropileno en mezcla de suelo cemento*. Valparaiso: Universidad de Valparaiso.

Carmona, S. & Cabrera, M., 2009. Comportamiento al corte de hormigones reforzado con fibras. *Revista Ingenieria de construccion*, pp.79-94.

Carozzi, R., 2010. *Conservación y Restauración de libros Representativos de la Colección Neruda*. Memoria para optar al Postitulo de restauración del Patrimonio Cultural Mueble. Santiago: Universidad de Chile Universidad de Chile.

Cusa, J., 1995. *Revestimientos 2*. España: Grupo editorial Ceac S.A.

De Villanueva, L., Lasheras, F., Del Rio, M. & Hernandez-Olivares, F., 1994. Modelo Matemático del comportamiento mecánico en flexión del cartón-yeso. *informes de la construccion*, pp.43-51.

Empresas CMPC, 2010. *Papelnet*. [Online] Available at: <http://www.papelnet.cl/pdf/papel.pdf> [Accessed 01 Julio 2012].

Enria, L.F., 2009. *"El suelo estabilizado, un tema para la meditacion constructiva"*. Entre rios, Colombia:  
[http://www.regionalono.colegioarquitectos.org.ar/despachos.asp?cod\\_des=4745&ID\\_Seccion=24](http://www.regionalono.colegioarquitectos.org.ar/despachos.asp?cod_des=4745&ID_Seccion=24).

Gaete, M., 2010. *plataforma arquitectura*. [Online] Available at: <http://www.plataformaarquitectura.cl/2010/04/17/estrategias-morfologicas-de-diseno-sismo-resistente-para-la-construccion-contemporanea-en-tierra-portante/> [Accessed 25 April 2012].

Godoy, 2010. *Analisis Comparativo entre ladrillos artesanales ceramicos y ladrillos de suelo cemento*. Valparaiso: Universidad de Valparaiso.

Gómez, S., 2008. *Materiales Compuestos con Propiedades a la Carta. Diseño de interfases*. Madrid: Universidad Carlos III, De Madrid.



harborlite, 2013. <http://www.harborlite.cl/perlita.htm>. [Online] Available at: <http://www.harborlite.cl/perlita.htm> [Accessed 2013].

INE, 2005. *INE.cl*. [Online] Available at: [http://www.ine.cl/canales/sala\\_prensa/archivo\\_documentos/enfoques/2005/files/enf\\_clas\\_hog.pdf](http://www.ine.cl/canales/sala_prensa/archivo_documentos/enfoques/2005/files/enf_clas_hog.pdf) [Accessed 01 May 2012].

Instituto Nacional de Normalizacion, 2000. *NCh146/2.of2000*. Chile: INN.

ISCYC (Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto), 2007. El estado del arte del suelo cemento en estructuras de pavimentos II. *Revista del ISCYC*, pp.5-18.

ISCYC, 2007. El estado del arte del suelo cemento en estructuras de pavimentos II. *Revista del ISCYC (Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto)*, pp.5-18.

López, F., 2013. *Factibilidad tecnica del uso de suelo tratado con cemento, mejorado con microfibra de polipropileno, como revestimiento prefabricado interior*. Valparaiso: Universidad de Valparaiso.

Maccaferri, 2008. *Fibras como elemento estructural para el refuerzo del hormigon - Manual Técnico*.

Maraño Rodriguez, A. & Guillén Viñas, J., 2011. *El enfibrado de los materiales de Construcción. Sostenibilidad en la Construcción y la Industria*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica superior de ingeniería de minas.

Martíns, C. et al., 2009. Selección de Suelos y Métodos de control en la Construcción con Tierra. *Red Iberoamericana PROTERRA*, I, p.34.

Maturana, C.J., 2005. *Determinación de correlación entre densidad aparente y la resistencia a la compresión en Hormigones Livianos con Poliéstireno Expandido*. Tesis. Valparaíso: Universidad de Valparaíso.

Miles, C.P.S., 2006. *Análisis Comparativo entre Ladrillos de Suelo Cemento Tradicionales y Ladrillos de Suelo Cemento Baja Densidad*. Tesis. Valparaíso: Universidad de Valparaíso.

Ministerio De Vivienda y Urbanismo, 2011. *Decreto Supremo N°47 de 1992*. Santiago, Estado: Ordenanza General de Urbanismo y Construcción.

Minke, G., 2001. *Manual de Construcción en Tierra, La tierra como Material de construcción y sus aplicaciones en la arquitectura actual*. Montevideo, Uruguay: Nordan-Comunidad.

MINVU, 2010. *Clasificación de la construcción, y materiales de construcción adobe, contemplado en las clases de Construcción E y F*. DDU - ESPESÍFICA N°18/2010 CIRCULAR ORD. N° 0338. Jefe división de desarrollo urbano.

Moraño, R.A. & Guillén, V.J.L., 2010. El enfibrado de los materiales de construcción. In *VIII Jornadas Iberoamericanas de Materiales de Construcción*. Lima, Peru, 2010.

Moraño, A. & Gullén, J., 2010. "El enfibrado de los materiales de construcción" Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España, 2010.

Pasco, 2012. *pasco productos*. [Online] Available at: [www.pasco.com](http://www.pasco.com) [Accessed 2013].

Payán, M.d.L., 2002. Estabilización de sahcab con cemento Pórtland Tipo I para la construcción de pisos en viviendas rurales. *Ingeniería*, pp.33-45.

Roux, R. & Olivares, M., 2002. Utilizacion de ladrillos de adobe estabilizados con cemento portland al 6% y reforzados con fibra de coco, para muros de carga en tampico. *Informes de la construccion*, pp.39-50.

Sergio, C. & Manuel, C., 2009. Comportamiento al corte de hormigones reforzado con fibras. *Revista Ingeniería de construccion*, pp.79-94.

Solcrom, 2002. <http://www.solcrom.cl>. [Online] Available at: [http://www.solcrom.cl/productos/productospdf/nuevos/Cola\\_Fria\\_Normal.pdf](http://www.solcrom.cl/productos/productospdf/nuevos/Cola_Fria_Normal.pdf).

Toirac, J., 2008. El Suelo-Cemento como material de Construcción. *Red de Revista Científica de América Latina, el Caribe, España y Potugal. Redalyc.com*, XXXIII(4), p.53.

## ANEXO A, Cohesión del núcleo a altas temperaturas

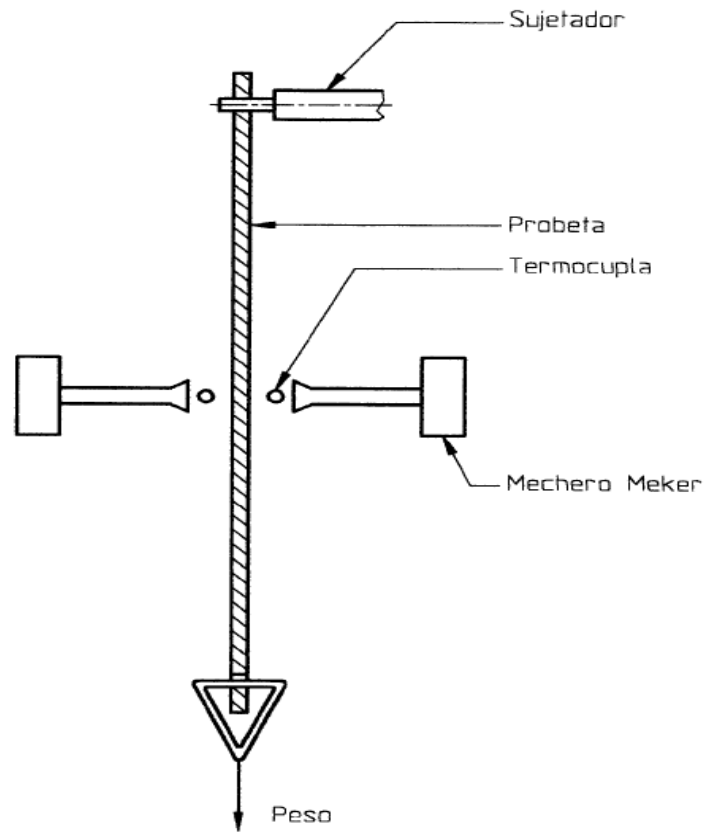


Figura A. 1. Esquema del montaje de aparato para determinar la cohesión del núcleo a altas temperaturas, fuente: (Instituto Nacional de Normalización, 2000)

Dimensiones en milímetros

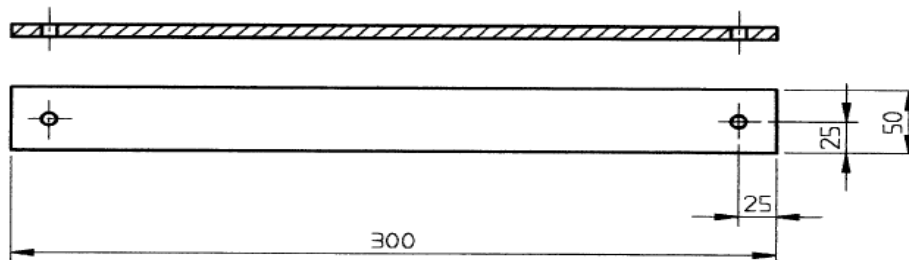


Figura A. 2. Detalle de perforación probeta para ensayo de cohesión del núcleo a altas temperaturas, fuente: (Instituto Nacional de Normalización, 2000)

## ANEXO B, Tablas de ensayos Mecánicos

Tabla 1 Resistencia a la Flexión Yeso Cartón, Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO FLEXIÓN			
material	probeta	carga kg.	carga N.
Y-C ST	1	18,8645	185,0
	2	18,1507	178,0
	3	26,8181	263,0
	4	27,1240	266,0
	5	17,9465	176,0
	6	27,7649	272,3
	7	19,3325	189,6
	8	27,8743	273,4
	promedio	22,98	225,4
	Desv. Estan		46,5
	Intervalo		[178,9 ; 271,9]
	Pro. Corr.		225,9

Tabla 2 Resistencia a la Flexión 10% Perlita Expandida, Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO FLEXIÓN			
material	probeta	carga kg.	carga N.
10% PE	1	24,1707	237,0
	2	22,7005	222,6
	3	22,7267	222,9
	4	20,2267	198,4
	5	18,8751	185,1
	6	26,6024	260,9
	7	23,4584	230,1
	8	24,8344	243,5
	promedio	22,95	225,1
	Desv. Estan		24,2
	Intervalo		[200,8 ; 249,3]
	pro. Corre.		231,2

Tabla 3 Resistencia a la Flexión 10% Piedra Pómez, Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO FLEXIÓN			
material	probeta	carga kg.	carga N.
10% PP	1	24,8753	243,9
	2	26,3634	258,5
	3	22,4677	220,3
	4	22,0441	216,2
	5	24,8673	243,9
	6	27,4398	269,1
	7	34,2679	336,1
	8	45,7447	448,6
	promedio	28,51	279,6
	Desv. Estan		77,8
	Intervalo		[201,8 ; 357,4]
	pro. Corr.		255,4

Tabla 4 Resistencia a la Flexión 10% EPS, Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO FLEXIÓN			
material	probeta	carga kg.	carga N.
10% EPS	1	14,9910	147,0
	2	13,6293	133,7
	3	14,9860	147,0
	4	14,6710	143,9
	5	28,9217	283,6
	6	25,7640	252,7
	7	16,7834	164,6
	8	18,8455	184,8
	promedio	18,57	182,2
	Desv. Estan		55,9
	Intervalo		[126,3 ; 238,1]
	pro. Corr.		153,5

**Tabla 5 Resistencia a la Flexión 20% Perlita Expandida, Fuente: Elaboración Propia**

ENSAYO FLEXIÓN			
material	probeta	carga kg.	carga N.
20% PE	1	21,9558	215,3
	2	20,2495	198,6
	3	28,3274	277,8
	4	31,8857	312,7
	5	25,3476	248,6
	6	39,2002	384,4
	7	22,4136	219,8
	8	23,4786	230,3
	promedio	26,61	260,9
	Desv. Estan		62,1
	Intervalo		[198,8 ; 323,0]
	pro. Corr.		250,7

**Tabla 6 Resistencia a la Flexión 20% Piedra Pómez, Fuente: Elaboración Propia**

ENSAYO FLEXIÓN			
material	probeta	carga kg.	carga N.
20% PP	1	31,9620	313,4
	2	33,5499	329,0
	3	28,9834	284,2
	4	35,6659	349,8
	5	45,9470	450,6
	6	21,9865	215,6
	7	33,9669	333,1
	8	30,9375	303,4
	promedio	32,87	322,4
	Desv. Estan		66,2
	Intervalo		[256,2 ; 388,6]
	Pro. Corre.		318,8

Tabla 7 Resistencia a la Flexión 20% EPS con Arpillera, Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO FLEXIÓN			
material	probeta	carga kg.	carga N.
20% EPS Arpillera	1	16,3504	160,3
	2	22,4468	220,1
	3	26,6413	261,3
	4	18,0366	176,9
	5	18,9645	186,0
	6	17,8548	175,1
	7	22,1543	217,3
	8	20,5734	201,8
	promedio	20,38	199,8
	Desv. Estan		32,5
	Intervalo		[167,6 ; 233,4]
	pro. Corr.		204,0

Tabla 8 Resistencia al Impacto Yeso Cartón, Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO RESISTENCIA AL IMPACTO YESO-CARTÓN 15mm						
CODIGO	PROBETA	MEDIDA 1 (mm)	MEDIDA 2 (mm)	PROMEDIO (mm)		HUELLA (mm)
ST	1,00	17,50	17,55	17,53		17,61
	2,00	17,70	17,70	17,70		
	3,00	16,90	17,20	17,05		
	4,00	17,30	17,20	17,25		

Tabla 9 Resistencia al Impacto 10% Perlita Expandida, Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO RESISTENCIA AL IMPACTO 10% PERLITA EXPANDIDA 15mm						
CODIGO	PROBETA	MEDIDA 1 (mm)	MEDIDA 2 (mm)	PROMEDIO (mm)		HUELLA (mm)
10% PE	1,00	14,40	14,90	14,65		14,37
	2,00	14,20	14,40	14,30		
	3,00	14,50	13,80	14,15		
	4,00	14,80	14,00	14,40		

Tabla 10 Resistencia al Impacto 10% Piedras Pómez, Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO RESISTENCIA AL IMPACTO 10% PIEDRAS POMEZ 15mm						
CODIGO	PROBETA	MEDIDA 1 (mm)	MEDIDA 2 (mm)	PROMEDIO (mm)		HUELLA (mm)
10% PP	1,00	13,10	13,10	13,10		13,10
	2,00	13,20	13,20	13,20		
	3,00	12,90	13,10	13,00		
	4,00	13,65	14,40	14,03		

Tabla 11 Resistencia al Impacto 10% Poliestireno Expandido, Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO RESISTENCIA AL IMPACTO 10% POLIESTIRENO EXPANDIDO 15mm						
CODIGO	PROBETA	MEDIDA 1 (mm)	MEDIDA 2 (mm)	PROMEDIO (mm)		HUELLA (mm)
10% EPS	1,00	15,10	15,10	15,10		15,17
	2,00	16,20	16,20	16,20		
	3,00	14,50	13,90	14,20		
	4,00	14,20	14,70	14,45		

Tabla 12 Resistencia al Impacto 20% Perlita Expandida, Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO RESISTENCIA AL IMPACTO 20% PERLITA EXPANDIDA 15mm						
CODIGO	PROBETA	MEDIDA 1 (mm)	MEDIDA 2 (mm)	PROMEDIO (mm)		HUELLA (mm)
10% PE	1,00	14,40	13,90	14,15		14,12
	2,00	13,90	14,60	14,25		
	3,00	14,30	13,60	13,95		
	4,00	14,20	14,50	14,35		

Tabla 13 Resistencia al Impacto 20% Piedra Pómez, Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO RESISTENCIA AL IMPACTO 20% PIEDRAS POMEZ 15mm						
CODIGO	PROBETA	MEDIDA 1 (mm)	MEDIDA 2 (mm)	PROMEDIO (mm)		HUELLA (mm)
10% PP	1,00	16,00	16,00	16,00		16,32
	2,00	17,00	17,00	17,00		
	3,00	15,80	16,10	15,95		
	4,00	15,40	14,40	14,90		



Tabla 14 Absorción de humedad Yeso Cartón estándar, Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO RESISTENCIA A LA HUMEDAD YESO CARTON			
CODIGO	m0 (grs)	m1 (grs)	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN
ST	1.012,3	1.515,4	50,7%
	972,2	1.501,1	
	1.077,1	1.595,5	

Tabla 15 Absorción de humedad 10% Perlita Expandida, Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO RESISTENCIA A LA HUMEDAD 10 % PERLITA EXPANDIDA			
CODIGO	m0 (grs)	m1 (grs)	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN
10% PE	2.601	2.867	10,6%
	2.017,7	2.190,7	
	2.419,8	2.733,8	

Tabla 16 Absorción de humedad 10% Piedras Pómez, Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO RESISTENCIA A LA HUMEDAD 10 % PIEDRA POMEZ			
CODIGO	m0 (grs)	m1 (grs)	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN
10% PP	2.553	2.702	8,8%
	2.229,6	2.464,7	
	2.457,9	2.707,7	

Tabla 17 Absorción de humedad 20% Perlita Expandida, Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO RESISTENCIA A LA HUMEDAD 20 % PERLITA EXPANDIDA			
CODIGO	m0 (grs)	m1 (grs)	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN
20% PE	2.105,7	2.555,6	17,0%
	2.124,8	2.431,8	
	2.001,8	2.305,3	

Tabla 18 Absorción de humedad 20% Piedras Pómez, Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO RESISTENCIA A LA HUMEDAD 20 % PIEDRA POMEZ			
CODIGO	m0 (grs)	m1 (grs)	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN
20% PP	1.999,5	2.448,5	16,3%
	2.043,2	2.298,9	
	2.005,2	2.285,3	

Tabla 19 Resistencia Alta Temperaturas Yeso Cartón estándar, Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO RESISTENCIA ALTAS TEMPERATURAS YESO CARTON				
CODIGO	PROBETA	TIEMPO (S)	TEMPERATURA °C	PROMEDIO TIEMPO
ST	1	94	878	83,80
	2	80	865	
	3	86	869	
	4	76	850	
	5	83	870	

Tabla 20 Resistencia Alta Temperaturas 10% Perlita Expandida, Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO RESISTENCIA ALTAS TEMPERATURAS 10% PERLITA EXPANDIDA				
CODIGO	PROBETA	TIEMPO (S)	TEMPERATURA °C	PROMEDIO TIEMPO
10% PE	1	94	645	148,40
	2	144	749	
	3	206	920	
	4	166	697	
	5	132	671	

Tabla 21 Resistencia Alta Temperaturas 10% Piedra Pómez, Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO RESISTENCIA ALTAS TEMPERATURAS 10% PIEDRA POMEZ				
CODIGO	PROBETA	TIEMPO (S)	TEMPERATURA °C	PROMEDIO TIEMPO
10% PP	1	198	686	304,40
	2	368	893	
	3	329	857	
	4	341	876	
	5	286	759	

Tabla 22 Resistencia Alta Temperaturas 20% Perlita Expandida, Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO RESISTENCIA ALTAS TEMPERATURAS 20% PERLITA EXPANDIDA				
CODIGO	PROBETA	TIEMPO (S)	TEMPERATURA °C	PROMEDIO TIEMPO
20% PE	1	27	443	37,20
	2	36	533	
	3	40	521	
	4	44	546	
	5	39	529	

**Tabla 23 Resistencia Alta Temperaturas 20% Piedra Pómez, Fuente: Elaboración Propia**

<b>ENSAYO RESISTENCIA ALTAS TEMPERATURAS 20% PIEDRA POMEZ</b>				
<b>CODIGO</b>	<b>PROBETA</b>	<b>TIEMPO (S)</b>	<b>TEMPERATURA °C</b>	<b>PROMEDIO TIEMPO</b>
20% PP	1	89	831	87,40
	2	84	833	
	3	90	854	
	4	86	823	
	5	88	831	