



**FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE CONSTRUCCIÓN CIVIL**

**PLACA EN BASE A SUELO ARCILLOSO Y AGREGADOS
NATURALES CONSIDERANDO CRITERIOS TÉCNICOS**

POR

ÁLVARO ANDRÉS GONZÁLEZ BRUNA

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE LICENCIADO EN
CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN Y AL TITULO DE
INGENIERO CONSTRUCTOR**

PROF. GUÍA: CLAUDIO CARRASCO ALDUNATE

Diciembre, 2016

DEDICATORIA

Nunca pensé que iba a ser tan difícil poder escribir lo que quiero expresar, bueno son las 5 am y la verdad es que estoy agotado, los dedos atrofiados, los ojos cansado, la espalda adolorida por la permanente postura. Me detengo a pensar como expresar lo que quiero decir, ya son las 5:10, y la verdad es que aún no encontré las palabras armónicas para escribir, nunca me había tocado dedicarle algo a alguien, quizás eso no está bien de mi parte, cómo en 28 años nunca he dedicado nada a nadie, que poca pasión de mi parte.

Hay dos personas enormes que se vienen a mi cabeza, uno es mi padre del que ya quedan pocos recuerdos e imágenes, pero queda lo que soy hoy y él es parte de mí, y me siento muy orgulloso de ser quien soy hoy. Me queda el legado que me dejó y que lo descubrí ahora que soy padre, tras darme cuenta de la intensidad con la que me despierta el jugar, abrazar, amar y comprender a mi hijo, pues entonces entiendo que hubo un padre el cual hizo lo mismo con migo. Este trabajo que ha tenido varias etapas, en tiempos distintos, reflejan de una u otra forma mi personalidad, personalidad que es también la tuya. Te dedico este trabajo a ti padre, con alegría y comprensión.

La segunda persona es mi madre, como no... mi madre, es a ella a quien debo muchas cosas, pues me considero una persona poco racional, más bien que actúa por instinto, muchas veces sin pensar. Bien a mis 28 años aun mi madre es un apoyo importante en mi formación, en mi búsqueda del sentido real de existir. Dedico todo el esfuerzo y lo prolijo, lo bello que pueda tener este trabajo a ti madre querida. Mis noches y mis esfuerzos por sacar a delante esto no son ni el más destello reflejo del esfuerzo que tú has hecho por nosotros cuatro. Gracias.

Bueno hay una tercera persona que comienzo a describir, la verdad es que aun no entiendo muy bien el porqué de su interés enorme en titularme, me ha puesto miles de ejemplos y aun no entiendo profundamente la esencia de ese interés, pero bueno, lo comprenderé de seguro algún día. Este trabajo también es dedicado a ti tata, te transmito todo mi esfuerzo, toda mi energía para tus días, también eres parte importante en lo que soy hoy, pues eres una de las ramas más fuertes de este árbol familiar.

AGRADECIMIENTOS

ya con los dedos más distendidos, son las 5:30 am, me pondré a agradecer uno por uno a las personas que considero que han sido de gran ayuda y apoyo, no tan solo en este trabajo, que si bien es muy importante, sino que en mi formación como persona.

Freddy González Bruna. Gracias hermano por tu paciencia y conocimiento, me alegra saber que hoy en día te encuentras en un momento pleno de tu vida. Gracias por los consejos y la preocupación que siempre tienes con los demás, es decir, aprendiste a entregar sin esperar respuesta. Un abrazo enorme

María Victoria González Bruna. Hermana muchas gracias por ese consejo que me diste hace unas pocas horas atrás, me ayudo a reincorporarme en este trabajo, te deseo lo mejor, gracias por transmitirme tu experiencia. Te quiero decir con mucho cariño que no te sientas frustrada por tu labor como profesora, no eres tu quien no es capaz de entregarlo todo, sino es el sistema de enseñanza y la vida que nos han plasmado quien no te deja entregar la dedicación y la ayuda a tus alumnos, pues más importante que educar hoy en día, es adoctrinar.

María Fernanda González Bruna. Hermana pequeña, al igual que el Freddy tu sabes entregar mucho desde tu corazón, agradezco los esfuerzos que hiciste por ayudarme en los momento que te lo pedí, durante este proceso, bueno y durante otro también, eres muy comprensiva y sabes escuchar. Gracias y te deseo lo mejor en la decisión que estas próxima a tomar.

Relmu Collao González. Jajajja hijo mío guardare este agradecimiento para cuando aprendas a leer, te amo y agradezco el que estés en este mundo, hay muchas cosas que tenemos por vivir juntos y eso me alegra de una forma antes no experimentada. Te amo.

Marcelo Rengifo: don Marcelo agradezco profundamente sus enseñanzas, es Ud. una persona admirable, por su paciencia y dedicación con pasión, me alegra saber que sus intereses son inagotables por aprender, en un futuro no muy lejano estaremos trabajando juntos, construyendo con el único material que tiene un sentido más profundo construir. El barro.

Agradezco a las personas del laboratorio de construcción de la UV; al Aldo, a Don Juan y a Don Víctor. Agradezco también a las personas que permanentemente han preguntado “cuando entregarás”, sin haberme dado cuenta antes hay muchas personas que se preocupan por mí y eso me hace pensar en que debo entregar más con los demás.

Me despido contento de haber terminado esta etapa.

Índice General

Lista de figuras	8
Lista de tablas.....	9
Lista de gráficos.....	10
RESUMEN	11
Capítulo I: Antecedentes Generales	12
1.1 Introducción	12
1.2 Justificación del Estudio.....	13
1.3 Objetivos de la investigación	14
1.3.1 Objetivo general	14
1.3.2 Objetivos específicos.....	14
1.4 Hipótesis.....	14
1.5 Alcances	15
1.6 Metodología de la investigación	16
1.7 Estructura de la tesis.....	17
Capítulo II: Conceptos Generales	18
2.1 Construcción natural	18
2.1.1 Definición.....	18
2.1.2 Construcción con tierra cruda.....	18
2.1.3 Normativa en Chile	19
2.1.4 Técnicas de construcción natural	20
2.1.5 Ventajas de la construcción con tierra.....	23
2.1.6 Desventajas de la construcción con tierra	24
2.2 Placas de suelo como revestimiento.....	24
2.3 Clasificación de suelos	25
2.3.1 Preparación de la muestra.....	25
2.3.2 Granulometría.....	25
2.3.3 Límites de consistencia	25
2.3.4 Clasificación de suelo según USCS	26
2.4 Cielos Falsos	27
2.4.1 Generalidades.....	27

2.4.2 Clasificación.....	28
Capítulo III: Suelo Arcilloso	32
3.1 El suelo como material de construcción.....	32
3.1.1 Generalidades	32
3.1.2 Composición.....	32
3.2 Características de las arcillas.....	35
3.2.1 Generalidades	35
3.2.2 Arcillas	35
3.2.3 Clasificación de las arcillas según su estructura.....	37
3.2.4 Aspectos físico-químicas de las arcillas	38
3.3 Suelos arcillosos.....	39
3.3.1 Textura y composición de suelos finos	39
3.3.2 Propiedades de suelos arcillosos	39
Capítulo IV: Agregados estabilizadores de suelo.....	43
4.1 Generalidades	43
4.2 Clasificación de los agregados según origen y tipo de estabilización.....	43
4.3 Estabilización con cal.....	44
4.3.1 Generalidades	44
4.3.2 Clasificación de las cales.....	44
4.3.3 Reacción de las cales con los suelos finos	45
4.3.4 Temática ambiental	46
4.4 Estabilización con puzolanas	46
4.4.1 Generalidades	46
4.4.2 Clasificación de las puzolanas.....	47
4.4.3 Las puzolanas en la construcción	47
4.5 Estabilización con fibras	49
4.5.1 Generalidades	49
4.5.2 Paja de trigo.....	50
4.5.3 La paja de trigo en la construcción natural.....	51
4.6 Estabilización con aserrín.....	55
4.6.1 Aserríos de madera.....	55

4.6.2 Fuentes de residuos de madera.....	55
4.6.3 Aserrín.....	55
4.6.4 Temática ambiental	56
4.6.5 El aserrín como material para construir	56
Capítulo V: Diseño de la investigación.....	58
5.1 Caracterización de los materiales constituyentes	59
5.1.1 Caracterización suelo patrón	59
5.1.2 Caracterización paja de trigo.....	60
5.1.3 Caracterización ceniza volcánica	60
5.1.4 Caracterización aserrín.....	60
5.1.5 Caracterización cal	60
5.2 Etapa II: Obtención de probetas Tipo A.....	61
5.2.1 Suelo - Paja de trigo	61
5.2.2 Suelo - Paja de trigo - Ceniza volcánica.....	62
5.2.3 Suelo – Paja de trigo – Ceniza volcánica – Aserrín	63
5.3 Etapa III: Obtención de probetas Tipo B.....	64
5.3.1 Suelo – Cal - Fibra vegetal - Aserrín.....	64
5.4 Ensayos	65
5.4.1 Ensayo de resistencia a la flexión.....	65
5.4.2 Ensayo de comportamiento térmico	66
5.4.3 Ensayo de comportamiento acústico	67
5.4.4 Ensayo de comportamiento al fuego	68
Capítulo VI: Desarrollo de la Investigación.....	70
6.1 Caracterización de los materiales constituyentes	70
6.1.1 Caracterización de suelo patrón	70
6.1.2 Caracterización de la ceniza volcánica.....	75
6.1.3 Caracterización de la paja de trigo	78
6.1.4 Caracterización del aserrín	79
6.1.5 Caracterización de la cal	81
6.2 Etapa II: Resultados para Placa Tipo A.....	82
6.2.1 Resultados ensayo a flexión. Suelo – Variación paja de trigo	82

6.2.2 Resultado ensayo a flexión. Suelo-10% paja de trigo- Variación Ceniza volcánica.....	84
6.3 Etapa III: Resultados para la Placa Tipo B.....	86
6.3.1 Resultados ensayo a flexión. Suelo-10% Paja de trigo- variación de Cal.....	86
6.4 Ensayos comparativos entre placa de suelo estabilizado con variación % de aserrín y una placa de cielo americano.....	89
6.4.1 Ensayo comparativo de resistencia a la flexión.....	89
6.4.2 Ensayo comparativo de comportamiento térmico.....	91
6.4.3 Ensayo comparativo de resistencia al fuego.....	92
6.4.4 Ensayo comparativo de comportamiento acústico.....	94
Capítulo VII: Conclusiones y comentarios.....	95
Referencias bibliográficas.....	97
ANEXOS.....	99

Lista de figuras

Figura 1.1: Metodología de la investigación	16
Figura 2.1: Técnica mixta.....	21
Figura 2.2: Revoque grueso (izquierda), revoque fino (derecha)	22
Figura 2.3 Clasificación de cielos falsos.....	28
Figura 2.4 Cielo raso (derecha), cielo modular (izquierda)	29
Figura 2.5: Cielo directo (derecha, Cielo suspendido (izquierda)	29
Figura 2.6: Estructura de soporte.....	30
Figura 2.7: Cielo falso especial tipo isla.....	31
Figura 3.1: Horizontes principales de suelo	33
Figura 3.2: Etapas de desarrollo de un suelo, con sus horizontes principales.....	33
Figura 3.3: Tipología de suelo en territorio Chileno.....	34
Figura 3.4: Esquema de la estructura de la lámina silícica.....	35
Figura 3.5: Esquema de una unidad hexagonal de una lámina silícica	36
Figura 3.6: Esquema de la estructura de la lámina alumínica.....	36
Figura 3.7: Hojuela de arcilla amplificada 15.000 veces	41
Figura 4.1: Tipos y especies de fibra	50
Figura 4.2: Componentes de la técnica mixta	52
Figura 5.1: Esquema de máquina para determinar resistencia a la flexión	65
Figura 5.2: Cámara térmica.	66
Figura 5.3: Cámara térmica disponible en laboratorio de construcción UV.	67
Figura 5.4: Equipo Xplorer GLX y sensores de temperatura superficial.....	67
Figura 5.5: Sensor de sonido para Xplorer GLX. Fuente: (Pasco, 2012)	68
Figura 5.6: Montaje de aparato para determinar cohesión de núcleo a altas temperaturas	69
Figura 6.1: Mapa extracción de suelo	70
Figura 6.2: Muestra de suelo, Marchigüe	70
Figura 6.3: Mapa extracción de ceniza volcánica.....	75
Figura 6.4: Muestra de ceniza volcánica, Marchigüe.....	76
Figura 6.5: Longitud de paja de trigo.	78
Figura 6.6: Aserrín	79
Figura 6.7: Cal hidráulica.....	81
Figura 6.8: Placas ensayadas a flexión	83
Figura 6.9: Placas ensayas al fuego.	92

Lista de tablas

Tabla 2.1 Resistencia al fuego referente a albañilería de adobe	19
Tabla 2.2 Composición granulométrica de la tierra para fabricación de adobe.	20
Tabla 2.3: Diagrama de clasificación. Fuente: Farías, 2005	27
Tabla 3.1: Valores referentes de cohesión Kg/cm ²	40
Tabla 3.2: Variación de la permeabilidad según la textura del suelo	41
Tabla 3.3: Variación de la permeabilidad según la estructura del suelo	42
Tabla 4.1: Clasificación de estabilizantes segun origen y acción sobre el suelo	44
Tabla 4.2: Resistencia a compresión en morteros con adición de toba volcánica y ceniza de bagazo de caña de azucar.....	48
Tabla 4.3: Superficie de siembra de cereales.....	51
Tabla 4.4: Reducción de la retracción del mortero de barro arcilloso con adición de fibra vegetal	51
Tabla 4.5: Reducción de la resistencia del barro con adición de paja de trigo	54
Tabla 4.6: Residuos forestales.....	55
Tabla 5.1: Variables de diseño, suelo-paja de trigo	61
Tabla 5.2: Variables de diseño, suelo-paja de trigo-ceniza volcánica.	62
Tabla 5.3: Variables de diseño, suelo-paja de trigo-ceniza volcánica-aserrín.....	63
Tabla 5.4: Variables de diseño, suelo-cal. Fuente: Elaboración propia, 2016.....	65
Tabla 6.1: Suelo Marchigüe.....	71
Tabla 6.2: Granulometría suelo Marchigüe	71
Tabla 6.3: Limite liquido suelo Marchigüe	72
Tabla 6.4: Límite plástico, suelo Marchigüe.....	73
Tabla 6.5: Indice de plasticidad	74
Tabla 6.6: D.ap.s suelo patrón.....	75
Tabla 6.7: Granulometría de la ceniza volcánica.....	76
Tabla 6.8: D.ap.s de la ceniza volcánica.	77
Tabla 6.9: D.ap.s de la paja de trigo.	78
Tabla 6.10: Granulometría del aserrín	79
Tabla 6.11: D.ap.s del aserrín	80
Tabla 6.12: D.ap.s cal hidráulica.....	81
Tabla 6.13: Carga de flexión para variaciones de paja de trigo	82
Tabla 6.14: Carga de flexión para variación de ceniza volcánica	84
Tabla 6.15: Resistencia a la flexión, placa tipo B, estabilizada con cal	86
Tabla 6.16: Resistencia a la flexión placa cielo americano	89
Tabla 6.17: Resistencia a la flexión placa tipo A con variación % de aserrín	89

Lista de gráficos

Grafico 4.1: Resistencia a compresión muestra de suelo estabilizado con cal-puzolana	49
Grafico 4.2: Reducción de la retracción del mortero de barro arcilloso con adición de fibra vegetal ..	52
Grafico 4.3: Reducción de la resistencia del barro con adición de paja de trigo	54
Grafico 6.1: Granulometría suelo Marchigüe	72
Grafico 6.2: Curva de flujo	72
Grafico 6.3: Carta de plasticidad	74
Grafico 6.4: Granulometría de ceniza volcánica	77
Grafico 6.5: Granulometría del aserrín	80
Grafico 6.6: Densidades aparentes de los materiales	82
Grafico 6.7: % paja de trigo v/s resistencia a la flexión	83
Grafico 6.8: Resistencia a la flexión placa tipo A estabilizada con ceniza volcánica	84
Grafico 6.9: % de materiales constituyentes de la placa Tipo A	85
Grafico 6.10: Resistencia a la flexión placa tipo B estabilizada con cal	86
Grafico 6.11: Cantidad de material constituyente de placa Tipo B	87
Grafico 6.12: Resultado de ensayos a flexión con los distintos agregados	88
Grafico 6.13: Ensayo comparativo de resistencia a la flexión, entre probetas de suelo y probetas de cielo americano	90
Grafico 6.14: Difusión térmica a los 50°C	91
Grafico 6.15: Grafica de temperaturas en las caras	92
Grafico 6.16: Cohesión del núcleo a altas temperaturas	93
Grafico 6.17: Ensayo acústico en distintas frecuencias	94

RESUMEN

La investigación se fundamenta bajo dos conceptos. El impacto ambiental que genera el rubro de la construcción en general y el de los materiales, en particular, utilizados en su ejecución y la alta demanda que se requiere de un alta cantidad de materiales para satisfacer las demandas constructivas actuales, es por eso que. Este estudio está enfocado en crear un nuevo material a base de suelo arcilloso y agregados naturales para ser usado como un elemento de cielo falso tipo modular. Se prueban varios materiales con la finalidad de obtener una placa que cumpla con las condiciones técnicas mínimas. El suelo arcilloso se trabaja de dos formas. La primera es en estado húmedo, donde se deja en proceso de curado por un tiempo mínimo de 48 horas. Y la segunda forma lo hace con el suelo triturado y seco, el que se hidrata al mezclar los materiales. La estabilización del suelo se realizó incorporando paja de trigo, la que le brinda estabilidad estructural, y ceniza volcánica, estabilidad mecánica, para la primera forma en estado húmedo. Para la segunda forma en estado seco se incorporó la paja de trigo y se reemplazó la ceniza volcánica por cal. Luego de evaluar ambos comportamientos se escogió aquel que presentaba más ventajas. Como última intervención se buscó alivianar el elemento incorporándole aserrín.

Luego de varios ensayos de laboratorio, los resultados indicaron que una mezcla en estado húmedo con paja de trigo 10%, ceniza volcánica 20% y aserrín 20% en peso, logro un 37% más resistencia que la estabilización con cal y se logró alivianar en 28% con respecto al suelo sin aserrín. La resistencia con este último agregado se vio comprometida en más de un 50%, pero aun así es factible su utilización como cielo falso, cumpliendo resistencias mínimas.

Palabras claves: placa de suelo arcilloso, agregados naturales, estabilización.

Capítulo I: Antecedentes Generales

1.1 Introducción

Desde mediados del siglo XIX, en pleno auge de la Revolución Industrial las prácticas constructivas tradicionales empezaron a ser abandonadas debido a la aparición de agregados comerciales que comenzaron a dominar el campo de la construcción. Se trata de materiales de naturaleza distinta a los de origen histórico, elaborados a través de complejos procesos químicos y realizados con el objetivo de satisfacer demandas determinadas. En el mercado actual existen gran variedad de estos materiales con fines y usos industriales específicos. Debido a ello se ha comenzado a prescindir progresivamente de los sistemas constructivos tradicionales entrando cada vez más en el olvido los materiales de origen natural.

De la misma forma, la industrialización de los materiales, trae consecuencias ambientales debido a la extracción localizada de materias primas, las largas distancias de traslados desde el lugar de fabricación al de uso y el enorme gasto energético usado en la elaboración, dejando consecuencias en los ecosistemas hasta el punto de intervenirlos a mayor velocidad del que ellos pueden regenerarse. Un ejemplo claro de lo anterior son materiales como el Poliestireno expandido y extruido (EPS y XPS) que al igual que otros materiales sintético, como el PVC, poliuretano, polietileno, entre otros, utilizan como materia prima petróleo. La producción de las dos variedades a partir de sus materias primas semi-manufacturadas origina la emisión de estireno y benceno agentes nocivos para la salud y el medio ambiente. Además de utilizar agentes hinchables como el hidroclorofluorocarbonos (HCFC) que destruye la capa de ozono (IPCC, 2005).

En este contexto, se expone la presente investigación que propone una alternativa que permite contrarrestar los efectos de la emisión de contaminantes y reincorporar el uso del suelo como elemento constructivo, fabricando una placa de suelo arcillosos y agregados naturales; la paja de trigo absorbe las retracciones por secado, la ceniza volcánica y la cal estabilizan el elemento otorgando resistencia y el aserrín como un agregado alivianador.

Para esto se realizarán una serie de probetas en laboratorio, las cuales se someterán a ensayos mecánicos, ensayo térmico, acústico y de resistencia al fuego. El desarrollo en laboratorio implica hacer un análisis comparativo con placas de similares características existentes en el mercado, por lo que se someterán a igual condición de ensayos placas de cielo modular de fibra mineral marca Armstrong.

Se espera que la placa a base de suelo arcilloso entregue cualidades tales que le permitan ser usada como revestimiento de cielo falso y por tanto transformarse en una alternativa económica y amigable con el medioambiente para el acondicionamiento de espacios habitacionales.

1.2 Justificación del Estudio

El creciente aumento de la industria en países desarrollados o en vías hacia ello, en conjunto con otras variables sociales como la conciencia tecnócrata y la creencia de que las materias primas son ilimitadas, nos hacen pensar que nuestros actos no repercuten directamente en los ecosistemas.

Lo anterior sin embargo está lejos de reflejar lo real, puesto que la cantidad de residuos así como la cantidad de recursos consumidos (energía y materias primas) en todo el ciclo de vida (extracción, construcción, mantención y residuo) que se genera en el sector de la construcción y de la industria en general aportan significativamente en el deterioro de la naturaleza y de nuestra calidad de vida.

Es así como, la construcción emplea aproximadamente la mitad de los recursos que el hombre consume de la naturaleza, se considera que el 25% de los residuos son residuos de construcción y demolición (Alarcón, 2005) y más del 70% de la energía mundial se mueve alrededor de este sector (Oteiza y Tenorio, 2007) lo que lo convierte en uno de los sectores con más influencia en el cambio climático.

Chile no se encuentra al margen de dichas cifras, estudios recientes estiman que en el 2009 los desechos sólidos alcanzaron 16,9 millones de toneladas, de las cuales 6,5 millones corresponden a residuos municipales y 10,4 millones a residuos industriales. El sector de la construcción desempeña un rol de protagonista puesto que es el mayor generador de residuos aportando entre un 26% y un 34% en el periodo 2000-2009 respecto al total de residuos generado por el país (CONAMA, 2011)

Diversas han sido las organizaciones que se han interesado en profundizar sobre el deterioro de los ecosistemas en relación con el bienestar humano. Las conclusiones muestran que nuestro modelo de vida provoca una demanda de recursos y servicios de los ecosistemas muy superior a la tasa de regeneración de los mismos; los residuos se producen a una velocidad mayor de la que el entorno puede absorber, se están reduciendo la capacidad de los ecosistemas, provocando cambios en algunos casos irreversibles, están aumentando las diferencias sociales y económicas entre los países ricos y pobres y los efectos medioambientales potencian aún más esta diferencia (Millenium Ecosystem Assessment, 2005).

Además, existe un incremento en la construcción de edificios de planta libre. Según un catastro de GPS Global Property Solutions, entre 2014 y 2016 ingresarían al mercado capitalino 122 torres -43 de ellas lo harían este (2014) año- de oficinas Clase A y B. (Gutiérrez, 2014). De lo anterior se desprende, también, un incremento en la demanda de elementos constructivos de revestimiento, horizontales y verticales.

Dicho lo anterior, surge la necesidad de estudiar e investigar elementos constructivos y/o arquitectónicos que demanden menos energía y cuyo ciclo de vida generen menos impacto en el ambiente. Por ello se plantea esta investigación que pretende evaluar la efectividad de usar suelo arcilloso con distintos agregados naturales como solución de cielo falso y aplicarlos en el acondicionamiento de espacios habitacionales.

Así se busca dar respuesta a las demandas energéticas vinculadas a la fabricación del material, que si bien en esta investigación se fabrican a baja escala, no quita que el proceso se pueda industrializar, como se hace con los adobes en EE.UU (Rotondaro, 2008), puesto que este busca materias primas abundantes, como lo son el suelo y distintas materias orgánicas y los trabaja utilizando herramientas simples con un bajo costo energético.

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

- Evaluar la factibilidad técnica del uso de suelo arcilloso, con agregados naturales para la fabricación de una placa de revestimiento de cielo falso.

1.3.2 Objetivos específicos

- Definir dosificaciones adecuadas de paja de trigo para la confección de placas de revestimiento de cielo falso en base a suelo arcilloso.
- Definir dosificaciones adecuadas de aserrín para la confección de placas de revestimiento de cielo falso en base a suelo arcilloso.
- Definir dosificaciones adecuadas de estabilizado de ceniza volcánica para la confección de placas de revestimiento de cielo falso en base a suelo arcilloso
- Determinar resistencias mecánicas, térmicas y acústica de la placa.
- Definir dosificaciones adecuadas de estabilizado de cal para la confección de placas de revestimiento de cielo falso en base a suelo arcilloso

1.4 Hipótesis

“La utilización de una mezcla de suelo arcilloso estabilizado con ceniza volcánica o cal agregados de paja y aserrín, hará factible la confección de una placa de revestimiento de cielo falso”

1.5 Alcances

Las placas serán diseñadas a partir de materias primas tales como; suelo arcillosa, fibras vegetales (paja de trigo), aserrín, cal hidráulica y ceniza volcánica. El suelo y la ceniza volcánica son propias la zona del secano costero de la 6ta región, por lo cual la extracción de dichas materias corresponden a yacimientos naturales que se encuentran dentro de Comuna de Marchigüe.

Se realizará un análisis comparativo entre las placas de suelo arcilloso con agregados naturales y una existente en el mercado. Esta última es placa de cielo americano de fibra mineral de 12,5 cm de espesor.

Para realizar los ensayos comparativos se toman como referencia las siguientes normas; NCh851 Of83 para ensayos de comportamiento térmico, NCh146/1 Of2000 y NCh146/2 Of2000 para ensayos mecánicos.

Los ensayos realizados en este trabajo toman solo como referencia las normas descritas en el párrafo anterior ya que se ven sujeto a modificaciones para poder ser desarrollados de acuerdo a los materiales e instrumentos dispuestos en los laboratorios de la escuela de construcción civil UV. Esto no altera el análisis comparativo ya que los dos tipos de placas son ensayadas en iguales condiciones.

El diseño de la placa está pensada para ser usada como un revestimiento de cielo falso tipo modular registrable y las consideraciones en las estructuras auxiliares y perfilaría que la sostienen están normados por NTM-001 y NCh433.

1.6 Metodología de la investigación

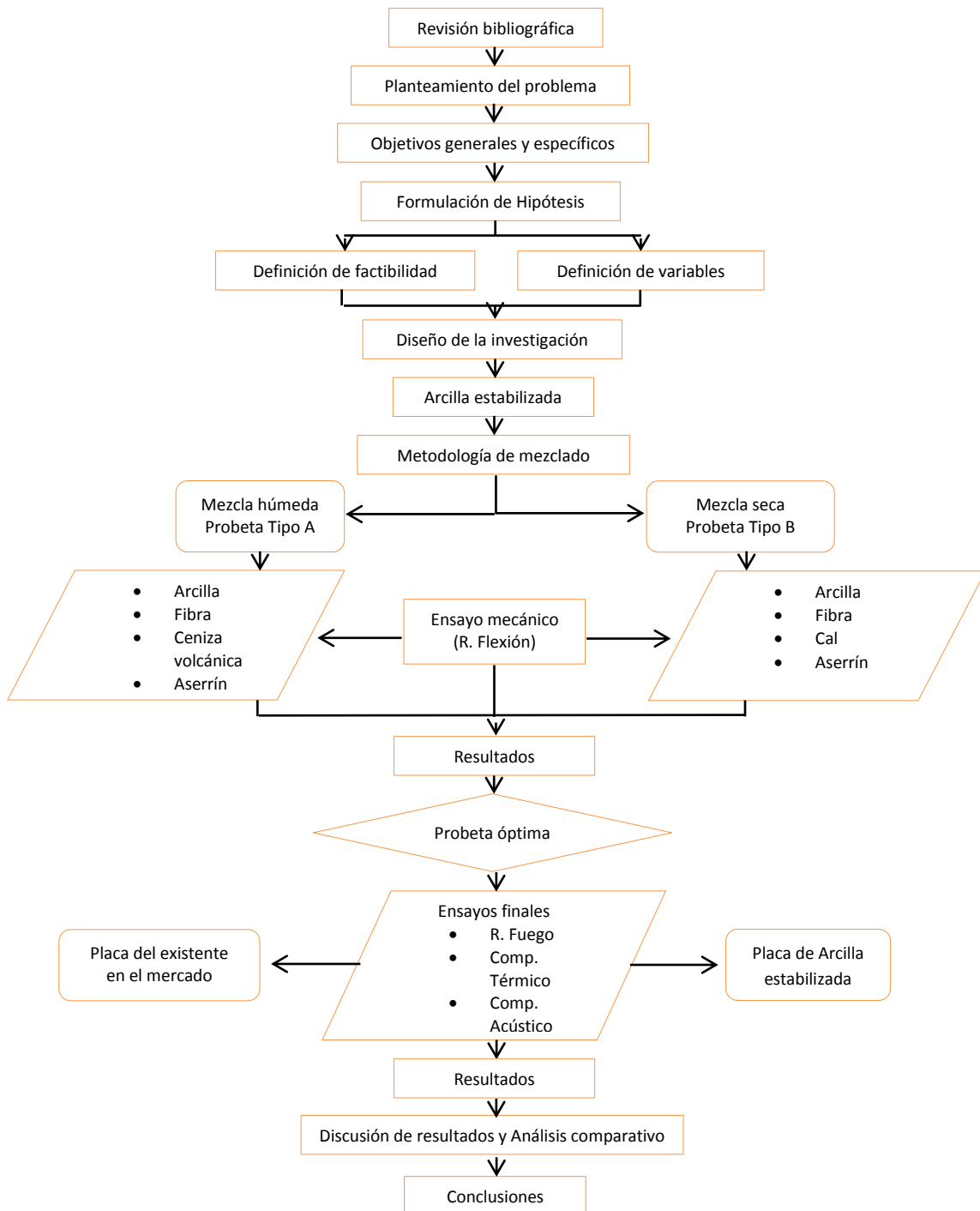


Figura 1.1: Metodología de la investigación

1.7 Estructura de la tesis

La presente tesis está organizada en 7 capítulos con el fin de dar cumplimiento a los objetivos planteados.

En el capítulo I se plantea el problema que da origen a la presente investigación, justificando las razones de su elección y así, exponer lo que se espera obtener con el estudio.

El capítulo II forma parte del marco teórico, donde se citan conceptos generales asociados a la investigación, buscando contextualizar de mejor forma el tema propuesto.

El capítulo III forma parte del marco teórico, donde se presentan las características y propiedades de los suelos arcillosos y de la arcilla en particular, visualizando de mejor forma el comportamiento de este tipo de suelos.

El capítulo IV forma parte del marco teórico, donde se presentan los tipos de estabilización y la clasificación de los agregados estabilizantes según su origen. Además se presentan las principales características de los estabilizantes utilizados en la investigación.

El capítulo V presenta el diseño experimenta respecto a las variables que estarán involucradas, siendo este uno de los más importantes debido que a través de lo planteado en este capítulo se debe conseguir los objetivos propuestos.

En el capítulo VI se presenta el análisis de los resultados obtenidos a partir de la evaluación de los distintos ensayos realizados.

El capítulo VII presenta las conclusiones obtenidas en función a los objetivos planteados y al trabajo experimental.

Capítulo II: Conceptos Generales

2.1 Construcción natural

2.1.1 Definición

La construcción natural, enmarcada dentro de un contexto de desarrollo sustentable, esto es, ecológico, social, económico y de gobernanza, es un sistema de edificación realizado con materiales de bajo impacto ambiental, reciclados o reciclables, o extraíbles mediante procesos sencillos y de bajo costo energético. Se vincula al patrimonio cultural, a las tecnologías tradicionales y empíricas. Utiliza materiales de origen natural principalmente la tierra, las piedras, las maderas y las fibras.

2.1.2 Construcción con tierra cruda

La tierra es el material constructivo más antiguo y abundante. Desde hace más de 9 mil años la humanidad ha demostrado una sorprendente capacidad para construir con tierra cruda, desde modestas viviendas hasta civilizaciones enteras. En Chile, dos tercios del patrimonio arquitectónico se encuentra construido con tierra (Silva, 2013). Representante de distintos periodos históricos y bajo una amplia gama de tipologías arquitectónicas y tecnológicas, resistiendo los numerosos eventos telúricos que caracterizan el territorio. A lo largo del país se encuentra una gran cantidad de obras, desde iglesias altiplánicas construidas con mampostería de piedra asentadas en barro, hasta grandes casonas de adobe en las zonas centro y sur, pasando por típicos cerramientos de tapial y viviendas de adobillos y construcciones mixtas de madera y barro. A pesar de que hoy en día se estima que un tercio de la población vive en viviendas a base de tierra cruda, no es un material que sea objeto de estudio en la mayoría de las universidades o centros de formación técnica.

Además, las distintas técnicas que se desarrollan con este material son sencillas y no requieren de conocimientos tecnificados respondiendo a la autoconstrucción donde cada localidad propicia sus métodos constructivos. Este se obtiene directamente del sitio cuando se excavan los cimientos por lo que disminuye o anula costos de transporte, lo mismo ocurre tras su demolición por ser un material natural y biodegradable (Que puede descomponerse en elementos químicos naturales por la acción de agentes biológicos, como el sol, el agua, las bacterias, las plantas o los animales). Las viviendas construidas en base a este material presentan hasta un 50% de ahorro en costos (Orfila, 2008) presentándose como una opción real para proyectos sociales de mitigación de campamentos. La tierra no solo hace económica a las viviendas, sino también la hace saludable. Su habitante respira dentro de un espacio natural con humedad equilibrada. Las paredes de adobe son capaces de absorben hasta nueve litros de agua producto del vapor de agua; mientras que un ladrillo cocido capta dos litros (Minke, 2001).

2.1.3 Normativa en Chile

Referente a la normativa chilena, tras el mega terremoto del 2010 se presentó un proyecto de norma de construcción en adobe al Ministerio de Vivienda y Urbanismo. La iniciativa no tuvo mayor acogida y se ignora su destino. Sin embargo se aprobó el año 2013 una norma de cálculo estructural para edificaciones patrimoniales en tierra (INN, 2013) Apuntando a resolver problemas de estabilidad en proyectos de conservación y restauración arquitectónica. De similar manera el MINVU diseño una norma dirigida a la reconstrucción patrimonial en tierra (MINVU, 2013). Se editó el manual de reparación de estructuras en tierra con financiamiento estatal. Si bien estas normas no son determinantes para ahondar en la legislación de la construcción con tierra, si permiten un inminente reconocimiento del material.

La Ordenanza General de Urbanismo y Construcción órgano que regula la edificación en Chile. En su Artículo 5.3.1 clasifica a las construcciones de albañilería de adobe como Clase F. En el Artículo 5.3.2 señala restricciones tales como que las construcciones Clase F no tendrán más de un piso y su altura libre máxima será de 3,5 metros. Señala además que los proyectos de cálculo serán en base a normativas extranjeras que más se acerque al proyecto. Referente a este último Pereira (2014) señala que no se ha recurrido a esta vía de aprobación de proyectos estructurales en tierra, debido a que no existe la confianza profesional de normas generadas en países donde el nivel sísmico no se asemeja al alto nivel nacional. Por otro lado el Artículo 4.1.10, referente a los aspectos térmicos, define dos vías de cumplimiento térmico. A través del primero se acogen soluciones constructivas de envolvente térmica según listado aprobado por MINVU. Otro es mediante el cálculo del comportamiento térmico mediante NCh 853 del año 2007, donde el adobe (no así la enorme gama de tipologías de construcción existentes) con una densidad entre 1100 Kg/m³ y 1800 Kg/m³ presenta una conductividad térmica equivalente a 0,90 W*m/k. con esto se puede calcular específicamente un muro de adobe en determinadas variables de espesor y zona climática según anexo A de dicha norma. Respecto al comportamiento al fuego el MINVU entrega información a través de la división técnica y de fomento habitacional (DITEC) un nuevo listado oficial consolidado de comportamiento al fuego de elementos y componentes de la construcción 2010 detallado en tabla 2.1.

Tabla 2.1 Resistencia al fuego referente a albañilería de adobe

Muro de albañilería de adobe				
Espesor total del elemento básico (mm)	200	250	300	350
Sin revestimiento	F-90	F-120	F-150	F-180
Con estuco o enlucido por ambas caras	F-120	F-150	F-180	F-210

Fuente: DITEC, MINVU, 2010

Cabe señalar que según las exigencias de la norma antes mencionada se requiere de un muro medianero entre dos propiedades un mínimo de F-60, es decir una hora, por lo que para cualquier caso de la tabla cumple con el mínimo.

2.1.4 Técnicas de construcción natural

2.1.4.1 Adobe

El adobe es una técnica constructiva prefabrica con una mezcla de suelo, areno arcilloso, en estado plástico, moldeable sin necesidad de compresión vertido en moldes, y que una vez seco se emplea como una mampostería trabada, unido por un mortero generalmente con una mezcla muy parecida a la del adobe, para paredes auto portantes, paredes portantes, arcos, bóvedas y cúpulas o cumpliendo funciones aislantes en entramados de madera (Adobillo). Se puede utilizar generando formas ortogonales y curvas, siempre y cuando se respete su calidad resistente a compresión cuyo valor fluctúa entre 0,6 y 2,25 Mpa.

La norma peruana NTE E 080 (SENCICO, 2000) propone los siguientes porcentajes en volumen para la tierra: arcilla – 10% a 20%. limo – 15% a 25% y arena – 55% a 70%. La tabla 2.2 muestra proporciones propuestas por varios autores.

Tabla 2.2 Composición granulométrica de la tierra para fabricación de adobe.

Autores	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)
Barrios et al (1987)	35-45		55-65
Houben y Guillaud (1994)	5-29	-	-
Graham Mc Henry (1996)	15-25	-	-
Carazas Aedo (2002)	1 volumen de tierra arcillosa: 2 volúmenes de tierra arenosa		
HB 195 (2002)	10-40	10-30	30-75 (arena y grava)
Proyecto Hornero (2007)	50% de tierra arcillosa: 50 % de tierra arenosa		

Fuente: Rotondaro, 2011.

2.1.4.2 Tapial

El tapial es una técnica de construcción de muro monolítico a través de una mezcla de suelo arenoso en estado húmedo. La mayoría de los estudios indican que los suelos apropiados para la tapia deben tener baja cantidad de limo, poca materia orgánica y contenido alrededor del 30% de arcilla y 70% de arena (CRATerre). Sin embargo, aún en suelos con distribución granulométrica similar, se tiene una gran variabilidad de los resultados que se pueden atribuir principalmente a las características de la arcilla y en algunos casos, a las de la arena. El CEDED, para la ejecución de una pared de paneles monolíticos de suelo-cemento, especifica los suelos con contenido de arena entre 45% y 90%, contenido de limo y de arcilla entre 10% y 55%, un límite líquido $\leq 45\%$, un índice de plasticidad $\leq 18\%$, y una retracción en la prueba de la caja $4 \leq 2$ cm.

La técnica consiste en rellenar un encofrado con capas de tierra de 10 a 15 cm compactando cada una de ellas con un pisón. El encofrado está compuesto por dos tableros paralelos unidos por travesaños.

La técnica tradicional de la tierra apisonada se utiliza todavía en países en vías de desarrollo. Sistemas de encofrado más sofisticados y una compactación mediante la utilización de pisones eléctricos o neumáticos reducen los costos de mano de obra significativamente y hacen de esta técnica una opción más relevante en países industrializados

2.1.4.3 Técnica mixta

Dentro de la arquitectura con tierra la técnica mixta es una de las más diversas. El sistema estructural es realizado tradicionalmente con recursos naturales (madera o bambú principalmente) y ahora industrializados. La técnica consiste en construir un armazón estructural para posteriormente llenar los entramados con barro y aplicar un revestimiento. El barro oscila entre el límite plástico y líquido permitiendo dar forma a la masa. El sistema da como resultado una estructura flexible y ligera de peso que es inherentemente resistente a los terremotos. La tierra funciona como la piel, pues regula la humedad, la temperatura y el sonido.

Bajo el principio básico se derivan un gran número de técnicas mezclando la madera con la caña, el bambú o más actualmente con el acero como la técnica propuesta por Marcelo Cortes (2006) sistema estructural denominado Quincha Metálica. Reemplazando los materiales nativos, cuyas limitaciones se acentúa en zonas urbanas, para incorporar una matriz de acero y malla soldada la cual se rellena con el denominado tecno-barro que incluye cal para amortiguar el cambio volumétrico de la arcilla y aumentar la impermeabilidad al agua.

Figura 2.1: Técnica mixta



Fuente: Cortes, 2006

2.1.4.4 Revoques

Se denomina revestimiento o revoque al proceso mediante el cual se aplica una capa externa a las superficies edificadas con tierra con la finalidad de protegerlas de los agentes ambientales y de posibles daños físicos naturales o provocados por la actividad humana. Y se aplica a partir del principio de aprovechamiento de la capacidad de adherencia entre los materiales porosos y de la necesidad de generar capas más resistentes que los sistemas constructivos básicos, pero sin que estos pierdan su capacidad de intercambiar aire y vapor de agua con el medio ambiente que los rodea.

Figura 2.2: Revoque grueso (izquierda), revoque fino (derecha)



Fuente: Cortes, 2006

Las aplicaciones de revestimiento que resultan compatibles con las estructuras de tierra son básicamente dos; las de barro y las de cal y arena. Sin perjuicio de otras aplicaciones desarrolladas por culturas locales. La aplicación de cemento en estas capas impermeabiliza la estructura de barro impidiendo el intercambio de aire y vapor antes mencionado. También se puede hablar de las pinturas como un revestimiento debiendo ser estas impermeables al agua, pero a la vez deben ser porosas, con una red continua de microcapilares que permita la difusión del vapor hacia el exterior.

El principio general consiste en la aplicación de por lo menos dos capas superpuestas la primera posee 2 cm a 3 cm de espesor y se realiza con componentes de grano grueso, la segunda capa de pocos milímetros de espesor se elabora con componentes de finas dimensiones granulares.

2.1.5 Ventajas de la construcción con tierra

1. *Regula la humedad ambiente:*

La tierra tiene la capacidad de absorber y desorber humedad más rápido y en mayor cantidad de que los demás materiales de construcción. Por eso regula el clima interior.

2. *La tierra almacena calor:*

Al igual que otros materiales densos, la tierra almacena calor. En zonas climáticas donde los cambios de temperatura son amplios, o donde es necesario almacenar la ganancia térmica por vías pasivas, la tierra puede balancear el clima interior.

3. *Ahorra energía y disminuye la contaminación ambiental:*

Prácticamente no produce contaminación ambiental en relación a los otros materiales de uso más frecuente, para preparar, transportar, y trabajar el barro en el sitio se necesita solo un 1% de la energía requerida para la preparación, transporte y elaboración de hormigón armado o ladrillos cocidos

4. *Es reutilizable:*

La tierra cruda se puede volver a utilizar ilimitadamente. Solo necesita ser triturado y humedecido con agua para ser reutilizado. De esta forma no se considera nunca como un escombros que contamine el medio ambiente.

5. *Economiza materiales de construcción y de transporte:*

Generalmente la tierra que se encuentra en la mayoría de las obras producto de la excavación de cimientos puede ser utilizado para la construcción. Si este no contiene suficiente arcilla, esta será añadida y si contiene mucha arcilla deberá mezclarse con arena modificando su composición granulométrica. En comparación con otros materiales, se puede disminuir considerablemente los costos si se utiliza el suelo excavado. Aun cuando este deba ser transportado de otros lugares resulta usualmente más económico que los materiales industriales.

6. *Es apropiado para la autoconstrucción:*

Las técnicas de construcción con tierra pueden ser ejecutadas por personas no especializadas en construcción, es suficiente la presencia de una persona experimentada controlando el proceso de construcción. Estas técnicas de construcción son ideales para trabajarlas en auto construcción por qué se puede ejecutar con herramientas sencillas y económicas, pero al mismo tiempo son más trabajosas en su ejecución.

7. *Preserva la madera y otros componentes orgánicos:*

La tierra mantiene seco los elementos de madera y los preserva cuando están en contacto directo con él, debidos a su bajo equilibrio de humedad de 0.4 a 6% en peso y a su alta capilaridad. Los insectos y hongos no pueden destruir la madera en esas condiciones ya que

los insectos necesitan un mínimo de humedad de 14 a 18% y los hongos más de 20% de humedad.

2.1.6 Desventajas de la construcción con tierra

1. No es un material de construcción estandarizado:

Su composición depende del lugar donde se extrae, puede contener distintas cantidades y tipos de arcilla, limo arena y agregados. Por eso sus características pueden variar de un lugar a otro y la preparación de la mezcla correcta para una aplicación específica puede variar también. Resulta saber la composición específica de la tierra para poder juzgar sus características y modificarlas con aditivos si fuese necesario.

2. Se contrae al secarse:

A través de la evaporación del agua (necesaria para activar la capacidad aglomerante de la arcilla y para poder ser manipulado) pueden aparecer fisuras. La retracción lineal durante el secado oscila entre el 3 y el 12%. La retracción se puede disminuir reduciendo la cantidad de agua y arcilla, optimizando la composición granulométrica mediante uso de aditivos.

3. La tierra no es impermeable:

Debe ser protegida contra la lluvia y las heladas especialmente es estado húmedo. Las paredes pueden protegerse con aleros, barreras impermeables, tratamientos de superficie, entre otros.

2.2 Placas de suelo como revestimiento

Existen dos estudios realizados sobre placas a base de suelo. El primero fue desarrollado por Félix Vidal (2012). Quien utilizó un suelo con un porcentaje de fino de 33,7% bajo tamiz N°200, estabilizado con cemento (8%) y agregado de microfibras de polipropileno (1500 g/m³), revestido con un papel para realizar ensayos comparativos con una placa de yeso cartón. Los resultados de dicha experimentación fueron concluyentes en cuanto a su resistencia a la flexión alcanzando 162,41 (N) pero su peso por metro cuadrado resultó ser muy elevado del orden de 28,8 (kg/m²).

La segunda investigación fue tomada por Rodrigo Cortes (2016) quien haciendo referencia al estudio realizado por Vidal (2012) utilizó el mismo suelo cemento con microfibras de polipropileno y le incorporó agregados livianos buscando disminuir el peso por metro cuadrado de la placa. Los resultados obtenidos por Cortes fueron satisfactorios en la incorporación de piedras pómez y perlita expandida con porcentajes de 20% alcanzando resistencias superiores a las placas de yeso cartón y logrando alivianar en un 24% el peso por metro cuadrado.

2.3 Clasificación de suelos

2.3.1 Preparación de la muestra

Se acondiciona una muestra de ensayo en estado húmedo y se homogenizando y reduce por cuarteo de acuerdo a NCh 164. Se debe obtener una muestra en estado seco ligeramente mayor a los valores indicado en la tabla 2.2 de acuerdo al tamaño máximo nominal del árido. Se registra como masa inicial. Separar, mediante lavado y tamizado, las partículas finas inferiores a 0,08 mm. la pérdida de material respecto a la masa inicial es expresado como un porcentaje de material fino según fórmula 2.1. Dichos procedimiento se llevan a cabo mediante lo estipulado en la normativa NCh 1223.

2.3.2 Granulometría

Clasificación granulométrica o granulometría, es denominada a la medición y gradación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria, de los materiales sedimentarios, así como de los suelos, con fines de análisis, tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas, y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previsto por una escala granulométrica.

La granulometría por tamizado es un proceso mecánico el cual se efectúa en laboratorio de acuerdo a la norma NCh 165 Of. 09, mediante el cual se separan las partículas de un suelo en sus diferentes tamaños, se lleva a cabo utilizando tamices en orden decreciente. La cantidad de suelo retenido indica el tamaño de la muestra, esto solo separa una porción de suelo entre dos tamaños.

2.3.3 Límites de consistencia

Los límites de Atterberg o límites de consistencia se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo del contenido de agua. Así un suelo se puede encontrar en un estado sólido, semisólido, plástico, semilíquido y líquido. La arcilla, por ejemplo al agregarle agua, pasa gradualmente del estado sólido al estado plástico y finalmente al estado líquido.

2.3.3.1 Límite Líquido

El límite líquido es la frontera entre el estado plástico y líquido. La norma NCh1517 Of79 Parte 1 establece el procedimiento para determinar el límite líquido mediante el método mecánico utilizando el acanalador de Casagrande. A través del acanalador de Casagrande se determinan humedades respecto a un número de golpes determinados, se construye un gráfico y se dibuja una curva de flujo. Las humedades se determinan mediante NCh1515. El límite

líquido (WL) se conoce como la humedad correspondiente a la intersección de la curva de flujo con la abscisa de 25 golpes.

2.3.3.2 Límite Plástico

El límite plástico es la frontera entre el estado semi-sólido y el plástico. A través de la NCh1517 Of79 Parte 2 se establece el procedimiento para determinar el límite plástico e índice de plasticidad del suelo. Consiste en Amasar una muestra entre las manos y formar un cilindro de aproximadamente 3 mm, doblar, amasar nuevamente y repetir el procedimiento hasta que el cilindro se disgregue antes de llegar a los 3 mm. Las fracciones de cilindro disgregados se colocan en un recipiente y se determina su humedad mediante NCh1515. El límite plástico (Wp) será el promedio de tres determinaciones.

2.3.3.3 Índice de plasticidad

El índice de plasticidad se define como la diferencia numérica que hay entre el límite líquido y el límite plástico, este índice indica el campo plástico de un suelo y representa el porcentaje de humedad que deben tener las arcillas para conservarse en estado plástico. Este valor permite determinar los parámetros de asentamiento de suelo y su expansividad potencial.

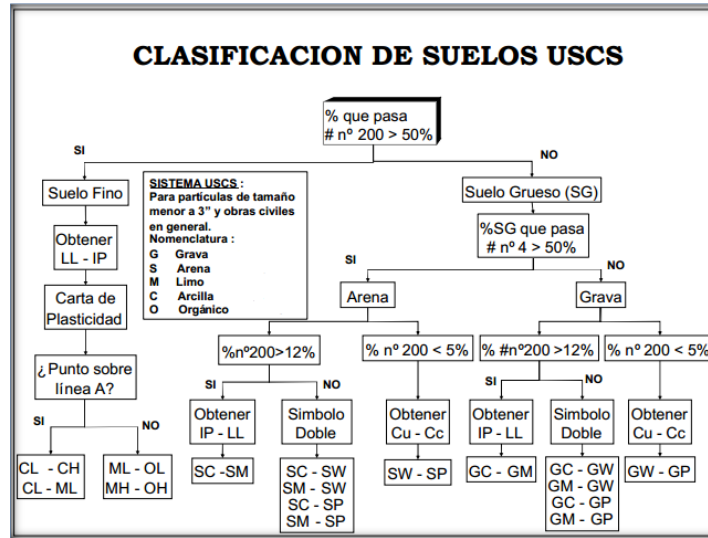
2.3.4 Clasificación de suelo según USCS

Con los datos obtenidos del análisis granulométrico y de consistencia se puede, mediante sistema USCS, describir el suelo y clasificarlo.

Este sistema divide los suelos en dos grandes grupos, uno de granos gruesos y otro de granos finos. Los suelos de grano grueso son considerados como tal cuando el 50% de su peso es mayor 0.08mm, mientras que los de grano fino son menores al 50% en 0.08mm.

La tabla 2.2 muestra los pasos a seguir en una clasificación de suelos mediante el sistema USCS. Con los datos obtenidos sobre índice de plasticidad (IP) y límite líquido (WL) se grafica sobre la carta de plasticidad (tabla 2.1). Finalmente a través de la tabla de clasificación (tabla 2.3) se clasifica el suelo.

Tabla 2.3: Diagrama de clasificación. Fuente: Farías, 2005



2.4 Cielos Falsos

2.4.1 Generalidades

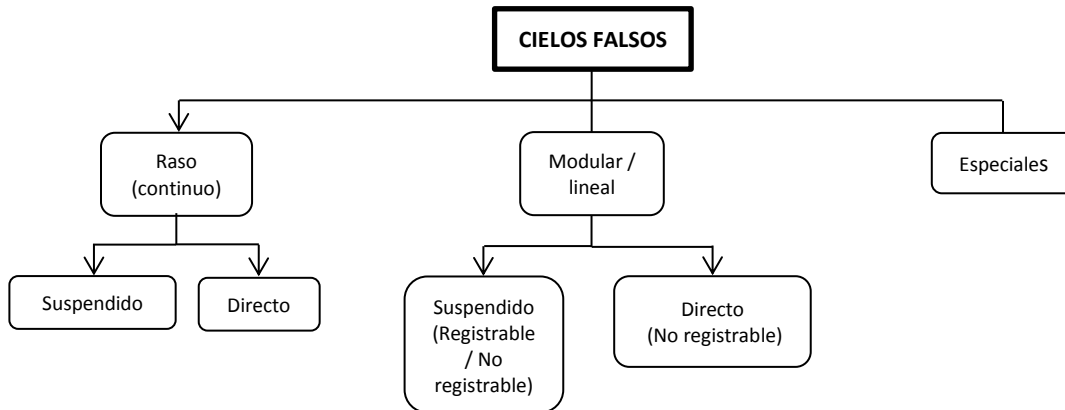
Los cielos falsos son un sistema de revestimiento superior bastante utilizados en las edificaciones que se construyen actualmente. Generalmente son horizontales, pudiendo ser inclinado o curvo que cuenta con una estructura de soporte propia y se posiciona bajo una estructura resistente. Compuesto por placas y entramado de perfiles metálicos o madera. Sus funciones son muy variadas y van de ser elementos meramente estéticos a sistemas que proveen seguridad a las estructuras, como por ejemplo, proveyendo un determinado nivel de resistencia al fuego.

En cuanto a las consideraciones sísmicas, existen especificaciones de la norma NTM-001: Diseño Sísmico de Componentes y Sistemas no Estructurales y se trabaja en conjunto a la norma NCh433 de diseño sísmico estructural, buscando desempeños compatibles entre sistemas estructurales y no estructurales al momento del sismo.

2.4.2 Clasificación

Dependiendo de las características los cielos falsos se pueden clasificar según muestra la figura 2.16 y cuyos conceptos se definen a continuación.

Figura 2.3 Clasificación de cielos falsos



Fuente: elaboración propia en base a Documento CDT N°31, 2012.

a) Cielos rasos:

Cielo falso con superficie lisa, plana, continua sin juntas visibles, y sustentados por una estructura auto portante oculta y que forman sobre ellos un “plénium” o “cámara”, de diferente dimensión, de tal manera de aportarle una mejora técnica y/o estética.

b) Cielos Modulares:

Cielo falso suspendido o directo colgado mediante anclajes y fijaciones a una estructura resistente, cuyos módulos pueden ser de tamaños estándar. A su vez pueden ser del tipo registrable donde los módulos se apoyan sobre la estructura o entramado sin fijaciones y pueden desinstalarse libremente. Y los no registrable cuyos módulos se fijan al entramado.

Figura 2.4 Cielo raso (derecha), cielo modular (izquierda)



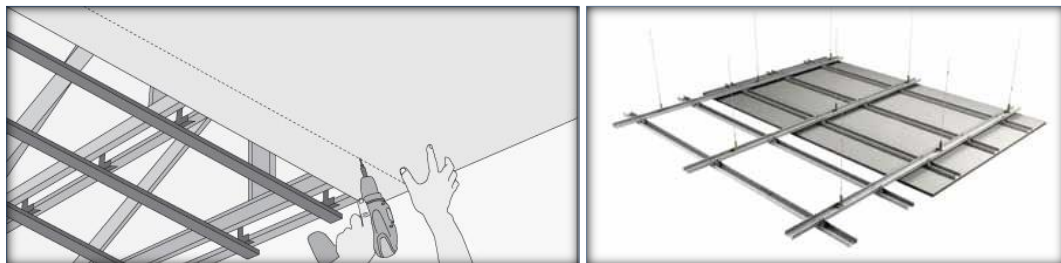
c) Cielos suspendidos:

Cielo falso donde la estructura portante de la placa se une a la estructura soportante mediante un sistema de suspensión. Figura 2.5 izquierda

d) Cielos Directos:

Cielo falso dónde las placas se fijan directamente a la estructura de la edificación, mediante anclajes directos o piezas especiales, como se ilustra en el ejemplo mostrado en la Figura 2.5 a la derecha

Figura 2.5: Cielo directo (derecha), Cielo suspendido (izquierda)



e) Placas:

Elementos planos que conforman la cara visible de un cielo falso, con diferentes dimensiones y materialidades de acuerdo a prestaciones.

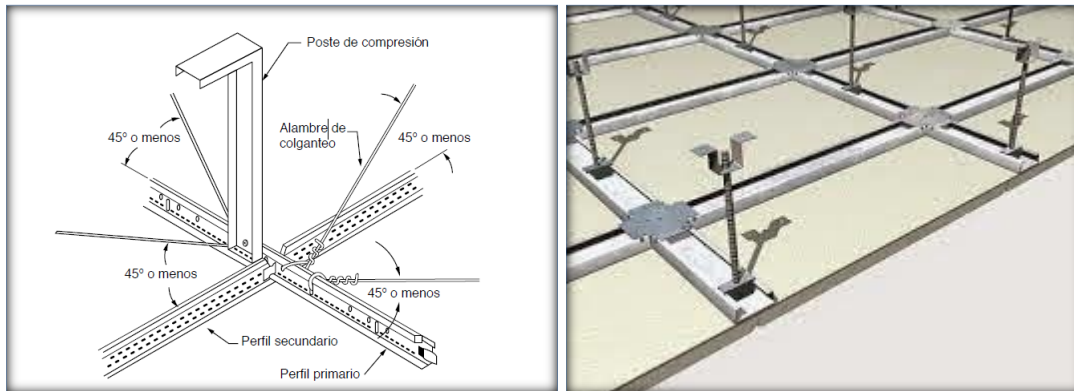
f) Estructura de soporte:

La estructura de soporte está compuesta por un sistema de suspensión, un entramado de soporte, un sistema de arriostres y elementos de fijación. El sistema de suspensión, suspende el cielo falso desde la estructura resistente, compuesto por colgadores de acero, madera u otro material. Los conectores son elemento utilizados para unir dos o más componentes de un

sistema, mientras que las fijaciones son elementos utilizados para conectar el sistema de suspensión a la estructura resistente.

A su vez las fijaciones pueden ser de impacto, mecánicas o químicas. Los anclajes mecánicos son “fijación metálica instalada después de la construcción de la estructura resistente y capaz de transferir esfuerzos a un material base que sea capaz de resistirlos.”. Mientras que los anclajes químicos son “Fijación metálica instalada después de la construcción de la estructura resistente y capaz de transferir esfuerzos a un material base que sea capaz de resistirlos, mediante la adherencia de una resina colocada entre la fijación y la estructura resistente.”. Los entramados de soporte son estructuras que soportan las placas de cielo falso, generalmente horizontal, compuesto por perfiles metálicos o de madera espaciados a una distancia determinada, que cuelga de la estructura resistente por medio del sistema de suspensión. El entramado de soporte está compuesto por perfiles primarios y secundarios. Finalmente los elementos de Arriostre se utilizan para proveer estabilidad lateral y vertical a la estructura de soporte del cielo falso.

Figura 2.6: Estructura de soporte



Fuente: documentos CDT N°31

g) Cielos falsos especiales:

Corresponden a esta categoría todos los cielos que no se ajustan cabalmente a alguna de las definiciones anteriores o comparten las características de más de una de ellas. Estos cielos falsos especiales pueden tener sistemas de suspensión alternativos, sin usar la grilla de perfiles principales y secundarios mencionados anteriormente. Inclusive pueden ser de formas no convencionales, como curvas, radiales, lineales, etc.

Figura 2.7: Cielo falso especial tipo isla



Fuente: Lindner, 2015

En el mercado existe una amplia gama de ofertas de cielos falsos, con diseños y materialidades distintas y que favorecen demandas específicas como acústicas, térmicas y de resistencia al fuego. Las dimensiones van desde 30x60 cm hasta 122x183 cm y los pesos por metro cuadrado varían entre 1,4 Kg/m² a 15 Kg/m².

Capítulo III: Suelo Arcilloso

3.1 El suelo como material de construcción

3.1.1 Generalidades

El suelo en la arquitectura está presente desde las primeras manifestaciones constructivas del hombre y tiene lugar en casi todas las regiones de clima cálido y templado, con una incidencia algo menor en los lugares fríos (Viñuales, 2007). Está compuesta por tres fases; mineral, gaseosa y líquida. La fase mineral la componen partículas de diferentes tamaños como grava, arena, limo y arcilla. Las fases restantes conformadas por gases y líquidos, ocupan los espacios vacíos entre las partículas sólidas (Sánchez, 2010). La arcilla sirve como aglomerante para pegar las partículas mayores como lo hace en el hormigón el cemento. Limo, arena y otros agregados constituyen rellenos en la tierra. Según la predominancia de estos tres componentes podemos hablar de suelos arcillosos, limosos o arenosos.

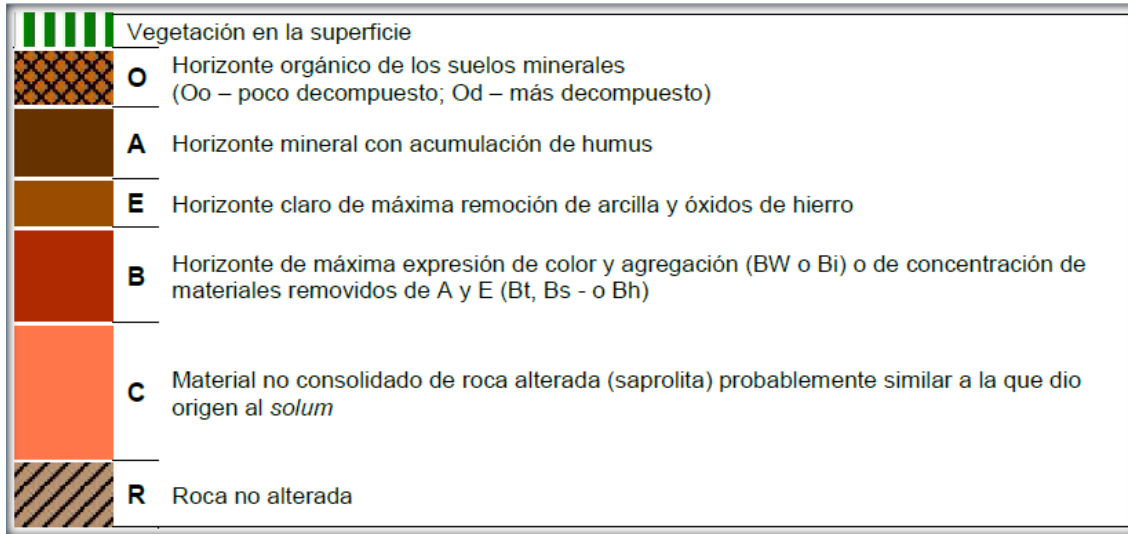
Conocer el comportamiento que tiene este material frente a distintos agentes o sollicitaciones es fundamental para dominar procesos de fabricación, ejecución y uso como material de construcción

3.1.2 Composición

En el ámbito de la Ingeniería, suelo es el término aplicado a todo material de la corteza terrestre proveniente de la descomposición de rocas. Simplemente, los suelos son el resultado de la acción del sol, la lluvia, el viento y el crecimiento de organismos en las rocas que componen la litosfera. A esta acción se le da el nombre de intemperismo físico (o sea la desintegración, lo que provoca cambios en la forma y el tamaño de las rocas) o intemperismo químico (es decir: la descomposición, con los cambios en la composición química de las rocas). La forma de intemperismo y la naturaleza de la roca madre son responsables de las diferentes características de los suelos.

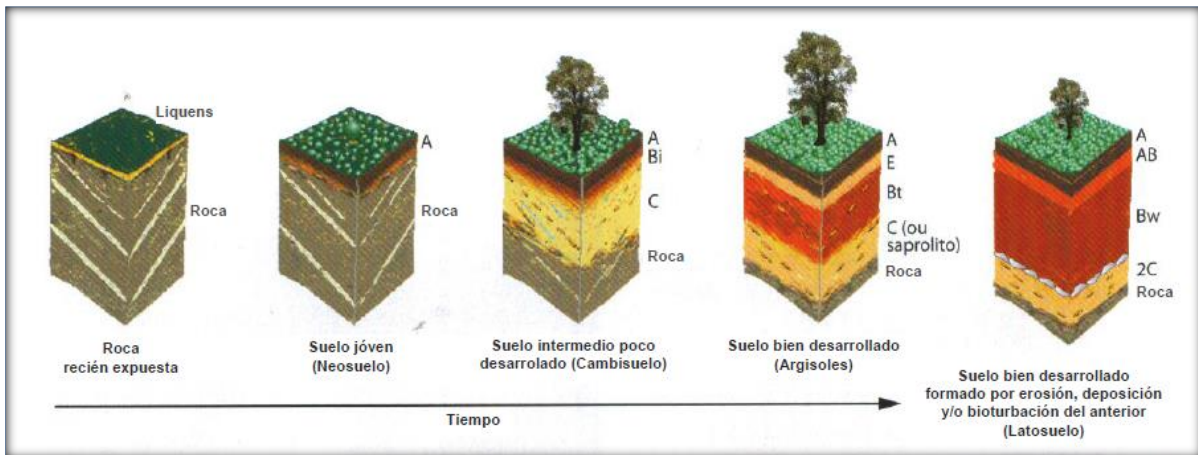
Un suelo completo y bien desarrollado se compone de varias capas distintas, llamadas horizontes principales y representados de forma esquemática en las figuras 3.1 y 3.2. El grosor de estas capas puede variar mucho de un suelo a otro, así como los horizontes pueden ser descompuestos en subhorizontes. Normalmente, para la construcción con tierra, se descarta el horizonte O, mientras que el horizonte A también puede resultar inadecuado. Entonces, los horizontes más adecuados son el E y el B.

Figura 3.1: Horizontes principales de suelo



Fuente: Lepsch, 2010.

Figura 3.2: Etapas de desarrollo de un suelo, con sus horizontes principales

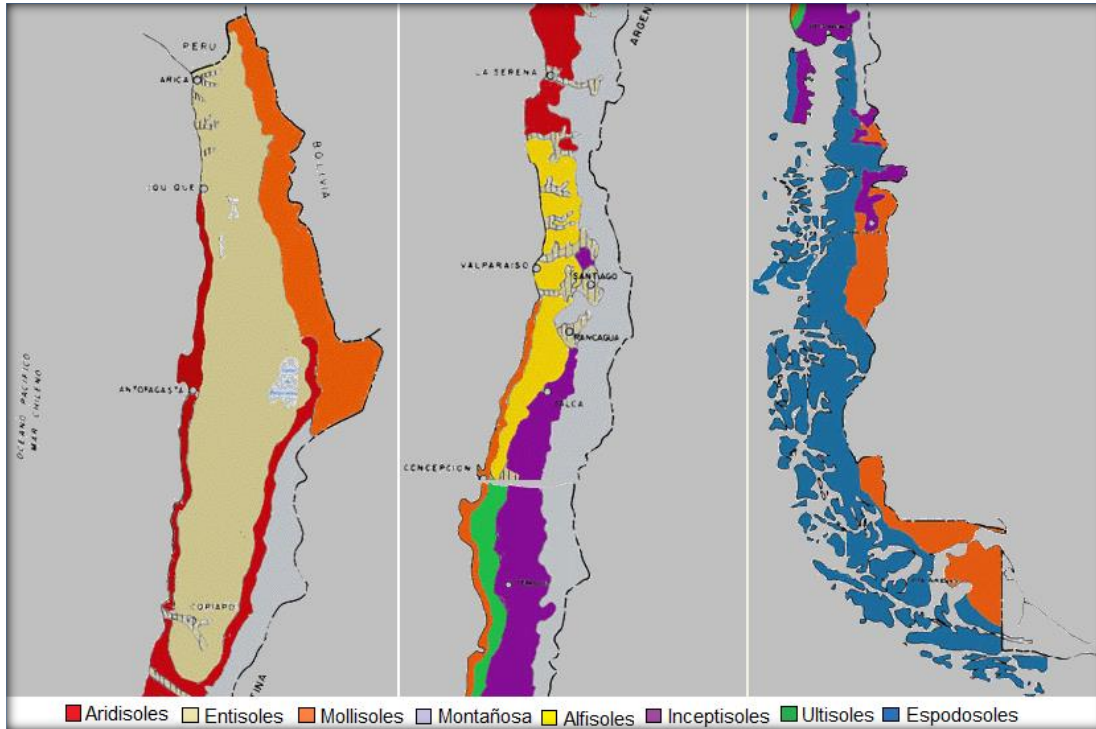


Fuente: Lepsch, 2010.

Los suelos de Chile son extraordinariamente diversos debido a la gran cantidad de procesos genéticos que han intervenido en su origen. El valle central se reconocen tres tipos de suelo: Alfisoles, Molisoles y Entisoles (Ibáñez, 2008) Los Alfisoles que se desarrollan en climas que tienen períodos áridos; por lo tanto, el perfil se presenta seco en parte del año. Muestran un horizonte B, textural generalmente; los molisoles suelos en los que se han producido la descomposición y acumulación de altas cantidades de materia orgánica. Esto entrega como resultado un humus rico en calcio (Horizonte A, AB); y los Entisoles carecen de horizontes bien desarrollados. Pueden ser suelos jóvenes, sin tiempo para desarrollarse o

viejos, pero sin desarrollo de horizontes por corresponder a materiales resistentes a la meteorización (Ibáñez, 2008)

Figura 3.3: Tipología de suelo en territorio Chileno



Fuente; FAO

Por otro lado Braccesi y Roitman (2010) señalan que la zona centro está formada por dos tipos de suelo uno originado por ceniza volcánica y otro por aglomerados volcánicos. El primero es del tipo franco arenoso a franco limoso, poseen una ligera erosión y una muy buena permeabilidad por su buena textura con un alto contenido de materia orgánica. El segundo presenta brechas altamente descompuestas de una profundidad media a delgada, del tipo arcillo limoso, con una estructura de bloques.

Se pueden, entonces, encontrar suelos idóneos para la construcción con tierra en Chile y en particular en la zona centro. Se describen suelos francos (arena 45, limo 40, arcilla 20), cuya extracción puede generar barros de buena calidad sin necesidad de mezclar suelos. De igual forma la extensión del patrimonio constructivo en tierra coincide con la zonificación descrita focalizándose desde el extremo norte (lat.18°,11'S) hasta el inicio de la región del Bío Bío (lat.36°8'S) por el sur (Silva, 2013)

3.2 Características de las arcillas

3.2.1 Generalidades

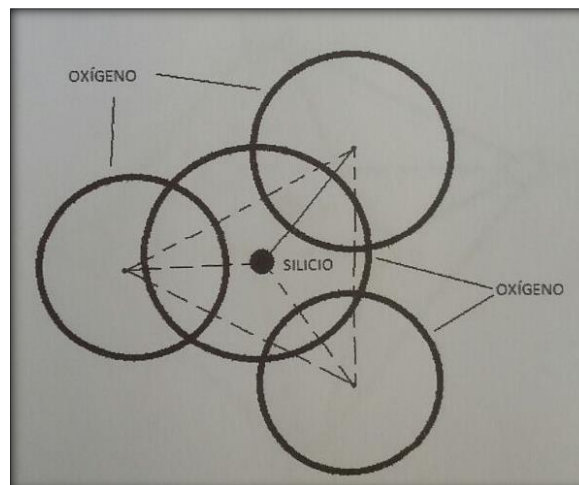
Un mineral es un sólido inorgánico y natural que tiene una estructura interna característica determinada por un cierto arreglo específico de sus átomos e iones. Su composición química y sus propiedades físicas son fijas o varían dentro de límites definidos. Sus propiedades físicas más interesantes, desde el punto de vista de identificación, son: el color, el brillo, la tonalidad de sus raspaduras, la forma de cristalización, la dureza, la forma de su fractura y disposición de sus planos cruceros, la tenacidad, la capacidad para permitir el paso de ondas y radiación (luz) y la densidad relativa.

3.2.2 Arcillas

Las arcillas están constituidas básicamente por silicatos de aluminio hidratados, presentando además, en algunas ocasiones, silicatos de magnesio, hierro y otros metales, también hidratados. Estos minerales tienen, casi siempre, una estructura cristalina definida, cuyos átomos se disponen en láminas.

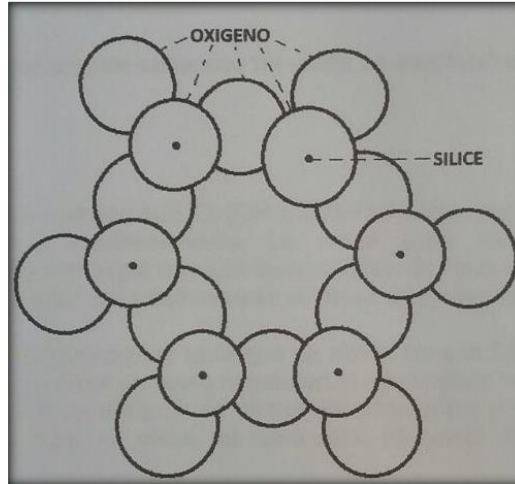
Existen dos variedades de tales láminas: la silícica y la alumínica. La primera, de tales láminas, está formada por un átomo de silicio, rodeado de cuatro de oxígeno, disponiéndose el conjunto en forma de tetraedro, tal como se muestra en la figura 3.4. Estos tetraedros se agrupan en unidades hexagonales, sirviendo un átomo de oxígeno de nexo entre cada dos tetraedros.

Figura 3.4: Esquema de la estructura de la lámina silícica



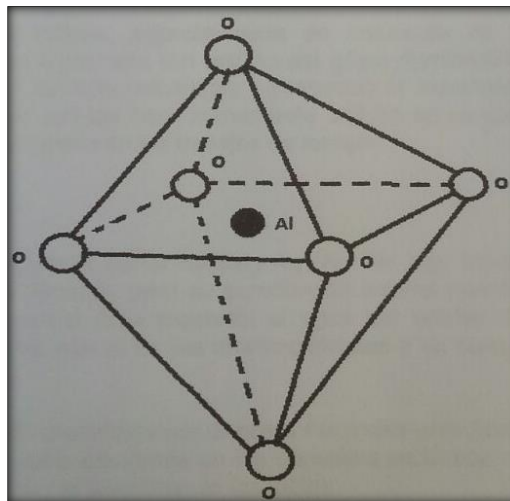
Un esquema de una unidad hexagonal aparece en la figura 3.5. Las unidades hexagonales repitiéndose indefinidamente, constituye una red de láminas.

Figura 3.5: Esquema de una unidad hexagonal de una lámina silícica



Las láminas aluminicas están formadas por retículas de octaedros dispuestos con un átomo de aluminio al centro y seis de oxígeno alrededor, tal como aparece en la figura 3.6. También ahora es el oxígeno el nexo entre cada dos octaedros vecinos, para constituir la red.

Figura 3.6: Esquema de la estructura de la lámina aluminica



3.2.3 Clasificación de las arcillas según su estructura

De acuerdo con su estructura, los minerales de arcilla se clasifican en tres grupos: caolinita, montmorillonita e ilitas

3.2.3.1 Caolinita

Las caolinitas, de fórmula química $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, están formadas por una lámina silícica y otra alumínica, que se superponen indefinidamente. La unión entre todas las reticulares lo suficientemente firme para no permitir la penetración de moléculas de agua entre ellas (adsorción). En consecuencia, las arcillas caoliníticas son relativamente estables en presencia de agua.

La caolinita es una arcilla blanca muy pura que se utiliza en la fabricación de porcelanas y de aprestos para almidonar. El caolín es un suelo natural en el que abunda la caolinita, que le aporta a menudo un color blanco. También es utilizada en ciertos medicamentos y como agente adsorbente. Cuando la materia no es muy pura, se utiliza en la fabricación de papel. Conserva su color blanco durante la cocción.

3.2.3.2 Montmorillonita

Las montmorillonitas, de fórmula química $(\text{OH})_4 \text{Si}_8\text{Al}_4\text{O}_{20} n\text{H}_2\text{O}$, están formadas por una lámina alumina entre dos silícicas, superponiéndose indefinidamente. En este caso la unión entre las retículas del mineral es débil: las moléculas de agua pueden introducirse en la estructura con relativa facilidad, a causa de sus fuerzas eléctricas generadas por su naturaleza dipolar. Lo anterior, produce un incremento en el volumen de los cristales, lo que se traduce en expansión.

Las arcillas montmorillonitas, especialmente en presencia de agua, presentan fuerte tendencia a la inestabilidad. Las bentonitas son arcillas del grupo montmorillonítico, originadas por la descomposición química de las cenizas volcánicas y presentan la expansividad típica del grupo en forma particularmente aguda, lo que las hace sumamente crítica en su comportamiento mecánico. Estas arcillas aparecen con frecuencia en los trabajos de campo.

3.2.3.3 Iilitas

Las ilitas, de fórmula química $(\text{OH})_4 \text{Ky}(\text{Si}_{8-y}\text{Al}_y)(\text{Al}_4 \text{Fe}_4 \text{Mg}_4 \text{Mg}_6)\text{O}_{20}$, están estructuradas análogamente que las montmorillonitas, pero su constitución interna muestra tendencia a formar grumos de material, que reduce el área expuesta al agua por unidad de volumen; por ello, su potencial de expansión es menor que el de las montmorillonitas y su comportamiento mecánico es más favorable para el ingeniero.

El grupo de las ilitas está constituido por diversos minerales parecidos a la mica muscovita. La ilita es, posiblemente, el grupo más abundante en los depósitos arcillosos marinos modernos, en los depósitos sedimentarios antiguos y predominan en las lutitas.

3.2.4 Aspectos físico-químicas de las arcillas

En general, se considera que las partículas arcillosas tienen un tamaño del orden de 2 micras o menores y presentan una actividad eléctrica importante, que rige su comportamiento dada su gran superficie específica en relación con su superficie y aun su mansa.

Una de las teorías más aceptadas, hasta ahora desarrolladas, para explicar la estructura interna de las arcillas es la que menciona que la superficie de cada partícula de suelo posee carga eléctrica negativa. La intensidad de la carga depende de la estructuración y composición de la arcilla. La partícula atrae a los iones positivos del agua (H^+) y a los cationes de diferentes elementos químicos, tales como Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Al^{+++} , Fe^{+++} , etc. se tiene entonces, en primer lugar, al hecho de que cada partícula individual de arcilla se ve rodeada en forma definitiva y ligada a su estructura (agua adsorbida).

Las moléculas de agua son polarizadas, es decir, en ellas no coinciden los centros de gravedad de sus cargas negativas y positivas, sino que funcionan como pequeños dipolos permanentes; al ligarse a la partícula por su carga positiva (+), el polo de carga negativa (-) queda en posibilidad de actuar como origen de atracción para otros cationes positivos. Los propios cationes atraen moléculas de agua gracias a la naturaleza polarizada de esta, de modo que a cada catión está en posibilidad de poseer un volumen de agua en torno a él. El agua adsorbida por cada catión aumenta con la carga eléctrica de éste y con su radio iónico (peck et ál, 1957).

Por lo anterior, cuando las partículas de suelo atraen a los cationes, se ve reforzada la película de agua ligada a la partícula. El espesor de la película de agua adsorbida por el cristal de suelo es en fusión, no solo de la naturaleza del mismo, sino del tipo de los cationes atraídos.

Los cristales de arcilla pueden cambiar los cationes adsorbidos en su película superficial; por ejemplo, una arcilla hidrógena (con catión H^+) puede transformarse en sódica, si se hace que circule a través de su masa, agua con sales en disolución. En realidad lo que ocurre es un intercambio de cationes entre el agua y las películas adsorbidas por las partículas minerales, algunas veces en reacción rápida. Los cationes intercambiables más usuales son: Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , H^+ , $(NH_4)^+$.

Las caolinitas son menos susceptibles de intercambiar sus cationes que las montmorillonitas y las ilitas poseen la propiedad de grado intermedio. La capacidad de intercambiar crece con el grado de acidez de los cristales, es decir, es mayor si el PH del suelo es menor; la actividad catiónica se hace notable, en general, para valores de PH menores que 7. La capacidad de intercambio también crece con la velocidad y concentración de la solución que circule por la masa de suelo.

Las propiedades mecánicas de una arcilla pueden cambiar al variar los cationes contenidos en sus complejos de adsorción, pues a diferentes cationes ligados corresponden distintos espesores de la película adsorbida, lo que se refleja sobre todo en las propiedades de plasticidad y resistencia del suelo.

3.3 Suelos arcillosos

3.3.1 Textura y composición de suelos finos

La textura del suelo indica la cantidad de partículas individuales de arena, limo y arcilla presentes en el suelo. Esta es una expresión cualitativa y cuantitativa del tamaño de las partículas. Cualitativa ya que se refiere al comportamiento que resulta del tamaño y de la naturaleza de los constituyentes del suelo, y cuantitativa por ser una expresión porcentual. Se refiere a la proporción relativa de los diferentes tamaños de partículas existentes en él, expresada como porcentaje de fracción mineral.

Se distinguen básicamente tres tipos de partículas presentes mayoritariamente en suelos finos: arcilla, limo y arena. La distinción se basa en una distribución arbitraria que asocia a cada fracción propiedades relacionadas al tamaño, como la plasticidad. Cuanta más pequeña es la partícula más se acerca a la arcilla; cuanto más grande es la partícula más se acerca a la arena, el tamaño de las partículas es importante debido a que las partículas pequeñas de arcilla se encuentran más íntimamente unidas que las partículas más grandes de arena. Esto significa poros más pequeños para retener agua y aire.

Las arenas entonces retienen pequeñas cantidades de agua debido a que sus poros de tamaño grande permiten que el agua drene libremente del suelo. Las arcillas absorben una cantidad relativamente alta de agua y sus poros pequeños retienen el agua contra las fuerzas gravitacionales. Los suelos arcillosos retienen agua con más fuerza que los suelos arenosos.

3.3.2 Propiedades de suelos arcillosos

3.3.2.1 Plasticidad

La plasticidad es la capacidad que tiene el suelo de ser moldeado sin romperse en estado húmedo. Esta propiedad está controlada por la cantidad y la calidad de la arcilla presente en el suelo y se da dentro de una amplia gama de humedades. Esta propiedad se debe a que el agua forma una envuelta sobre las partículas laminares produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de una partícula sobre otra cuando se ejerce un esfuerzo sobre ella.

La elevada plasticidad de las arcillas es consecuencia de su morfología laminar, tamaño de partículas extremadamente pequeñas, lo que implica una elevada área superficial, y alta capacidad de hinchamiento.

3.3.2.2 Cohesión

La resistencia a la tracción del barro en estado plástico se denomina cohesión. La cohesión es la máxima resistencia del suelo a la tensión y es producida por las fuerzas de atracción que existen entre los granos en contacto. La cohesión depende del tipo del mineral arcilloso, condiciones atmosféricas, contenido de agua, tensión superficial y la carga eléctrica superficial de la arcilla. La cohesión del suelo variara según su contenido de humedad. Los suelos arcillosos tienen una alta Cohesividad (tabla 3.1), medida en Kg/cm², suelos limosos tienen muy poca y las arenas casi nula.

Tabla 3.1: Valores referentes de cohesión Kg/cm²

Arcillas rígidas	0,25
Arcillas semirrígidas	0,1
Arcillas blandas	0,01
Arcillas arenosas	0,05
Limo rígido o duro	0,02

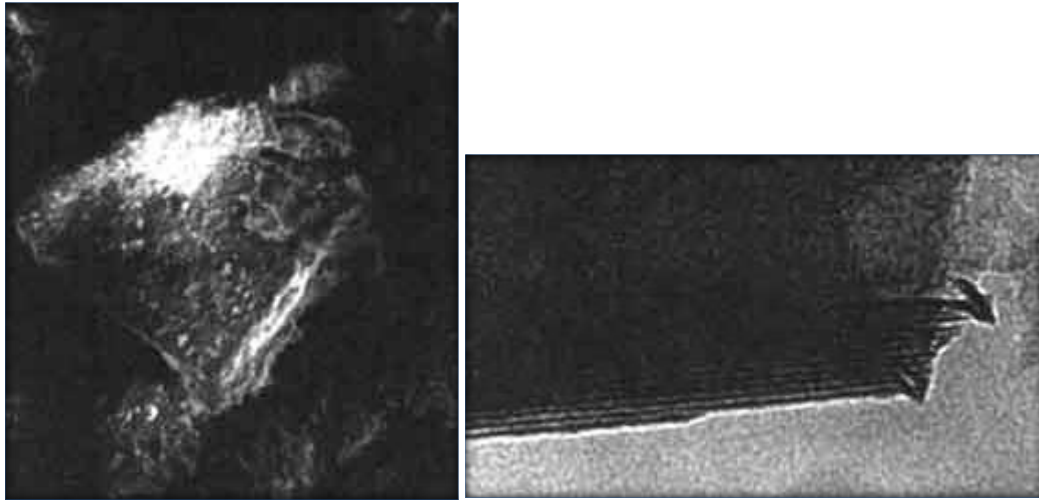
Fuente: Civilgeeks, 2011.

3.3.2.3 Retracción

Las arcillas admiten entre un 15% a 50% agua. Al eliminarse lentamente, el agua agregada (necesaria para activar la acción aglomerante de las partículas de arcilla), por desecación la masa experimenta una contracción que puede sobrepasar el 9% lineal y el 26% cubico. Esto se debe al hinchamiento que le produce la presencia de agua. La pérdida de agua no se produce de manera uniforme, desde la totalidad de su masa, porque la arcilla mojada es impermeable e impide la salida del agua desde su núcleo central. Por ello la desecación, con su consiguiente retracción, se produce primero en las capas superficiales y como el núcleo mantiene su volumen todavía invariable, se produce la ruptura de la superficie por tracción en forma de grieta.

A través de un microscopio electrónico podemos observar la estructura interna de un grano de arcilla, así amplificado unas quince mil veces La Figura 3.7 muestra una hojuela de arcilla con los bordes curvados hacia arriba. Esta hojuela se asemeja a las placas de barro en un suelo secado, contraído y secado por el sol. Al ver la misma imagen amplificación unas doscientas mil veces (Figura 3.7 derecha) observamos que el borde de la hojuela está formada por una serie de láminas una en sima de la otra, mostrando su carácter de partículas laminares.

Figura 3.7: Hojuela de arcilla amplificada 15.000 veces (izquierda) amplificada 200.000 veces (derecha)



. Fuente: Domínguez; Schifter, 1995

La retracción se puede disminuir reduciendo la cantidad de agua y arcilla, optimizando la composición granulométrica o mediante el empleo de aditivos de cualquier origen.

3.3.3.4 Permeabilidad

Permeabilidad es la propiedad que tiene el suelo de transmitir el agua y el aire. El tamaño y el número de los poros guardan estrecha relación con la textura y la estructura del suelo y también influyen en su permeabilidad. El tamaño de los poros reviste gran importancia ya que mientras mayor la porosidad mayor es la difusión del vapor y mayor la resistencia a las heladas.

Tabla 3.2: Variación de la permeabilidad según la textura del suelo

Suelo	Textura	Permeabilidad
Arcilloso	Fina	De muy lenta A Muy rápida
Limoso	Moderadamente fina	
	Moderadamente gruesa	
Arenoso	Gruesa	

Fuente FAO

Tabla 3.3: Variación de la permeabilidad según la estructura del suelo

Tipo de estructura		Permeabilidad
Laminar	Gran traslazo	De muy lenta A Muy rápida
	Liguero traslazo	
En bloque		
Prismática		
Granular		

Fuente: FAO

Esta propiedad le otorga al suelo la capacidad de balancear la humedad del aire interior sin perder su estructura sólida. Por otro lado al estar en contacto con el agua lo humedece expandiendo y cambiando de estado al suelo volviéndolo plástico o líquido.

Capítulo IV: Agregados estabilizadores de suelo

4.1 Generalidades

Entenderemos por agregado cualquier agente adicional al aglomerante principal la arcilla, así en un suelo, por ejemplo, la arena es un agregado. Los agregados pueden o no estabilizar la tierra según el uso que se le quiera dar, mejorando las características del suelo primitivo se pueden otorgar mayor resistencia a agentes erosivos, brindar flexibilidad e impermeabilidad por nombrar algunas funciones. De todas formas no existe un estabilizante universal que pueda ser usado en todos los casos ya que el agregado que mejora una propiedad en la tierra puede empeorar otra.

4.2 Clasificación de los agregados según origen y tipo de estabilización

Según la acción que ejerce los agentes estabilizantes sobre el material suelo encontramos tres tipos de estabilizaciones: estabilización física, estabilización química y estabilización mecánica. En la primera el agente actúa como una estructura independiente, mejorando las propiedades físicas de la tierra. En el segundo se originan intercambios catiónicos y transformación de los enlaces periféricos de las arcillas modificando la estructura granular de la tierra y en la tercera se ejerce una fuerza mecánica sobre el suelo aumentando su densidad, propia de la técnica usada en los muros de Tapial.

A su vez los agentes se pueden clasificar según su origen, existiendo naturales de procedencia vegetal o animal y artificiales producto de la manufactura o procesos sintéticos. En la tabla se presenta una matriz que clasifica algunos agentes estabilizantes (Tabla 4.1)

Tabla 4.1: Clasificación de estabilizantes segun origen y acción sobre el suelo

Estabilizantes	ORIGEN	AGENTE	TIPO DE ESTABILIZACIÓN	
	Naturales		Arena	Física
		Fibras vegetales	Física	
		Corteza de coco	Física	
		Estiércol		Química
		Corcho	Física	
		Baba de nopal		Química
		Aceites naturales		Química
		Productos animales		Química
		Puzolanas naturales		Química
Artificiales		Fibras sintéticas	Física	
		Cemento		Química
		Cal		Química
		Aserrín	Física	
		Puzolanas artificiales		Química
		Resinas		Química
		Silicato de Sodio		Química
		Látex sintético		Química

Fuente elaboración propia, 2016

4.3 Estabilización con cal

4.3.1 Generalidades

La cal es un material obtenido a partir de la calcinación de la piedra calcárea. De esta piedra se extraen diferentes cantidades de cal dependiendo de su purezas, así por ejemplo una piedra calcárea pura está constituida totalmente por carbonato de calcio

Según la nomenclatura química la piedra calcárea pura se designa como: Ca CO_3 . Esta composición química raramente se presenta en la realidad ya que normalmente es encontrada impura, con porcentajes de Ca, Mg o, Al_2O_3 , Fe_2O y CO_2 .

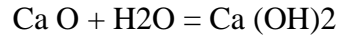
4.3.2 Clasificación de las cales

Existen 2 tipos de cales en el mercado, la cal viva y la cal apagada. Estas tienen el mismo proceso de calcinación, siendo su objetivo convertirlas en óxido de calcio Ca O , que después de ser trituradas se le puede llamar cal viva. Luego de obtener esta última viene el proceso de hidratación, con el fin de convertirla en cal apagada.

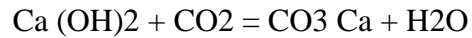
El proceso de transformación sigue la siguiente ecuación



Posteriormente durante el apagado la reacción que sigue es la siguiente:



De esta forma se obtiene hidróxido de calcio deshidratado, que en su fase de utilización en la puesta en obra se recarbonata siguiendo la reacción química siguiente:



Cuando la piedra calcárea, que se calcina, contiene impurezas de sílice o alúmina se requiere una temperatura de cocción de 1200°C. Entonces se disocia el carbonato dando anhídrido carbónico y óxido cálcico, el cual reacciona posteriormente con los contenidos arcillosos, obteniendo cal denominada hidráulica por su propiedad de fraguar en ambientes húmedos o incluso en inmersión. Dependiendo de las características de la roca de materia prima se podrá obtener gran variedad de cales, desde altamente cálcicas hasta altamente hidráulicas

4.3.3 Reacción de las cales con los suelos finos

El proceso físico-químico que ocurre tras agregar un porcentaje de cal al suelo o al barro propiamente tal, se traduce en: una rápida reacción de floculación por el intercambio iónico del calcio de las arcillas, presentes en el suelo, reportando cambios en su plasticidad; acción lenta de tipo puzolánico de formación de nuevos compuestos insolubles en agua – silicatos y aluminatos- a partir de sílice y alúmina existentes en el suelo. Este proceso que puede prolongarse durante varios meses afectando la resistencia mecánica del suelo.

Tales procesos descritos anteriormente se traducen en una mejora sobre la calidad del suelo estabilizado. Mejorando las propiedades resistentes. Reduciendo la plasticidad. Y aumentando la trabajabilidad

La estabilización con cal se emplea en suelos arcillosos, con elevado contenido de finos de plasticidad media o alta. La dosificación varía entre el 6% y el 12% y la reacción depende del tipo de arcillas. En mayor porcentaje actúa como aglomerante mejorando tierras que tengan carencia de arcillas.

Presente en viviendas, como es el caso de un estudio realizado en viviendas de bahareque construidas a mediados del Siglo XX donde se encontró presencia de cal en las mezclas de relleno constituido de piedra ojo, barro y cal y en los revestimientos de la misma (Mara, 2007) o en revestimientos actuando disminuyendo la abrasión y otorgando un acabado que protege contra el agua sin comprometer la permeabilidad de los muros.

4.3.4 Temática ambiental

Es importante señalar que trabajar con cal implica un menor impacto ambiental que trabajar con cemento. Un estudio realizado por Roux y Guerrero (2013) en el que se estudia el impacto ambiental entre un BTC estabilizado con cemento y otro con cal, demostró que este hecho obedece a que, a pesar de que la baja cantidad de estabilizante empleado, el impacto que conlleva la fabricación del cemento es mucho más elevado que el de la cal.

Este valor resulta especialmente significativo para conceptos tales como la destrucción de la capa de ozono en el que los bloques con cemento cuadruplican la afectación de los que llevan cal. Consecuentemente el dato sobre los efectos en el cambio climático son casi cincuenta por ciento superiores en los BTC con cemento.

Es evidente que la elevada temperatura a la que se produce el cemento en comparación con la cal así como la duración de su proceso, provocan un fuerte efecto en la generación de gases de efecto invernadero. Mientras que el cemento requiere temperaturas de calcinación del carbonato de calcio y del Clinker cercanas a los 1500°C, la cal se produce a 900°C.

En los efectos sobre la salud también resulta notablemente más perjudicial el uso del cemento. Este fenómeno se deriva de la emisión de sustancias contaminantes que se generan durante la producción del cemento en el que además de los desechos generados por la combustión, la materia prima despiden gases al calcinarse.

Destaca el impacto del embalaje de la cal sobre el uso del suelo debido a los árboles requeridos para la fabricación del papel. En ambos casos la etapa de construcción del muro, contribuye de manera importante sobre el agotamiento de los recursos hídricos y sobre el agotamiento de los recursos naturales. El final del proceso influye hasta en un 23% sobre el ciclo de vida de los BTC-1 y mientras que el 15% sobre los BTC-2. El mantenimiento apenas influye sobre el total.

Finalmente, hay que reconocer que cualquier proceso industrial tendrá un efecto negativo sobre el medio ambiente que debe ser evaluado con miras a identificar las fases de su transformación que resultan más nocivas. Pero, en el caso que se analiza en este texto, se ha podido constatar que ante la posibilidad de optar por un estabilizante para la realización de bloques de tierra comprimida (BTC) el uso de la cal tendrá menor impacto que el cemento sobre el entorno natural y sobre la salud.

4.4 Estabilización con puzolanas

4.4.1 Generalidades

Históricamente las puzolanas han sido utilizadas como aditivos en mezclas de cemento y cal, formando así morteros y hormigones. El término “Puzolana” proviene de la localidad italiana de Puzzuoli, cercana a Nápoles, donde los romanos encontraron un material reactivo de origen volcánico y con gran cantidad de sílice. Lo llamaban “pulvis putelaneus”. Las construcciones de los antiguos imperios Egipcios, Griegos y Romanos muestran evidencias de

la utilización de puzolanas en sus cementos. También existen pruebas de su presencia en las cerámicas características de la dinastía Minoan, en China (3000-1500 a.C.). Los ingenieros de estas épocas descubrieron que el uso de polvo fino de materiales naturales podía ser utilizado para hacer cemento, y lo desarrollaron hasta el punto de realizar construcciones de gran calidad. Prueba de esto es que el cemento utilizado en las grandes pirámides de Egipto hace 4500 años se encuentra en perfectas condiciones, mientras que el cemento portland que se usó en las restauraciones modernas se encuentra considerablemente degradado en apenas 50 años de vida.

4.4.2 Clasificación de las puzolanas

Las puzolanas son materiales silicios o silicios y aluminosos los cuales se pueden encontrar en tobas de forma natural, artificiales a través de procesos de manufactura o como residuos de industria y mixtas mezcla propiedades tanto de las naturales como de las artificiales.

Las puzolanas naturales tienen dos orígenes distintos. Uno puramente mineral y otro orgánico. Los primeros son producto de la transformación del polvo y cenizas volcánicas (ricos en vidrio y en estado especial de reactividad) son aptos para sufrir acciones endógenas (zeolitización y cementación) o exógenas (agilización). Por una continua acción atmosférica (meteorización) se convirtieron en tobas, es decir, en rocas volcánicas, más o menos consolidadas y compactas, cristalinas, líticas o vítreas. Las puzolanas naturales de origen orgánico son rocas sedimentarias abundantes en sílice hidratada y formadas en yacimientos o depósitos que en su origen fueron submarinos, por acumulación de esqueletos y caparzones silíceos de animales o plantas.

Las puzolanas artificiales son materiales que deben su condición puzolanica a un tratamiento térmico adecuado alcanzando temperaturas de hasta 1000°C, entre estas están las cenizas volantes, escorias de fundición, cenizas de residuos agrícolas, entre otros. Existe otro tipo de puzolana intermedia o mixtas las cuales a través de tratamiento térmico de activación, transforma las naturales a artificiales mezclando ambos caracteres. (Vásquez, 2008)

4.4.3 Las puzolanas en la construcción

En la actualidad las puzolanas son de suma importancia para la industria del cemento por la capacidad de atrapar la cal libre que queda en el Clinker después del proceso de sintetización de la materia prima, reduciendo el calor de hidratación y los costos de producción entre otras ventajas. Se utiliza en la elaboración de cemento, cal hidráulica y paneles livianos; en obras civiles como estabilización de carreteras, y en la industria manufacturera como filtrante, absorbente y abrasivo industrial (Sernageomin, 2012)

Estudios realizados en Colombia sobre la incorporación de ceniza volcánica (TV) y ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBC) en la fabricación de morteros armados señala ciertas consideraciones; Fairbairn (2010) realizó un estudio complementario, desde el punto de

vista del efecto ambiental, y reporta que el reemplazo de cemento por CBC reduce las emisiones de CO₂ a la atmósfera en proporciones apreciables; El porcentaje óptimo de adición de CBC recomendado por la mayoría de investigadores para lograr incrementos resistentes, permeabilidad reducida al agua, mayor resistencia a la penetración de cloruros y una menor liberación de calor en la mezcla de cemento es del 20% (Chusilp *et al.*, 2009; Ganesan *et al.*, 2007; Horsakulthai *et al.*, 2011); En una investigación reciente, Rukzon y Chindaprasirt (2012) afirman que es posible obtener concretos de alta resistencia a la compresión (65.6- 68.6 MPa a 28 días) con la adición del 30% de CBC. Por otro lado se señala que las puzolanas naturales básicamente están compuestas por material vítreo y otros minerales; sus características físicas y químicas, así como sus efectos al incorporarse al cemento como adición están directamente relacionados con la fuente de origen (Liebig and Althaus 1998; Siddique 2008). Acorde a las características físicas de la toba, particularmente el contenido vítreo, se han desarrollado materiales cementicios con elevados porcentajes de adición (50%) que presentan propiedades mecánicas comparables al concreto sin adición y mejores desempeños en ambientes agresivos (Uzal and Turanli 2003; Turanli 2005).

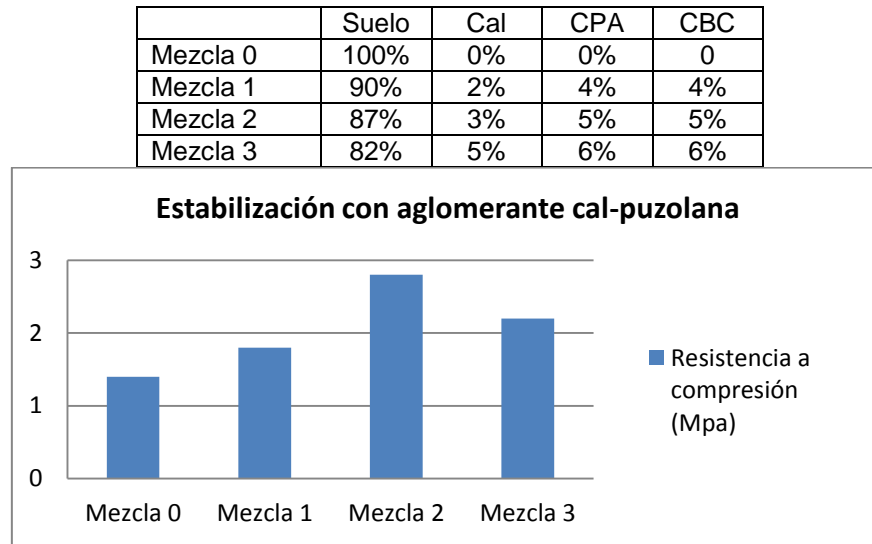
Tabla 4.2: Resistencia a compresión en morteros con adición de toba volcánica y ceniza de bagazo de caña de azucar

Tabla 2. Resistencia a la Compresión de Morteros					
Resistencia a la Compresión (MPa)	Adición, %				
	0	10 CBC	20 CBC	10 TV	20 TV
28 días	12,28	16,16	9,67	17,45	12,16
90 días	16,07	19,12	17,29	21,03	28,69

Fuente: Valencia;Mejía de guitierrez; Barrera; Delvasto (2012)

En la arquitectura y construcción con tierra esta práctica ha sido más bien inusual. Salvo algunas experiencias que apuntan a la reutilización de residuos como las cenizas volantes. O el caso de Angola que utiliza residuos de biomasa local mediante transformación puzolanica (puzolana mixta) y las incorpora en las construcciones de viviendas de tierra para mejorar su calidad de vida. De todas formas la utilización de este agregado ha presentado mejoras en las propiedades finales del material tierra.

En el caso de Angola donde la mayoría de la población hace un uso intensivo de la tierra como material de construcción para sus viviendas; sin embargo a pesar del arraigo histórico de esta tecnología, existe desconocimiento en las formas apropiadas de construirlas afectando principalmente en su durabilidad. Para este último bajo un estudio experimental se utilizaron cenizas de palta africana (CPA) y caña de bagazo de caña de azúcar (CBC) las cuales fueron activadas térmicamente por 120 minutos a 800°C y 700°C respectivamente. Mostrando resultados apropiados (> 1Mpa de resistencia para adobes estabilizados) para proporciones de 5% CPA + 5% CBC con cal 3% para un suelo con un contenido de arcilla de 43,2%

Grafico 4.1: Resistencia a compresión muestra de suelo estabilizado con cal-puzolana

Fuente: Rufino; Machado; Dias (2013)

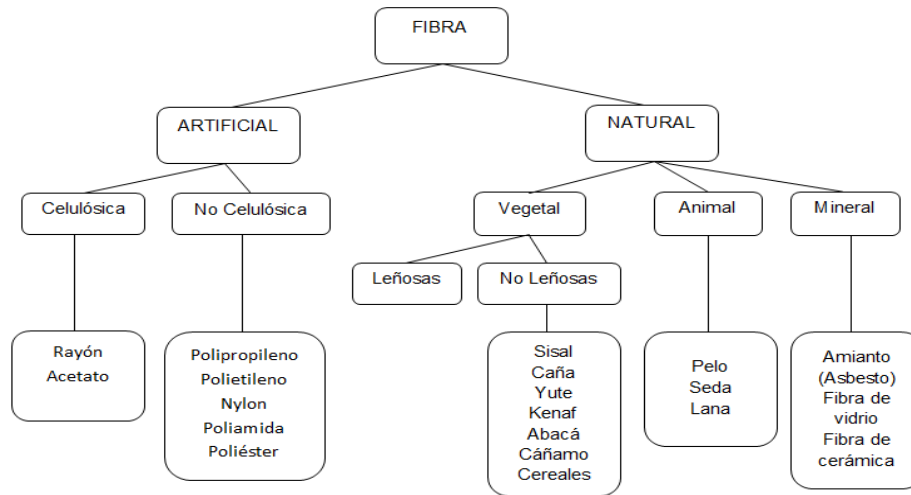
La norma ASTM C 618 define las puzolanas de la siguiente forma: “Las puzolanas son materiales silicios o silicios y aluminosos, los cuales por si solos tienen muy poco o ningún valor cementante, sin embargo, finamente divididas y ante la presencia de humedad, reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio a la temperatura ambiente para formar compuestos que poseen propiedades cementantes”.

Esta definición ha sido objeto de muchas críticas, ya que se ha probado la existencia de materiales que aun saliéndose de los límites señalados anteriormente presentan un comportamiento netamente puzolánico. Por tanto debe tomarse como un punto de partida aproximado y no como una verdad absoluta. Para la fabricación de ladrillo, se han utilizado mezclas de puzolana altamente reactiva y arcillas corrientes o comunes permitiendo reducir la temperatura de cocción a valores iguales o inferiores a 1100°C presentando altas densidades, baja porosidad y buena resistencia abrasiva (USAI G., 1992)

4.5 Estabilización con fibras

4.5.1 Generalidades

Las fibras vegetales son estructuras unidimensionales sólidas y flexibles, propicias a la adaptación de geografías y climas variados, con una longitud normalmente muy superior a su diámetro. Compuestas básicamente de Lignina y Celulosa. La Lignina, polímero presente en las paredes celulares, impermeabiliza y proporciona dureza y resistencia. Mientras que la celulosa aporta resistencia a la flexión y tracción. La proporción contenida de cada compuesto diferenciara entre fibras leñosas o no leñosas

Figura 4.1: Tipos y especies de fibra

Fuente: Cabreros, sin fecha.

Existen unos 50 tipos de especies de plantas conocidas como fuentes de fibra vegetal útiles para la construcción con tierra, en Chile la más utilizada es la proveniente de los cereales; trigo, avena, arroz, centeno, cebada.

4.5.2 Paja de trigo

La paja (material fibroso) es el tallo o caña del cereal, seca y separada de los granos quedando expuesta luego de la cosecha en los meses de primavera y fines del verano. La extracción de la fibra se hace, generalmente, a través de maquinarias que entregan la paja como un producto enfardado y prensado. También mediante extracción directa, a menor escala, a través de herramientas agrícolas manuales (cuchillón, hoz, etc.).

La producción de cereales se extiende desde la región de Coquimbo a Los Lagos comprendiendo una superficie aproximada de 576 mil hectáreas (temporada 2012/13), de las cuales un 44% corresponde a trigo, un 24% a maíz y un 22% a avena. Los demás cereales tienen participaciones inferiores a 5%. El 69% de las siembras de trigo y el 85% de las de avena se concentran en las regiones del Bío Bío y La Araucanía. El maíz se siembra principalmente en las regiones de O'Higgins y el Maule, que reúnen el 75% de la superficie (ODEPA, 2015). La tabla 4.3 muestra la superficie regional sembrada de cultivo de cereales de caña delgada los cuales representan una fuente de recurso para la obtención de material fibroso lignocelulósicos los cuales son más idóneos para la construcción natural.

Tabla 4.3: Superficie de siembra de cereales

Región	Superficie de siembra de cereales (Ha)				
	Avena	Trigo	Arroz	Cebada	Centeno
Coquimbo	0	393	0	276	0
Valparaíso	0	1.492	0	0	0
Metropolitana	277	5.093	0	0	0
O'Higgins	537	13.880	0	32	0
Maule	2.433	32.067	19.641	394	406
Bío Bío	22.913	79.240	4.073	2.522	179
Araucanía	54.685	107.869	0	3.603	559
Los Ríos	4.976	12.472	0	1.059	0
Los Lagos	4.295	10.612	0	428	0

Fuente: ODEPA; INE, 2015.

Destacan los cultivos de trigo en primer lugar (107.869 Ha) y avena en segundo lugar (54.685 Ha). El cultivo de arroz también supone un importante aporte de producción y material fibroso sobre todo para la Región del Maule.

4.5.3 La paja de trigo en la construcción natural

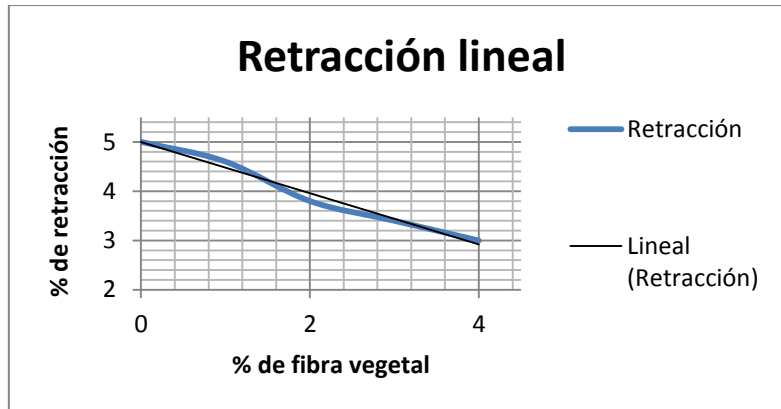
El uso de esta fibra en la construcción natural responde a arquitecturas tanto precolombinas como coloniales, siendo incorporado como un aditivo que aliviana el barro y reduce las fisuras de retracción por secado. Minke (2001) señala que cuando se añade paja cortada, así como también pelo animal o humano, fibras de coco, sisal, agave y bambú la retracción puede reducir (Tabla 4.4). Esto se debe a que el contenido relativo de arcilla se reduce y que parte del agua es absorbida por los poros de las fibras.

Tabla 4.4: Reducción de la retracción del mortero de barro arcilloso con adición de fibra vegetal

Fibra agregada (%)	0	1	2	3	4
Retracción lineal (%)	5	4,6	3,8	3,4	3

Fuente: Minke, 2001

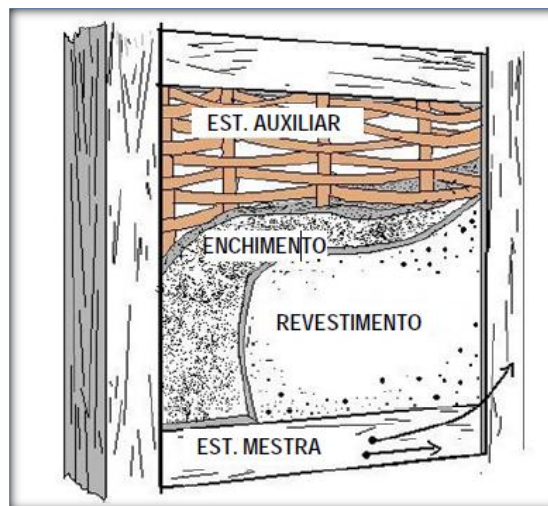
Grafico 4.2: Reducción de la retracción del mortero de barro arcilloso con adición de fibra vegetal



También se reduce la aparición de fisuras debido que con las fibras se incrementa la Cohesividad de la mezcla.

Este agregado está presente en distintas técnicas constructivas en tierra. Desde los macizos bloques de adobe hasta delgadas capas de revestimientos existiendo variaciones en el porcentaje de fibra agregada y en su longitud principalmente. Neves y Borges (2011) señalan que para un revestimiento de tierra; la mezcla compuesta de tierra y fibras, y eventualmente aditivos permite lograr un material más liviano, permeable al vapor de agua y con características elásticas necesarias para responder a los movimientos de la estructura (dinámica).

Figura 4.2: Componentes de la técnica mixta



Fuente: Proterra, 2011.

Al ser utilizado como un material de relleno en técnicas de construcción mixta (figura 4.2). La fibra puede mejorar la capacidad de adherencia de la tierra a la estructura mixta y evitar el agrietamiento de las tierras muy arcillosas al secarse. Además las fibras pueden mejorar las siguientes propiedades:

- Ductilidad: las fibras mejoran la capacidad de resistencia frente a deformaciones elásticas importantes. Las maderas de las estructuras crean movimientos y variaciones en las dimensiones de los elementos y suelen crear grietas en los rellenos.
- Mejoramiento térmico: las fibras huecas en el barro crean vacíos que aligeran el material y mejoran sus características de aislante térmico. tiene un coeficiente de conductividad que bordea el 0,045 W/m.k para una densidad de 100kg/m²
- Mejoramiento estructural: un relleno liviano ayuda en eventualidades sísmicas.

Es una buena alternativa para mezclar con tierras muy activas (por las arcillas), pues por su diámetro y elasticidad absorbe la expansividad natural de estas tierras sin crear hinchamientos. Naves y Borges (2011) recomiendan para entramados livianos unos 5 Kg/m³ con fibras de 10 cm a 15 cm de largo.

Para revestimientos finos la adición es de 3% en peso, que equivale aproximadamente a 1 parte de fibra para 30 partes de tierra. Para proporciones de tierra; 2% arena gruesa, 76% arena fina, 9% arcilla.

En la fabricación de adobes, la paja se utiliza como un agregado que disminuye la retracción del macizo. La paja, una vez seca, se pica en trozos de entre 5 y 10 cm. La relación fibra: tierra es de 1:6. Peso volumétrico del adobe entre 1200 Kg/m³ a 1700 Kg/m³ (Habiterra, 1995).

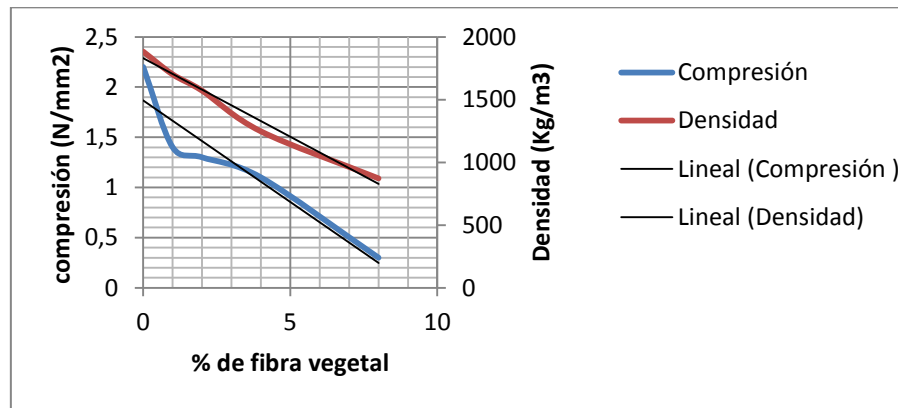
Para revoques de barro los trozos de fibra varían de acuerdo a las capas. La primera capa posee 2 cm a 3 cm de espesor y se realiza con componentes de grano grueso, y la segunda capa de pocos milímetros de grosor se elabora con ingredientes de fina dimensiones granulares. La tierra que se utiliza para el revoque inicial ha de pasar por una malla de 5 mm y las fibras pueden medir entre 5 cm y 10 cm de longitud. En cambio, la tierra para el revoque final ha de pasar por un tamiz de 2 mm y las fibras no deberán medir más de tres centímetros de largo (Guerrero, 2011)

Por otro lado, estudios desarrollados en el Laboratorio de Investigación de Construcciones Experimentales de la Universidad de Kassel, Alemania establecen que cuando se añaden fibras finas o pelos en pequeñas cantidades la resistencia en tensión y por consiguiente la resistencia a compresión incrementa levemente. Sin embargo, cuando se añade paja, el efecto opuesto ocurre. Como se muestra en la tabla 4.5

Tabla 4.5: Reducción de la resistencia del barro con adición de paja de trigo

Paja de trigo (%)	0	1	2	4	8
Densidad (Kg/m ³)	1882	1701	1571	1247	872
Compresión (N/mm ²)	2,2	1,4	1,3	1,1	0,3

Fuente: Manual de Construcción en Tierra, Minke, 2001

Grafico 4.3 Reducción de la resistencia del barro con adición de paja de trigo

La paja de trigo se reconoce como un material con un buen comportamiento térmico ya que tiene un coeficiente de conductividad que bordea el 0,045 W/m.k para una densidad de 100kg/m². El tipo de paja que se considera apropiada, es tema de grandes debates en el mundo y en cada caso se debe ensayar. Sin embargo para revoques de barro con paja, se ha probado que la paja de cebada es más adecuada ya que es más suave que otras pajas. La estructura de los tallos es aún más importante que el tipo de paja. Cuando el objetivo es incrementar el aislamiento térmico se prefieren tallos rígidos debido a que no se deforman fácilmente, manteniendo el aire encapsulado. (Minke, 2001).

Además, según la norma alemana DIM 4102 Parte I (1977) el barro aun si contiene paja no es considerado combustible si su densidad no es menor a 1700 Kg/m³.

4.6 Estabilización con aserrín

4.6.1 Aserríos de madera

La industria forestal destina las maderas explotadas a tres áreas distintas de trabajo; la celulosa, cuya principal actividad es la producción de pasta blanqueada; la industria del tablero, cuya principal actividad es producir tableros contrachapados y de partículas; y los aserraderos, cuya principal producción se basa en el dimensionamiento y fabricación de piezas de madera.

4.6.2 Fuentes de residuos de madera

Los residuos que provienen de la industria de productos forestales pueden dividirse en dos clases: los que proceden de la recolección y extracción de trozas de los montes, y que se consideran en general de uso económico nulo para su ulterior elaboración, y los que generan las propias industrias forestales durante el proceso de fabricación de madera, tableros contrachapados, tableros de partículas, etc. la tabla xx muestra los tipos de residuos dejados por la actividad maderera

Tabla 4.6: Residuos forestales

Fuente	Tipo de residuo
Operaciones forestales	Ramas, agujas, hojas, tocones, raíces, madera de mala calidad y podrida, recortes y aserrín;
Aserrío	Corteza, aserrín, recortes, madera partida, virutas, lijaduras;
Producción de tableros contrachapados	Cortezas, almas, aserrín, hojas de nenúfares, recortes y residuos de chapas, recortes de paneles, lijaduras;
Producción de tableros partículas	Cortezas, cribaduras, menudos, recortes de paneles, aserrín, lijaduras.

Fuente: FAO, 1993.

4.6.3 Aserrín

El aserrín es producto de todas las operaciones mecánicas de elaboración de la madera, especialmente del aserrío, en su mayoría proveniente de madera de pinus radiata (96% de la producción), es considerado un desecho de residuo industrial de aserraderos. La forma del aserrín corresponde a pequeños granos de superficie rugosa, teniendo las fracciones más finas formas alargadas semejantes a las astillas. El tamaño de los granos fluctúa entre polvo (<0,8mm) y granos muy grandes (entre 2,0 y 5,0 mm).

4.6.4 Temática ambiental

Existen más de 1500 aserraderos en el país, que representan una gran diversidad de escalas y niveles tecnológicos. En términos muy generales, el tema ambiental en el rubro aserraderos está orientado principalmente al manejo de residuos sólidos y líquidos, especialmente los residuos de proceso, tales como serrín, viruta, polvo de madera, otros. Sin embargo, se debe considerar que el aprovechamiento de los residuos en nuestro país está lejos de llevarse a cabo en forma integral, empleándose principalmente como combustibles para alimentar calderas anexas a las mismas industrias generando emisiones de óxido de azufre y óxido de nitrógeno a la atmosfera, problema que en muchas regiones del país ha contribuido al origen e incremento de las lluvias ácidas. (Garcés, 2000)

La disponibilidad y destino que tienen los residuos obtenidos principalmente son: la comercialización con un 56,6%, seguido de autoconsumo con un 33,8%, y en menor medida, se regala o acumula, con un 5,8% y 3,8% respectivamente. En Chile se detectó un volumen total de 17.205.663 m³ (INFOR, 2006), si se considera que casi el 10% del aserrín se regala o acumula, se está diciendo que se pierden 997.928,5 m³ y que se contaminan los suelos, acidificación del suelo y contaminación de las aguas subterráneas por lavado e infiltración de las sustancias extraíbles presentes en la madera (Maza A.; González M.; Alexadroff A.; 1997), con un volumen de 653.815,2 m³, cifras que llevan a considerar la utilización de este material no sólo por el hecho de ser residuo sino que también por su baja densidad y mala conducción del calor (CORMA, 2006).

4.6.5 El aserrín como material para construir

El aserrín se ha utilizado en la construcción como una fuente de materia prima renovable en la fabricación de diferentes materiales no estructurales. Sus características de interés corresponden a una baja densidad (215 Kg/m³) y a una baja conductividad térmica, Además de ser un material económicamente rentable. De esta forma el aserrín permite alivianar elementos constructivos y mejorar las propiedades termo-acústicas.

Se ha estudiado el comportamiento frente a agregados de aserrín y fibras orgánicas en general en diferentes materiales. Tal es el caso del hormigón alivianado con aserrín. La investigación obtuvo resultados no adecuados para las solicitaciones de resistencia a compresión y flexión, concluyendo que este material no se puede usar como elemento estructural. Pero también se pudo determinar que al agregar aserrín baja la densidad de la mezcla, proporcional a la cantidad de aserrín incorporado (Giuffra, 1983). El resultado es interesante ya que la baja densidad en los materiales, provoca una disminución lineal de la conductividad térmica de los materiales (Arambarry y Aglietti, 2000). En el caso de la Escayola con *Typha Latifolia*, se obtuvo resultados similares al del hormigón con aserrín, donde la resistencia a la compresión disminuyó en relación a la fibra natural agregada, todo lo contrario a la flexión, debido que al aumentar la incorporación de fibra natural aumenta también la resistencia a la flexión, con respecto a la densidad del material, al igual que el hormigón alivianado con aserrín, se obtuvo una disminución en la densidad, relacionada con el porcentaje de fibra agregada (García, 2004).

Otros estudios han sido motivados debido a ciertas características que presentan los derivados lignocelulósicos (aserrín, polvo de madera, fibras vegetales en general) como su bajo costo y el hecho de ser un recurso renovable. Arangueren; Demma; Kenny (1994), realizaron ensayos a flexión de placas de poliéster (placa matriz) con incorporación de 20% de aserrín tratado. Se utiliza aserrín de roble tratado con ácido acrílico en presencia de hidróxido de sodio. La matriz polimérica usada es poliéster insaturado. La microscopia electrónica de barrido permite observar que luego del tratamiento alcalino el tamaño de fibras disminuye produciendo una distribución más homogénea en el compuesto. Se utilizó un porcentaje de 20% en peso de aserrín en poliéster. Los resultados arrojaron un aumento en la resistencia a la flexión de la placa de poliéster más aserrín tratado logrando una resistencia de 25,7 MPa, mientras que la placa solo de poliéster alcanzo 16,8 MPa.

Existe otro interés termo-acústico para este tipo de fibras. Celano (2008) desarrollo un componente constructivo, panel, a base de desperdicios de la industria maderera, aserrín y virutas. Evaluando su tactilidad técnica para ser utilizados como aislantes termo- acústicos

Capítulo V: Diseño de la investigación

En este capítulo se describe la estrategia, variables, procedimientos y pasos operacionales que siguen para abordar el tema de investigación

La estrategia tiene que hacer relación con el estudio que se hará en relación al tema, dando cumplimiento de este modo a los objetivos planteados, teniendo en cuenta las variables que intervienen. Dicho estudio tiene relación con los ensayos de laboratorio que se harán al suelo, antes de la estabilización y posterior a ella.

A continuación se definen las variables de la investigación

- **Variables independientes**

Estos son los materiales que se utilizarán como agregados. Contenido de paja de trigo, cantidad de ceniza volcánica, cantidad de cal y cantidad de aserrín

- **Variables dependientes**

Estos son los ensayos que determinarán la factibilidad de uso de la placa de suelo como elemento constructivo. Ensayo de resistencia a la flexión, ensayo de comportamiento térmico, ensayo de comportamiento acústico y ensayo de resistencia al fuego.

A continuación se describen las etapas y los procedimientos a emplear para el desarrollo de las distintas probetas y tipos de ensayos

5.1 Caracterización de los materiales constituyentes

5.1.1 Caracterización suelo patrón

5.1.1.1 Muestra de suelo

En esta etapa se procederá a la obtención de muestras de suelo para identificar las propiedades y características del mismo, para la realización de este estudio se tomaron muestras desde el estero de Piuchén, camino a Yervas Buenas, comuna de Marchigüe, el cual es un sector conocido por la gran presencia de suelo arcilloso

La cantidad de suelo a extraer, que será del orden de 200 Kg de suelo, deberá ser lo suficiente para ejecutar todas las probetas de ensayo incluyendo un porcentaje de pérdida, ya sea por pruebas preliminares o fallidas o por contaminación de agentes externos, es por esto que el almacenamiento del suelo debe ser en un lugar limpio y libre de agentes que puedan contaminar y alterar resultados.

5.1.1.2 Clasificación de suelo

La clasificación de suelo se regirá por el sistema unificado de clasificación de suelo, sistema que si bien está pensado para obras de vialidad, de igual forma identifica el tipo de suelo a ensayar. Previo a la clasificación de suelo se debe conocer los resultados de los ensayos granulométricos y límites de consistencia.

El ensayo granulométrico toma como referencia los procedimiento descrito por la norma chilena NCh165 Of. 09, con lo que se obtendrá la composición cuantitativa de fino que pasa bajo la malla N°200.

Concluida la etapa descrita anteriormente se realizaran los ensayos correspondientes para la determinación de los límites de consistencia, mediante el método CA cuyo procedimiento esta normado según NCh1517. Of 79, que corresponde a los límites líquido y plástico, luego de obtener ambos resultados se determina el índice de plasticidad para la muestra. Para el límite líquido se utilizara el acanalador de CASAGRANDE

Ya con los resultados de los ensayos mencionados, los datos se ingresarán a las tablas de clasificación USCS, donde así se conocerá el grupo al cual pertenece el suelo. Si la muestra de suelo no corresponde a un suelo arcilloso se procederá a extraer muestras de suelo de otro sector y repetir los procedimientos descritos en este ítem hasta obtener la clasificación deseada.

5.1.2 Caracterización paja de trigo

La paja de trigo se obtendrá a través de la compra de un fardo de paja, con el nombre comercial o local correspondiente a mallica, que corresponde a la fibra más tierna del tallo del trigo. Con la cantidad de un fardo de paja, que pesa alrededor de 30 Kg, es suficiente para la realización de todos los ensayos.

Según la bibliografía estudiada, varios autores aprecian que el largo de la fibra no debe ser mayor al espesor del elemento construido. Para esta investigación cuyo elemento a fabricar es de 10 mm de espesor, es muy difícil controlar dicha condición. El corte de la fibra se realizara con el menor largo que se pueda trabajar. Por tanto, con el fin de normalizar el largo de la fibra que se incorporará a la mezcla, se realizarán tres muestreos del corte de la fibra y se analizarán los tamaños resultantes con el objetivo de estimar un promedio de longitud de fibra.

5.1.3 Caracterización ceniza volcánica

Para este material se toman muestras de un yacimiento natural ubicado en el sector de las Pataguas, al sur poniente de la comuna de Marchigüe. El cual es un sector reconocido por la presencia de este material. La cantidad de muestra es gestionada a través de la empresa Polpaico quién hace extracciones permanentes en el lugar.

Con el fin de caracterizar la ceniza volcánica se realizarán un ensayo granulométrico y tres muestras de densidad aparente. A través del ensayo de tamizado se podrá conocer con exactitud los porcentajes de cada tamaño de partícula de ceniza volcánica que contiene el material a utilizar y se desechará todo aquel material que no pase la malla ASTM N° 4.

5.1.4 Caracterización aserrín

Con el objetivo de conocer el tamaño de fibras de aserrín se realizarán un ensayo granulométrico al material y tres muestras para determinar su densidad aparente.

5.1.5 Caracterización cal

Con la finalidad de conocer el aporte en peso del estabilizante se medirán tres densidades aparentes.

5.2 Etapa II: Obtención de probetas Tipo A

La metodología para obtener las probetas tipo A, es trabajar el suelo húmedo o curado, esto es dejándolo reposar de 12 a 48 horas. Minke (2011) señala que la experiencia ha demostrado que la cohesión del barro incrementa mediante este proceso. Este fenómeno es probablemente debido a la atracción electroquímica entre los diferentes minerales arcillosos que los fuerza a adoptar una estructura más compacta y ordenada. La norma Chilena NCh 1517/1 también hace referencia sobre este proceso señalando que el curado de la muestra, para obtener el límite líquido, debe dejarse reposar por un periodo no menor a 24 horas para suelos plásticos. Por tanto las dosificaciones señaladas en esta etapa son en base al suelo seco, previa determinación de la cantidad de agua de curado.

5.2.1 Suelo - Paja de trigo

Como ya sabemos, trabajar con suelos arcillosos implica una alta plasticidad y una elevada retracción. La fibra vegetal se agrega con la finalidad de acercar a cero la retracción de la arcilla y formar un entramado que permita recibir cargas. Razones por las cuales se agrega como primer estabilizante.

Para lo anterior se toman rangos similares a las mezclas utilizadas como revestimientos señaladas por Neves y Borges (2011), utilizando un mínimo de 3% de agregado de paja de trigo para revestimientos finos y tierra con un contenido de arcilla de 9%. Considerando que la tierra con la que trabajaremos tiene un contenido mayor de arcilla y entendiendo que la función principal de la fibra es contrarrestar las retracciones y dar estabilidad, se parte de la base de un 7% y se estudiarán tres casos más con adición de 10%, 13% y 15%. Con el fin de encontrar un porcentaje equilibrado entre la resistencia mecánica y la densidad, considerando el peso como una variable importante. Las fibras serán incorporadas a la mezcla en estado seco.

Por cada dosificación de paja de trigo se realizarán 3 probetas haciendo un total de 12 probetas a ensayar. Tabla 5.1

Tabla 5.1: Variables de diseño, suelo-paja de trigo

Suelo-paja de trigo	Porcentajes en peso húmedo de suelo para paja de trigo			
Propiedades	7%	10%	13%	15%
R. flexión				
Densidad				

Fuente: Elaboración propia, 2016.

El porcentaje de fibra que mejor condición entregué a la placa servirá como patrón para la incorporación de ceniza volcánica como estabilizante.

5.2.2 Suelo - Paja de trigo - Ceniza volcánica

Para el caso de la ceniza volcánica, los estudios consultados sobre este material nos hablan de una actividad puzolanica que se activa con la cal libre al hidratar cal o cemento. Sin embargo para este estudio se experimentara su adición sin el acompañamiento de cal o cemento acogiéndonos a lo dicho por (USAIG, 1992) atribuida a que el comportamiento cementicio no necesariamente se da a través de la canalización de la cal o cemento, por tanto de alguna forma estaremos evaluando su poder cementante. Se considera que cuanto mayor es la cantidad de arcilla en un suelo mayor es la cantidad de cal o cemento para mezclas de suelo cemento. Por tanto consideramos el remplazo total del cemento por ceniza volcánica. Los estudios bibliográficos tomados hablan de un 12% de cemento para un contenido de arcilla de 30% (Etchebarne; Piñeiro; Silva, 2006), considerando que la tierra que utilizaremos es del tipo arcillosa se basa un porcentaje mínimo de 15% de ceniza volcánica, estudiándose tres variaciones de un 20%, 25% y 30% que permitan dilucidar un porcentaje optimo en cuanto a resistencia mecánica adquirida con el fin de obtener un elemento más estabilizado. La ceniza se incorporará a la mezcla en estado seco.

Por cada dosificación de ceniza volcánica se realizarán 4 probetas haciendo un total de 16 probetas a ensayar. Tabla 5.2

Tabla 5.2: Variables de diseño, suelo-paja de trigo-ceniza volcánica.

Suelo-Paja de trigo-Ceniza volcánica					
Porcentaje paja de trigo	propiedad	Porcentaje de ceniza volcánica			
		15%	20%	25%	30%
X%	R. Flexión				
	Densidad				

Fuente: Elaboración propia, 2016.

De esta forma aquel porcentaje que mejor comportamiento presente servirá como porcentaje patrón, al igual que la paja de trigo ya definida, para la mezcla que recibirá al aserrín.

5.2.3 Suelo – Paja de trigo – Ceniza volcánica – Aserrín

Por último el aserrín es el elemento que nos permite formar un elemento más homogéneo, es decir a través de sus fibras de menor dimensión que las de paja de trigo pueden ocupar los espacios libres entre los entramados de fibra vegetal con el fin de alivianar el elemento final, otorgando, en conjunto con su bajo coeficiente de conductividad, un mejor comportamiento térmico. Este elemento no es muy común en las técnicas constructivas en tierra, pero de todas formas Minke (2001) lo reconoce como un elemento de adición para alivianar el barro, pudiendo trabajar con densidades no menores a los 500 kg/m³. El hecho de ser un residuo industrial, de tener una baja densidad y ser un mal conductor del calor (CORMA, 2006), se transforma en un elemento compatible con la tierra. Los porcentajes considerados son de 15%, 20% y 25% en peso, considerando que porcentajes mayores comprometen la Cohesividad de la mezcla.

Por cada dosificación de aserrín se realizarán 4 probetas haciendo un total de 12 probetas a ensayar. Tabla 5.3

Tabla 5.3: Variables de diseño, suelo-paja de trigo-ceniza volcánica-aserrín

Suelo – Paja de trigo – Ceniza volcánica – Aserrín					
Porcentaje paja de trigo	Porcentaje ceniza volcánica	Propiedad	Porcentaje de aserrín		
			15%	20%	25%
X%	X%	R. Flexión			
		Densidad			

Fuente: Elaboración propia, 2016

5.3 Etapa III: Obtención de probetas Tipo B

En esta etapa se realizará otro tipo de probeta, con el mismo fin que la tipo A pero utilizando otra metodología de mezclado y remplazando el agregado de ceniza volcánica por un estabilizante más reconocido, en cuanto a su comportamiento, como lo es la cal. De esta forma se puede realizar un análisis comparativo entre estos dos prototipos y una placa de cielo falso del mercado.

En esta etapa ya conoceremos los valores óptimos de paja de trigo y de aserrín, por tanto para encontrar en valor óptimo de cal, se trabajara con los % ya definidos de los demás agregados.

La metodología de mezcla es en seco. Se tamiza la muestra de suelo eliminando todo material que sea retenido por la malla N° 4 (4,75mm) y el agregado de cal se añade a la mezcla en seco revolviendo hasta obtener una mezcla homogénea. Luego se hidrata, que se estima entre un 25 a 30% en peso, hasta obtener una mezcla trabajable. Posterior a ello se agrega la cantidad de fibra vegetal en estado saturado superficialmente seco, manteniendo el porcentaje óptimo definido en la probeta tipo A, y finalmente se estudia la incorporación de aserrín también en estado saturado superficialmente seco.

5.3.1 Suelo – Cal - Fibra vegetal - Aserrín

Por bibliografía se reconoce a la cal como un agregado que baja la plasticidad de la arcilla, aglomera y la hace más trabajable, bajo esa consigna incorporamos primero este material, no así la paja de trigo como en la probeta tipo A. Para poder dar cumplimiento a nuestro objetivo de encontrar una cantidad optima de cal, se realizará un tanteo de porcentajes incorporados. Bañon y Bevia, (2000) consideran un rango de 6 a 12% la variación de cal entre suelos finos de media a alta plasticidad. Con el fin de analizar el comportamiento de nuestro suelo, ampliaremos el rango propuesto y se analizará un mínimo de 3% y un máximo de 15% con dos mediciones intermedias de 7 y 11%.

Por cada una de las proporciones planteadas se realizarán 4 probetas haciendo un total de 16 probetas para ser analizadas en su comportamiento de resistencia mecánica mediante ensayo a flexión. A modo de síntesis se presenta la siguiente tabla 5.4.

Tabla 5.4: Variables de diseño, suelo-cal. Fuente: Elaboración propia, 2016.

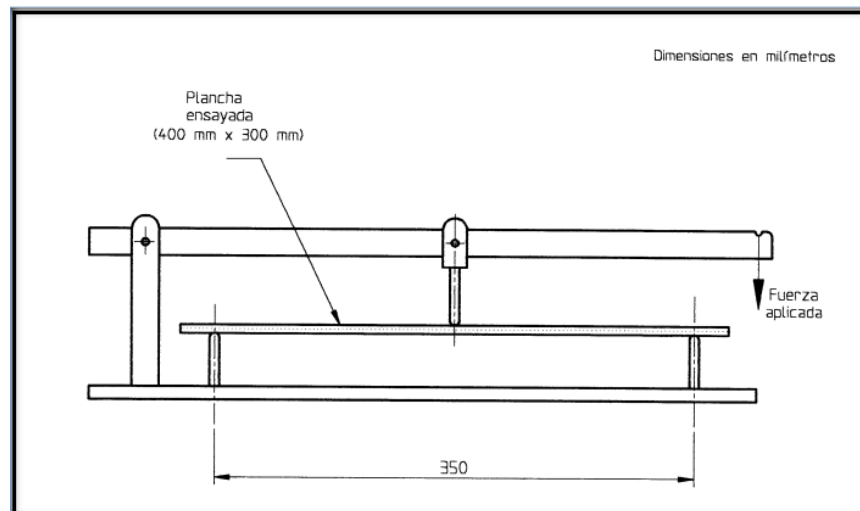
Suelo – Paja de trigo – Cal – Aserrín						
Porcentaje paja de trigo	Porcentaje Aserrín	Propiedad	Porcentaje de aserrín			
			3%	7%	11%	15%
X%	X%	R. Flexión				
		Densidad				

5.4 Ensayos

5.4.1 Ensayo de resistencia a la flexión

Este ensayo requiere de probetas de 40x30 cm las cuales son ensayadas en una máquina de carga axial similar a la descrita en NCh146/2 Of2000 (ver figura 5.1). La fuerza aplicada es dada a través un sistema hidráulico que deja caer agua hasta la ruptura de la placa.

Este ensayo es de tipo destructivo y se repite para 4 probetas. Los valores de carga de cada probeta se promedian. El valor promedio corresponderá a la carga que resiste la placa.

Figura 5.1: Esquema de máquina para determinar resistencia a la flexión

Fuente: Instituto Nacional de Normalización, 2000.

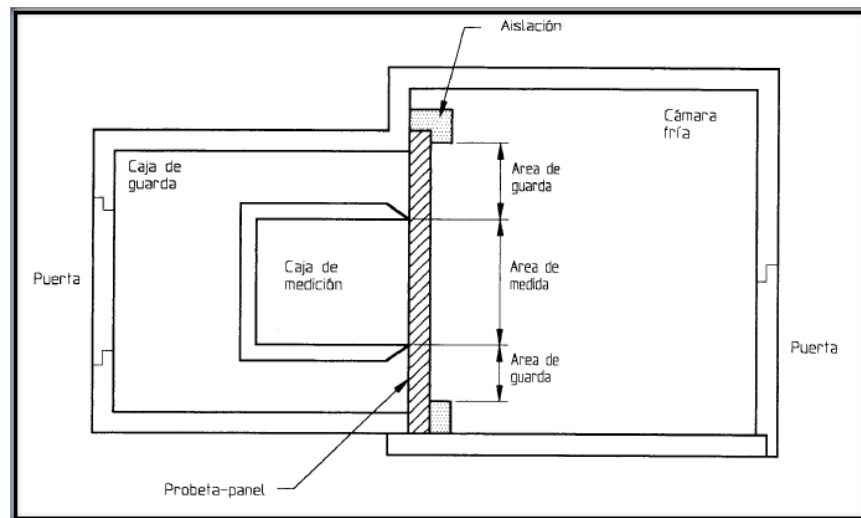
5.4.2 Ensayo de comportamiento térmico

El presente ensayo es de elaboración propia y fue desarrollado con el fin de establecer un patrón de comparación entre una placa cielo americano y la placa estudiada en esta investigación.

Este somete las placas a una diferencia de temperatura entre una cara y otra. Para esto se requiere de una cámara térmica. De la NCh851 Of83 se toma el modelo de la cámara térmica (Figura 5.2) y se le hacen las modificaciones según las herramientas de medición disponibles en laboratorio. Existe una caja de medición donde se disponen tres ampollas incandescentes de 60 watt las que, al encenderse, comenzaran a generar el flujo térmico hacia la placa a una distancia de 25 cm. La placa divide las áreas caja de guarda y cámara fría.

La cámara de guarda, dispuesta en los laboratorios (figura 5.3), está construida de melamina de 15 mm de espesor, con dimensiones interiores de 100 cm de largo, 50 cm de ancho en el área de guarda y 65 cm en el área fría. Se dispone de una tapa que sella la cámara. Las caras interiores están cubiertas con Fiber block 330 marca FELTREX para evitar pérdidas de temperatura.

Figura 5.2: Cámara térmica.

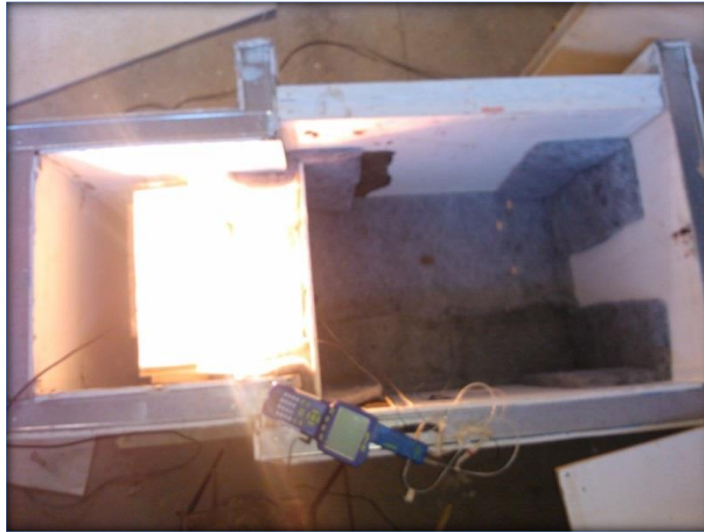


Fuente: Instituto Nacional de Normalización, 1983.

Para la medición de la temperatura de las caras se utiliza el equipo Xplorer GLX de Pasco con los sensores de temperatura superficial PS-2131. Los sensores se colocan en contacto directo con la placa uno a cada lado de ella. (Figura 5.4)

Los datos obtenidos serán tabulados y graficados para su posterior análisis.

Figura 5.3: Cámara térmica disponible en laboratorio de construcción UV.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5.4: Equipo Xplorer GLX y sensores de temperatura superficial



Fuente: Pasco, 2014.

5.4.3 Ensayo de comportamiento acústico

Al igual que el ensayo anterior (Párrafo 5.4.2) también es de elaboración propia y se creó con la misma finalidad de establecer un patrón de comparación con una placa normada

Para el ensayo acústico se utilizará la misma cámara que se utilizó para el ensayo de temperatura en las caras.

Las mediciones se realizarán a través del equipo Xplorer GLX de Pasco con el sensor PS-2109 se registrarán los dB(A). Se instalarán un par de parlantes en un extremo de la cámara y en el extremo opuesto el equipo Xplorer GLX con el sensor de sonido. Se reproducirá un sonido rosa para medir la intensidad sin placas divisorias y con las placas divisorias. Los datos se tabularán y graficarán para su posterior análisis.

Figura 5.5: Sensor de sonido para Xplorer GLX. Fuente: (Pasco, 2012)



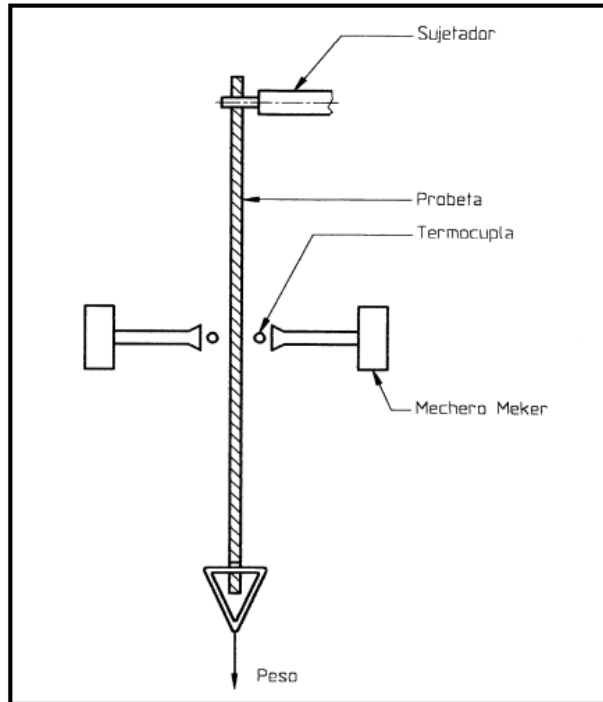
5.4.4 Ensayo de comportamiento al fuego

Somete las probetas a la acción de la llama directa y a esfuerzos de tracción, simultáneamente.

Se requieren 2 probetas de 5x30 cm, por cada dosificación estudiada.

Se perforan las probetas con un diámetro de 3mm en los extremos más lejanos entre sí. Se colgará la probeta desde un apoyo fijo y se aplicará una fuerza de 500 Kgf en el extremo inferior como se aprecia en la Figura 3.6, para después fijar un mechero a 8 cm de distancia de la cara frontal de la placa y una termocupla tipo K a 2 cm de la mismas cara, en el dorso se colocará un termómetro de horno con rango de 0 a 100°C de forma horizontal en contacto directo con la placa.

Figura 5.6: Montaje de aparato para determinar cohesión de núcleo a altas temperaturas



Fuente: Instituto Nacional de Normalización, 2000.

La temperatura medida en la termocupla debe estar a $850 \pm 50^{\circ}\text{C}$ a los 2 minutos de comenzado el ensayo y permanecer dentro del rango durante 120 min. Se medirá la temperatura alcanzada en el dorso de la placa a través de la lectura obtenida del termómetro de horno.

Capítulo VI: Desarrollo de la Investigación

6.1 Caracterización de los materiales constituyentes

6.1.1 Caracterización de suelo patrón

El muestreo de suelo se realizó en el sector estero de Piuchén, camino a Yervas Buenas, comuna de Marchigüe. Sector conocido por constar con suelos altamente plásticos. Figura 6.1



Figura 6.1: Mapa extracción de suelo

En esta extracción de suelo se almacenaron aproximadamente 200 Kg de material en sacos de 20 Kg, de manera de evitar una posible contaminación de suelo.



Figura 6.2: Muestra de suelo, Marchigüe

6.1.1.1 Análisis granulométrico suelo patrón

Se extrae una porción de suelo, se acondiciona y reduce por cuarteo según NCh164. Luego según procedimientos descritos en NCh1223 Of 77 se calcula el contenido de material fino inferior a 0,08mm obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 6.1: Suelo Marchigüe

Muestra de ensayo	1800 g
Masa inicial	563 g
Material lavado y seco	227 g
Material fino seco	336 g
Contenido material fino	59,7%

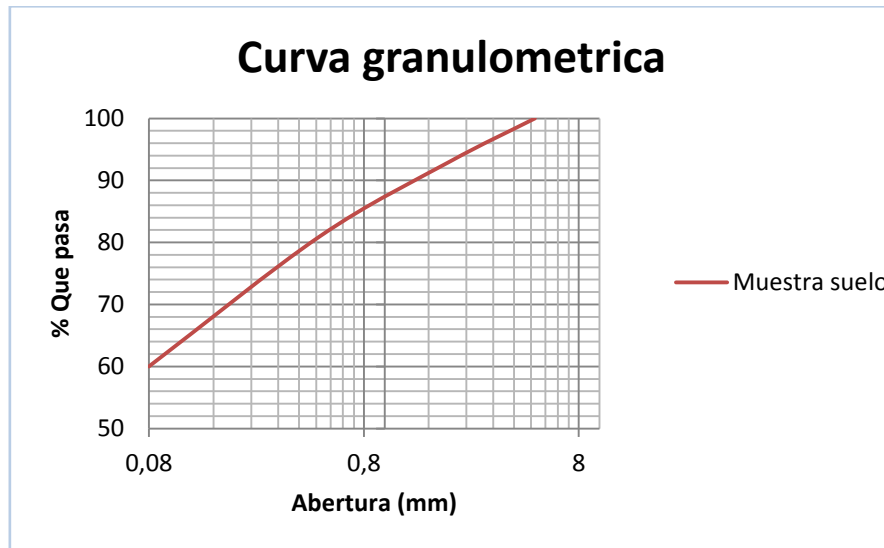
Fuente: Elaboración propia, 2016

El material lavado seco se tamiza para obtener la granulometría según Nch 165 of77. Presentando los siguientes resultados.

Tabla 6.2: Granulometría suelo Marchigüe

Nº Tamiz	Peso retenido (gr)	% Retenido	Peso que pasa (gr)	% Que pasa
4	0	0	563	100
10	40	7	523	93
40	68	12	455	81
200	116	21	339	60

Fuente: Elaboración propia, 2016

Grafico 6.1: Granulometría suelo Marchigüe

Fuente: Elaboración propia, 2016

6.1.1.2 Límites de consistencia suelo patrón

a) Límite líquido:

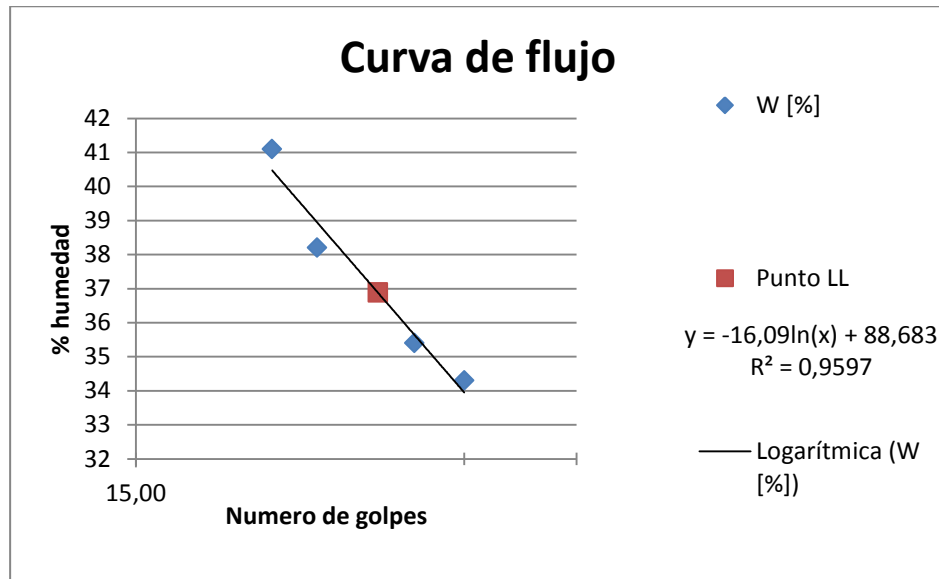
La tabla 6.3 muestra el número de golpes y el porcentaje de humedad que le corresponde. El gráfico 4.2 Muestras la curva de flujo de la cual se desprende el límite líquido.

Tabla 6.3: Límite líquido suelo Marchigüe.

Nº Muestra	Masa recipiente	Nº Golpes	Masa húmeda	Masa seca	% Humedad
1	6,5	23	13,5	11,4	42,9
2	5,2	20	13,1	10,8	41,1
3	4,8	22	14,2	11,6	38,2
4	5,4	27	14,2	11,9	35,4
5	5,5	30	14,7	12,3	35,3

Fuente: Elaboración propia, 2016

Grafico 6.2 Curva de flujo



Fuente: Elaboración propia, 2016

Al interceptar la curva de flujo con el eje de las abscisas a los 25 golpes, se obtiene una humedad equivalente al 36,9% que corresponde al límite líquido.

b) Límite plástico:

La tabla 6.4 muestra el promedio de los % de humedad que determinan el límite plástico del suelo.

Tabla 6.4: Límite plástico, suelo Marchigüe.

Nº Muestra	Masa recipiente	Masa húmeda	Masa seca	% Humedad
1	5,9	8,6	8,3	12,5
2	5,8	8,5	8,1	17,4
3	5,4	8,1	7,8	12,5
			Promedio	14,1

Por lo tanto el límite plástico $L_p = 14,1\%$

c) Índice de plasticidad:

Con los datos anteriores se obtiene el índice de plasticidad correspondiente a la diferencia entre límites líquido y plástico que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 6.5: Índice de plasticidad

Muestra de suelo	LL-LP	IP
Suelo Marchigüe	36,9 - 14,1	22,8

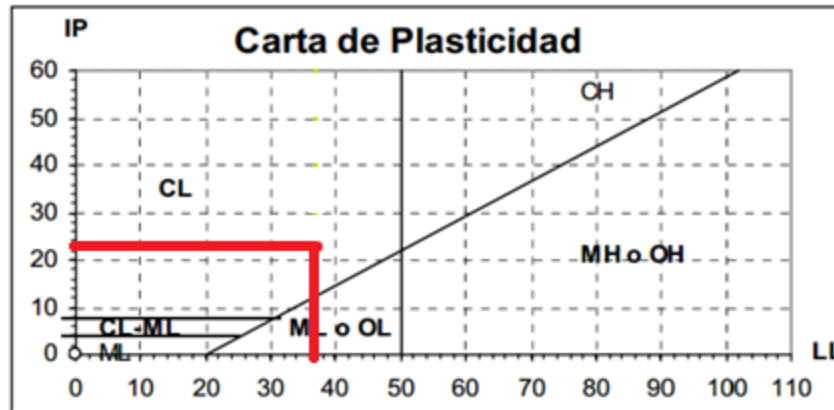
Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, el índice de plasticidad es 22,8

6.1.1.3 Clasificación suelo patrón

Como el porcentaje de partículas que pasa por la malla ASTM N°200 es mayor al 50%, el suelo corresponde a un suelo fino, por lo que hay que realizar la clasificación a través de la carta de plasticidad, utilizando como datos a ingresar, el límite líquido y el índice de plasticidad obtenidos en la sección 6.1.1.2. Tal como lo muestra el gráfico 6.3.

Gráfico 6.3: Carta de plasticidad



Tal como se muestra en la gráfica anterior según la clasificación USCS el suelo corresponde a un suelo arcilloso inorgánico de baja a media plasticidad (CL).

6.1.1.3 Densidad aparente suelta suelo patrón

La densidad aparente suelta (D.ap.s), del suelo patrón, se presenta como el promedio entre tres muestras. Corresponde al cociente entre la masa (m) y el volumen (v). Tabla 6.6

Tabla 6.6: D.ap.s suelo patrón.

Muestra	Masa (Kg)	Volumen (m3)	Densidad (Kg/m3)
1	2,6183	0,00104	2517,60
2	2,6152	0,00104	2514,62
3	2,6777	0,00104	2574,71
		Promedio	2535,54

6.1.2 Caracterización de la ceniza volcánica

El muestreo de ceniza volcánica se realizó en el sector Las Pataguas, comuna de Marchigüe. Sector reconocido por presencia de este mineral. Figura 6.3



Figura 6.3: Mapa extracción de ceniza volcánica

En esta extracción de ceniza se almacenaron aproximadamente 100 Kg de material en sacos de 20 Kg, de manera de evitar una posible contaminación.



Figura 6.4: Muestra de ceniza volcánica, Marchigüe

6.1.2.1 Granulometría de Ceniza volcánica

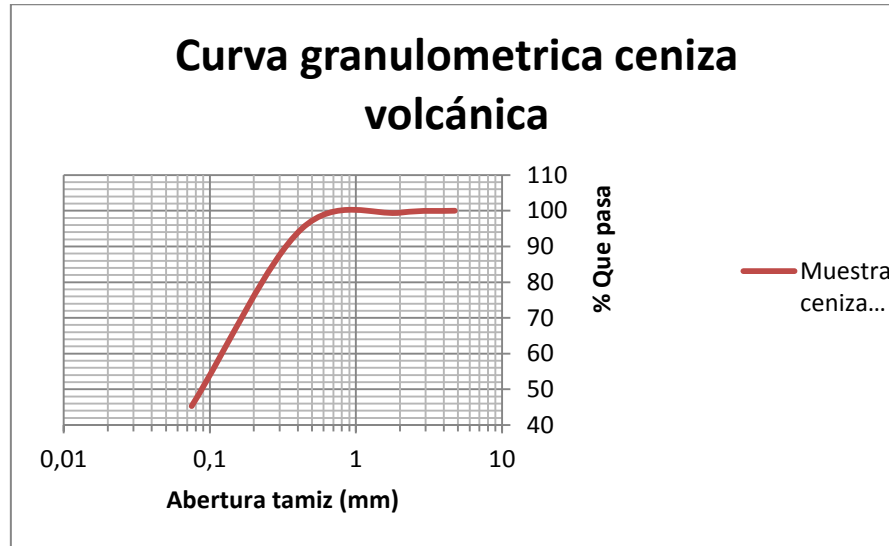
Con el fin de determinar la distribución de partículas que componen la ceniza volcánica que se utilizará como estabilizante se presenta un análisis granulométrico cuya masa inicial es de 543 gramos. Tabla 6.7

Tabla 6.7: Granulometría de la ceniza volcánica

TAMICES		RETENIDO		QUE PASA	
NCh (mm)	ASTM N°	Masa (gr)	%	Masa (gr)	%
4,750	4	0,00	0,00	543,00	100
2,00	10	3,00	0,55	540,00	99,45
0,425	40	25,30	4,66	515,59	94,95
0,075	200	269,2	49,54	246,10	45,30

Fuente: Elaboración propia, 2016

Grafico 6.4: Granulometría de ceniza volcánica



Fuente: Elaboración propia, 2016.

De la gráfica se desprende que la ceniza volcánica está constituida principalmente de partículas cuyo tamaño se asimila a las arenas finas, sin embargo los granos son muy similares a las piedras pómez demostrando su origen volcánico. La otra mitad, prácticamente, está constituida de material fino, que pasa la malla ASTM N° 200, y se podría asimilar a los limos puesto que no presenta Cohesión.

6.1.2.2 Densidad aparente de ceniza volcánica

La densidad aparente suelta (D.ap.s), de la ceniza volcánica, se presenta como el promedio entre tres muestras. Corresponde al cociente entre la masa (m) y el volumen (v).
Tabla 6.8

Tabla 6.8: D.ap.s de la ceniza volcánica.

Muestra	Masa (Kg)	Volumen (m3)	Densidad (Kg/m3)
1	0,9643	0,00104	927,21
2	0,9711	0,00104	933,75
3	0,9563	0,00104	919,52
		Promedio	926,83

Fuente: Elaboración propia, 2016

6.1.3 Caracterización de la paja de trigo

6.1.3.1 Longitud de paja de trigo

La fibra que se utilizará se estima en un promedio de 2,75 cm de largo, variando entre 0,8 a 5 cm. Figura 6.5

Figura 6.5: Longitud de paja de trigo.



Fuente: Elaboración propia, 2016

6.1.3.2 Densidad aparente paja de trigo

La densidad aparente suelta (D.ap.s) se presenta como el promedio entre tres muestras. Corresponde al cociente entre la masa (m) y el volumen (v). Tabla 6.9

Tabla 6.9: D.ap.s de la paja de trigo.

Muestra	Masa (Kg)	Volumen (m3)	Densidad (Kg/m3)
1	0,2284	0,005033	45,38
2	0,2303	0,005033	45,76
3	0,2255	0,005033	44,80
Promedio			45,31

Fuente: Elaboración propia, 2016.

6.1.4 Caracterización del aserrín

6.1.4.1 Granulometría del aserrín

Con el fin de determinar la distribución de partículas que componen el aserrín que se utilizará para alivianar la placa de suelo se presenta su granulometría. Debido a su baja densidad se toma una muestra de 58 gramos cuyo volumen es equivalente a 500 gramos de suelo. Tabla 6.10

Figura 6.6: Aserrín

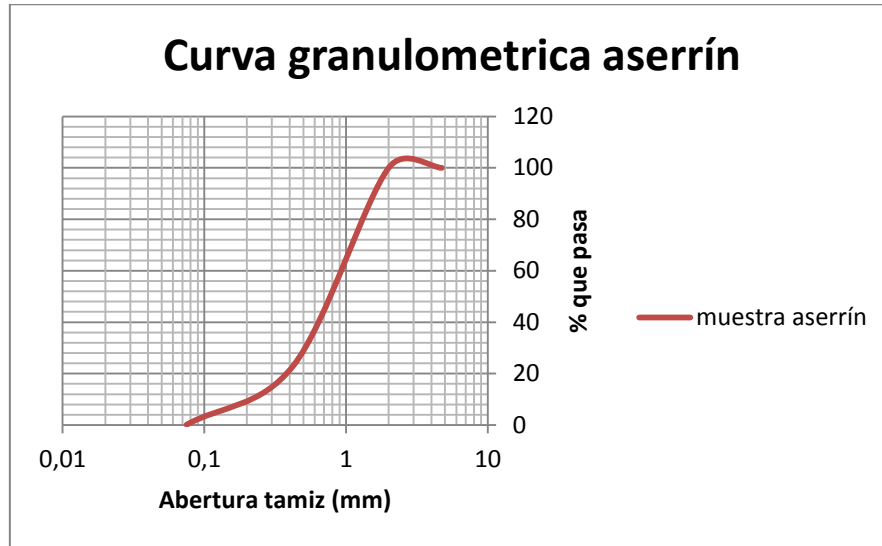


Tabla 6.10: Granulometría del aserrín

TAMICES		RETENIDO		QUE PASA	
NCh (mm)	ASTM N°	Masa (gr)	%	Masa (gr)	%
4,750	4	0,00	0,00	58,00	100
2,00	10	0,00	0,00	58,00	100
0,425	40	44,6	76,90	13,4	23,10
0,075	200	13,32	22,97	0,08	0,14

Fuente: Elaboración propia, 2016

Grafico 6.5: Granulometría del aserrín



Del gráfico 6.5 se puede apreciar que el aserrín contiene la mayor cantidad de partículas retenidas en la malla ASTM N°40 por lo que el tamaño máximo nominal es de 0,425 mm

6.1.4.2 Densidad aparente del aserrín

La densidad aparente suelta (D.ap.s) se presenta como el promedio entre tres muestras. Corresponde al cociente entre la masa (m) y el volumen (v). Tabla 6.11

Tabla 6.11: D.ap.s del aserrín

Muestra	Masa (Kg)	Volumen (m3)	Densidad (Kg/m3)
1	0,1144	0,00104	110
2	0,113	0,00104	108,65
3	0,1131	0,00104	108,75
		Promedio	109,13

6.1.5 Caracterización de la cal

Para esta investigación se utilizará cal hidráulica de la empresa SOPROCAL, cal utilizada en estabilización de suelos. Figura 6.7

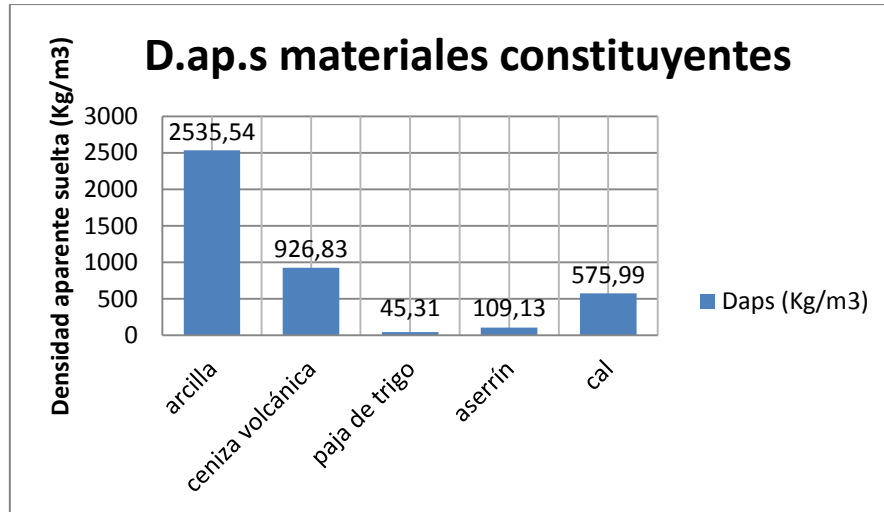


Figura 6.7: Cal hidráulica.

La densidad aparente suelta (Daps) se presenta como el promedio entre tres muestras. Corresponde al cociente entre la masa (m) y el volumen (v). Tabla 6.12

Muestra	Masa (Kg)	Volumen (m3)	Densidad (Kg/m3)
1	0,5963	0,00104	573,37
2	0,6009	0,00104	577,79
3	0,5999	0,00104	576,83
		Promedio	575,99

Tabla 6.12: D.ap.s cal hidráulica.

Grafico 6.6: Densidades aparentes de los materiales

Fuente: Elaboración propia, 2016

6.2 Etapa II: Resultados para Placa Tipo A

6.2.1 Resultados ensayo a flexión. Suelo – Variación paja de trigo

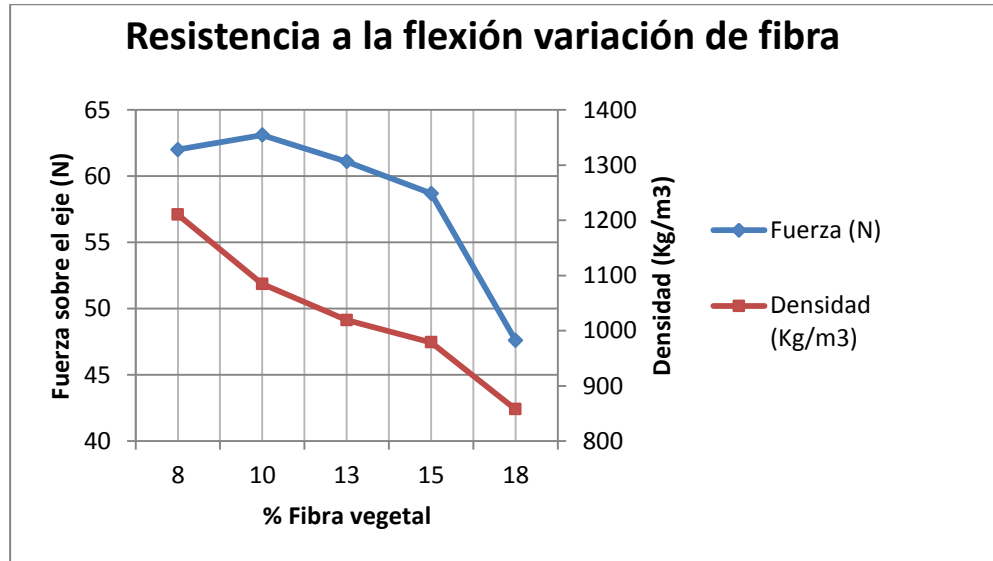
Los datos presentados a continuación muestran la carga aplicada al eje de la placa hasta la ruptura para cada porcentaje de fibra, así como también la densidad de cada una.

Tabla 6.13: Carga de flexión para variaciones de paja de trigo

Probetas	Paja de trigo (%)	Densidad (Kg/m ³)	Carga aplicada (Kgf)	Fuerza (N)
Probeta N ^o 1	8	1210,3	6,33	62,08
Probeta N ^o 2	10	1084,6	6,44	63,16
Probeta N ^o 3	13	1019,3	6,24	61,19
Probeta N ^o 4	15	978,8	5,99	58,74
Probeta N ^o 5	18	857,6	4,86	47,66

Fuente: Elaboración propia, 2016

Grafico 6.7: % paja de trigo v/s resistencia a la flexión



Fuente: Elaboración propia, 2016

Figura 6.8: Placas ensayadas a flexión



La adición progresiva de paja influye directamente en la resistencia a la flexión que soporta la placa. La tendencia refleja un punto de inflexión cuando se agrega un 10% de fibra vegetal, lo que refleja la mayor resistencia, por tanto porcentajes mayores y/o menores a este disminuyen la dicha propiedad. Se define un 10% de paja como agregado base. En cuanto a la densidad, que presenta el porcentaje base, se puede decir que bordea el promedio entre las placas presentes y muestra una tendencia a la baja a medida que se aumenta la adición de fibra. Por otro lado la longitud de la fibra utilizada logra tal entramado, que al romperse producto de la carga, no se dividen completamente la placa en dos cuerpos, como lo muestra la figura 6.8.

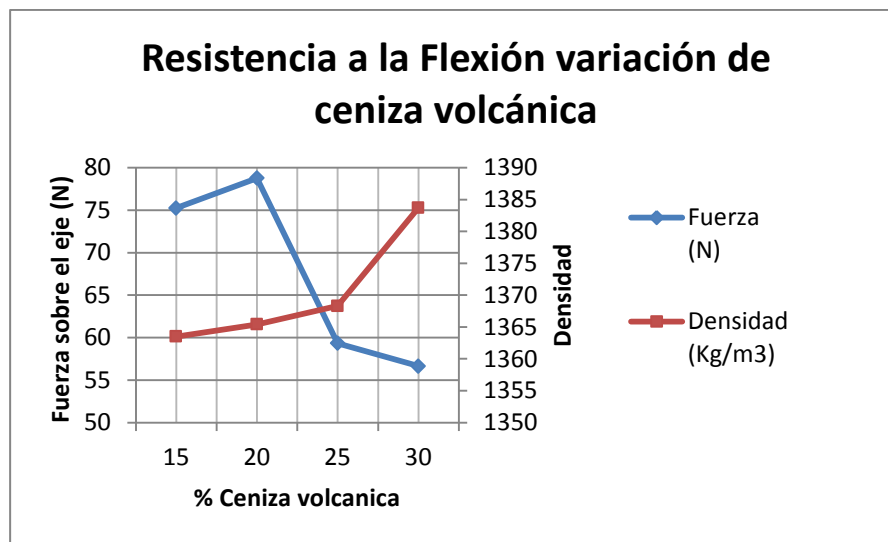
6.2.2 Resultado ensayo a flexión. Suelo-10% paja de trigo- Variación Ceniza volcánica.

Los resultados de la adición de ceniza volcánica como estabilizante, se presentan a continuación en la tabla 6.14 y se representan gráficamente a través del grafico 6.8

Tabla 6.14: Carga de flexión para variación de ceniza volcánica

Probetas	Ceniza volcánica (%)	Densidad (Kg/m ³)	Carga aplicada (Kgf)	Fuerza (N)
Probeta N ^o 1	15	1363,5	7,67	75,24
Probeta N ^o 2	20	1365,4	8,03	78,77
Probeta N ^o 3	25	1368,3	6,05	59,33
Probeta N ^o 4	30	1383,7	5,78	56,64

Grafico 6.8: Resistencia a la flexión placa tipo A estabilizada con ceniza volcánica



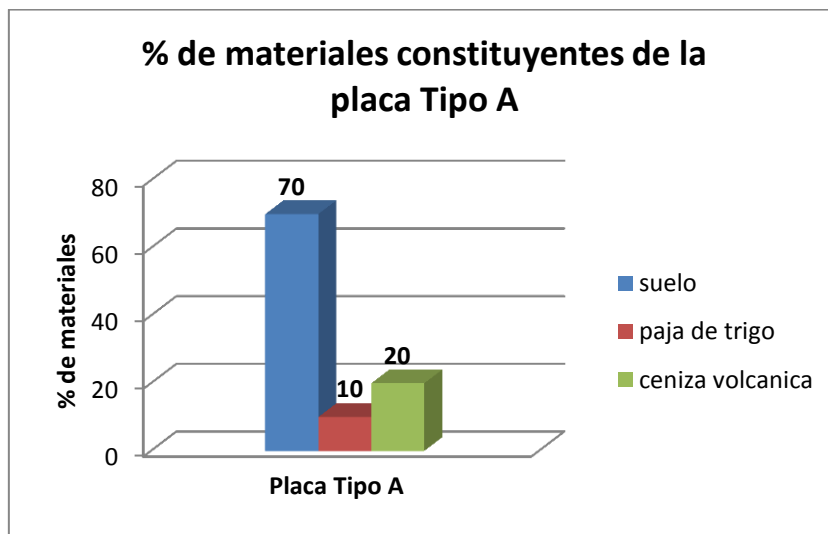
Fuente: Elaboración propia, 2016

Como se aprecia en el grafico la placa que tiene un mejor comportamiento al esfuerzo es la correspondiente al 20% de ceniza volcánica, valores superiores y/o menores a este reducen la resistencia a la flexión. Tal efecto en las propiedades mecánicas ha sido reportado por Vidal (2011) para el caso de una placa de suelo cemento. Lo que responde a las propiedades cementicias que tienen ambos componentes. Se afirma de igual forma lo

planteado por USAIG (1992) con respecto a las propiedades cementicias que posee la ceniza, sin la dependencia de la cal liberada por el cemento o cal. Además la incorporación de ceniza volcánica aumentó en un 24% la resistencia de la placa con respecto a la mezcla solo con fibra, así como también aumento su densidad en un 26%, mostrando la necesidad de utilizar un agregado que aliviane la placa.

Los ensayos presentados corresponden a la primera etapa, la que ha permitido definir cantidades base de fibra y ceniza volcánica siguiendo una metodología de muestra en estado húmedo. En la segunda etapa se remplaza la ceniza volcánica por a cal, manteniendo el 10% de paja de trigo, y se trabaja con una mezcla seca.

Grafico 6.9: % de materiales constituyentes de la placa Tipo A



Fuente: Elaboración propia, 2016

6.3 Etapa III: Resultados para la Placa Tipo B

6.3.1 Resultados ensayo a flexión. Suelo-10% Paja de trigo- variación de Cal.

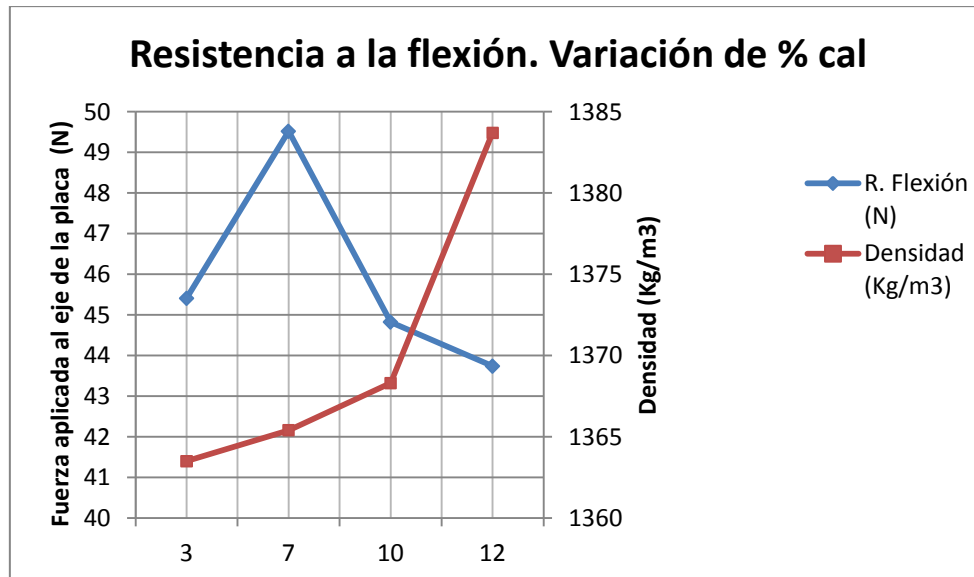
De la experiencia en probeta tipo A se mantienen los valores porcentuales de la fibra vegetal, la cual es estabilizada con cal en distintos porcentajes, presentadas en la tabla 6.15 con la finalidad de comparar cual estabilizante otorga mayor resistencia.

Tabla 6.15: Resistencia a la flexión, placa tipo B, estabilizada con cal

Probetas	Ceniza volcánica (%)	Densidad (Kg/m ³)	Carga aplicada (Kgf)	Fuerza (N)
Probeta N°1	3	1323,5	4,63	45,41
Probeta N°2	7	1325,4	5,05	49,52
Probeta N°3	10	1328,3	4,57	44,82
Probeta N°4	12	1333,7	4,46	43,74

Fuente: Elaboración propia, 2016

Grafico 6.10: Resistencia a la flexión placa tipo B estabilizada con cal

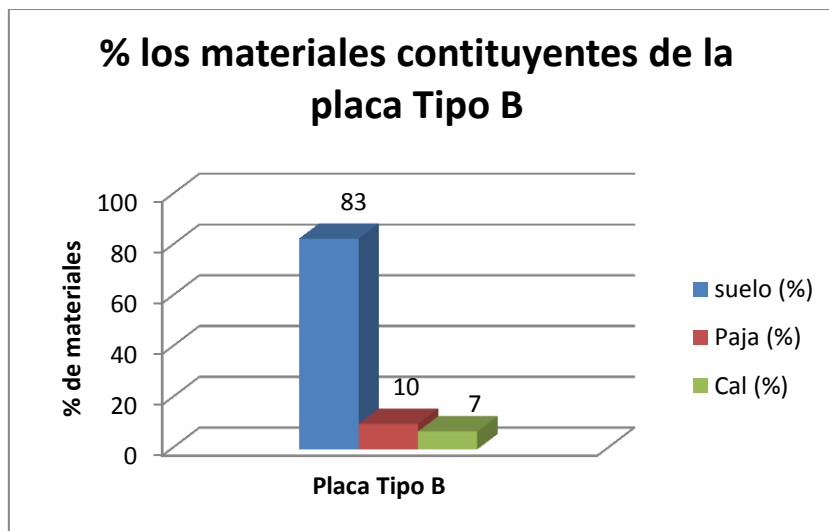


Fuente: Elaboración propia, 2016

Del gráfico 6.10, se desprende que el 7% de cal es la cantidad que otorga mayor resistencia a la flexión, sin embargo dicho valor es menor, en un 37%, al entregado por la ceniza volcánica en mezcla húmeda y un 22% inferior a la resistencia alcanzada por el suelo con 10% de fibra. Gráfica 4.6.

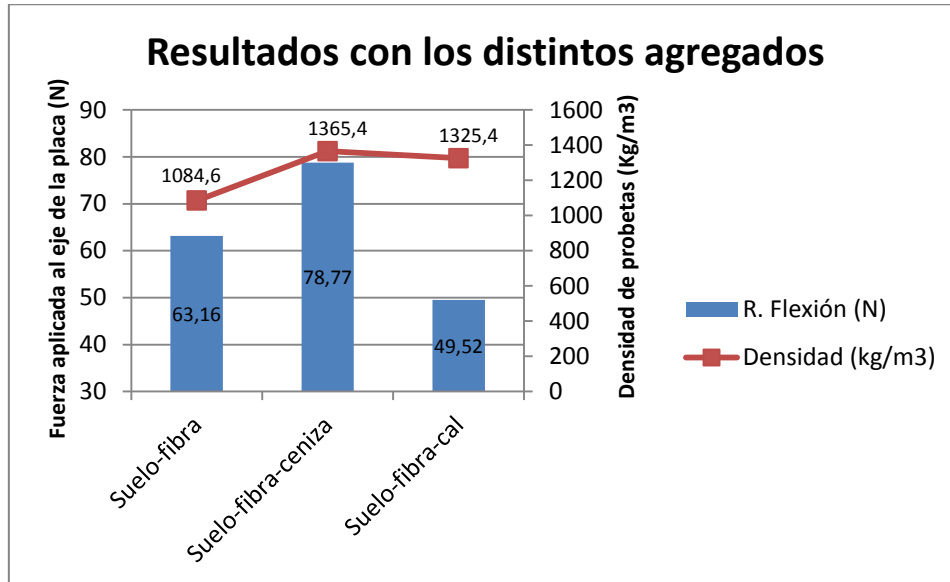
La nueva distribución de partículas que le otorga la cal al suelo se muestra menos resistente que el valor otorgado por la distribución laminar propia del suelo arcilloso. Se presume que la mezcla húmeda, al pasar mayor tiempo las partículas de arcilla en contacto con el agua, le otorga una fuerza cohesiva superior que la estabilización con cal en mezcla seca. Por otro lado, la cal al disminuir la plasticidad de la mezcla, también disminuye la retracción siendo ésta importante para la consolidación de la placa.

Gráfico 6.11: Cantidad de material constituyente de placa Tipo B



Fuente: Elaboración propia, 2016

Grafico 6.12: Resultado de ensayos a flexión con los distintos agregados



Fuente: Elaboración propia, 2016

Por tanto, para el desarrollo de la etapa final, se define como placa patrón la probeta Tipo A, con una distribución de 70% suelo, 10% paja de trigo y 20% de ceniza volcánica, en mezcla húmeda. Por consiguiente dicha placa patrón se mezclará con aserrín en distintas proporciones con el fin de alivianar el elemento. Los resultados se compararán con una placa de cielo americano común en el mercado. Poniendo a prueba ensayos de resistencia mecánica, térmica, acústica y de comportamiento al fuego.

6.4 Ensayos comparativos entre placa de suelo estabilizado con variación % de aserrín y una placa de cielo americano.

6.4.1 Ensayo comparativo de resistencia a la flexión

Las tabla 6.16 muestra los resultados de ensayo a la placa de cielo americano marca Armstrong. Mientras que las tablas 6.17 muestran la resistencia de las placas de suelo estabilizado con variación en la incorporación de aserrín.

Tabla 6.16: Resistencia a la flexión placa cielo americano

Probetas	Densidad (Kg/m ³)	Carga aplicada (Kgf)	Fuerza (N)
Probeta N°1	236,18	4,08	40,01
Probeta N°2	245,30	4,28	41,97
Probeta N°3	240,11	4,26	41,78
Probeta N°4	238,15	4,34	42,56
		Promedio	41,58

Fuente: Elaboración propia, 2016

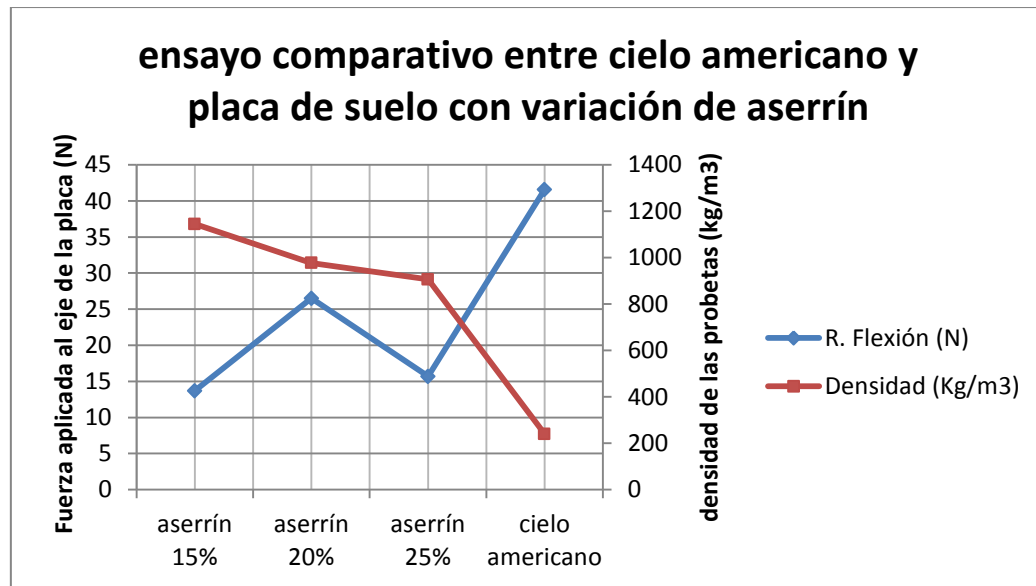
Tabla 6.17: Resistencia a la flexión placa tipo A con variación % de aserrín

Probetas	Aserrín (%)	Densidad (Kg/m ³)	Carga aplicada (Kgf)	Fuerza (N)
Probeta N°1	15	1144,5	1,4	13,7
Probeta N°2	20	977	2,7	26,5
Probeta N°3	25	906,25	1,6	15,7

Fuente: Elaboración propia, 2016

En la siguiente página se grafican los valores correspondiente a las cargas que soportan las placas y las densidades de cada una.

Grafico 6. 13: Ensayo comparativo de resistencia a la flexión, entre probetas de suelo y probetas de cielo americano



Fuente: Elaboración propia, 2016

Del grafico se desprende que el 20% de aserrín es la dosis que alcanza mejor comportamiento a la carga solicitada, además alcanza una densidad 28% menor a la placa tipo A. sin embargo existe una disminución en las resistencias de cada placa tras agregar aserrín. La disminución se debe a que el nuevo ordenamiento de las partículas no favorece a la cohesión tras bajar el porcentaje relativo de arcilla.

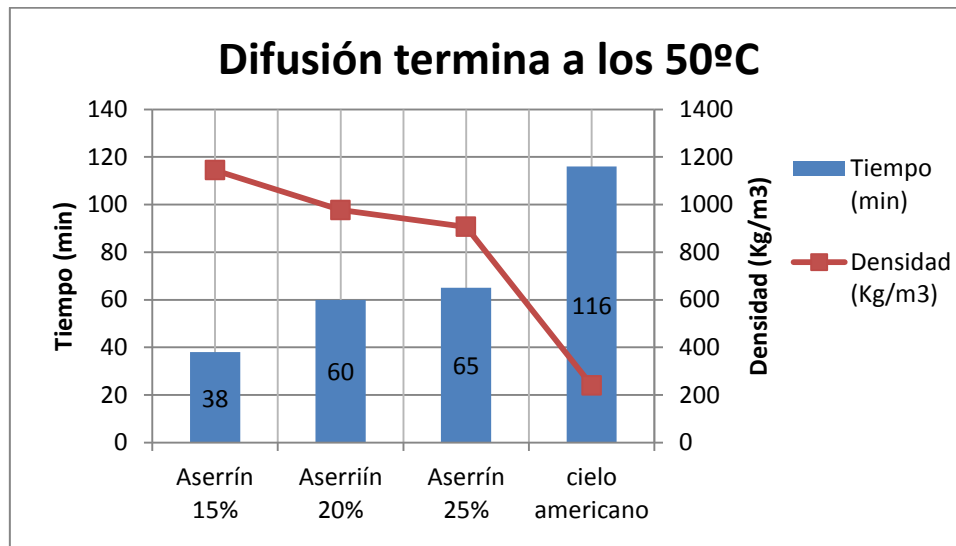
Se aprecia que la placa de cielo americano tiene mejor comportamiento bajo la carga solicitada, siendo 1,9 veces más resistentes que la placa con agregado de aserrín mejor evaluada. En cuanto a las densidades se puede decir que tras agregar mayor cantidad de aserrín disminuye la densidad de la placa

6.4.2 Ensayo comparativo de comportamiento térmico.

En este ensayo se aprecian dos fenómenos asociados al comportamiento térmico de las placas. Uno es la capacidad aislante y la otra es la difusión térmica que presentan las distintas probetas.

El grafico 6.14 muestra el tiempo que demora la cara frontal de la placa, expuesta a la fuente de calor, en alcanzar los 50°C.

Grafico 6.14: Difusión térmica a los 50°C

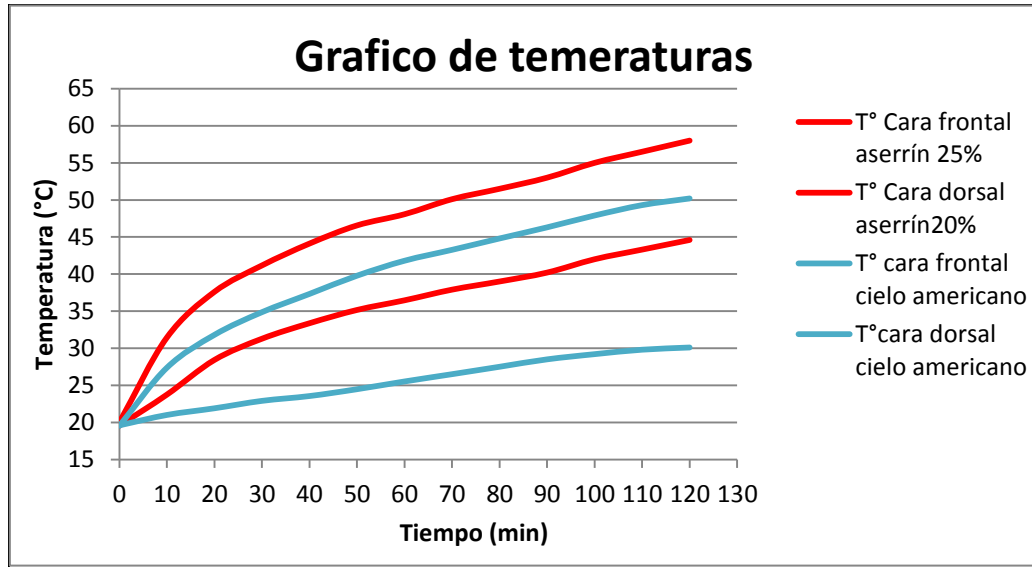


Fuente: Elaboración propia, 2016

Al analizar los datos se puede observar que la difusión, es decir la capacidad que tiene el material de ganar o perder temperatura, es distinta en cada material. Se aprecia que las placas a base de suelo arcilloso presentan un menor comportamiento que la de cielo americano tardando, esta última, 1,8 veces más que la de suelo arcilloso con agregado de aserrín mejor evaluada, en alcanzar los 50°C. Esto se puede reflejar en los lugares donde la variación de temperatura entre el día y la noche es alta favoreciendo el equilibrio térmico en el interior de recinto.

Otro fenómeno es deducible del grafico 6.15 donde se observa que al transcurso de 2 horas la placa de fibra mineral se calienta a 50,2°C en su cara frontal, mientras que irradia temperatura a 30,1°C por su cara dorsal, generando un delta de temperatura 20,1°C. La placa de suelo arcilloso con agregado de aserrín 25% se calienta a 58°C e irradia a 44,6°C generando un delta de temperaturas de 13,4°C. Esto quiere decir que la placa de fibra mineral aísla un 33% más que la placa de suelo arcilloso mejor evaluada.

Grafico 6.15: Grafica de temperaturas en las caras

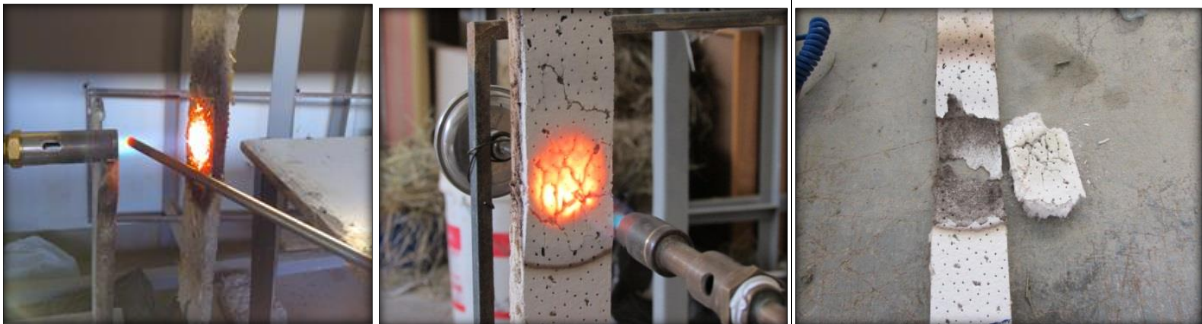


Fuente: Elaboración propia, 2016

6.4.3 Ensayo comparativo de resistencia al fuego.

Este ensayo refleja el comportamiento del núcleo para las distintas dosificaciones de la placa de suelo arcilloso con agregado de aserrín, así como también para las de cielo americano ya descritas en el diseño experimenta. El desarrollo del ensayo se llevó a cabo con una temperatura de la llama de 1080 ± 5 °C.

Figura 6.9: Placas ensayas al fuego.



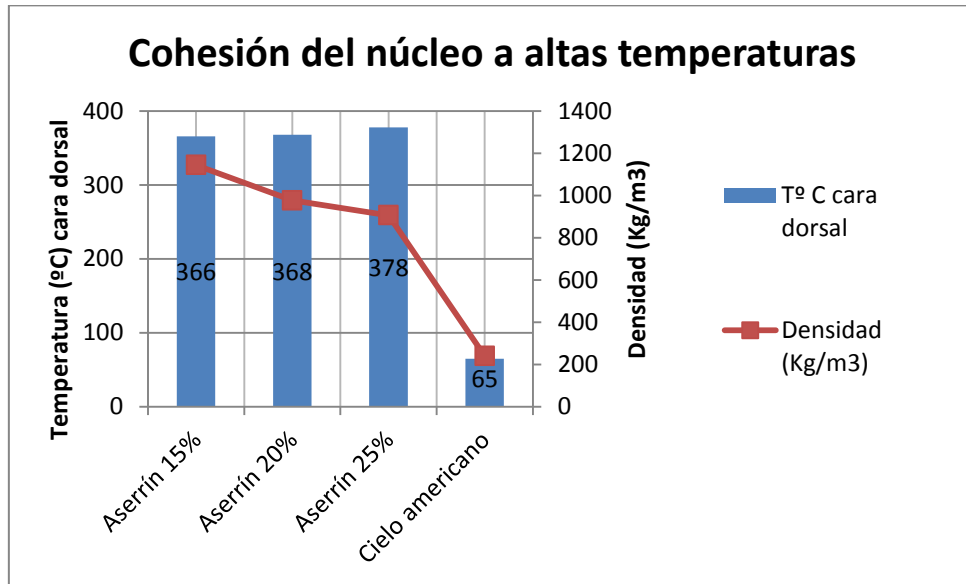
Fuente: elaboración propia, 2016

La placa de suelo arcilloso no presento ruptura del núcleo tras estar expuesta a la llama durante un periodo de 120 minutos, mientras que la placa de cielo americano presento la ruptura de su núcleo a los 68 minutos. La cara dorsal u opuesta a la llama directa tuvo un escenario distinto, puesto que la temperatura, de la placa de suelo arcilloso, en dicha cara, al

transcurso de los 120 minutos presento una temperatura de 378°C y la placa de cielo americano antes de la ruptura de su núcleo no sobrepasó los 65°C.

Como la ruptura del núcleo de la placa de cielo americano fue a los 68 min se toma este tiempo como referencia de lectura de temperatura en la cada dorsal y se presentan a través de la siguiente grafica 6.16

Grafico 6.16: Cohesión del núcleo a altas temperaturas



Fuente: Elaboración propia, 2016

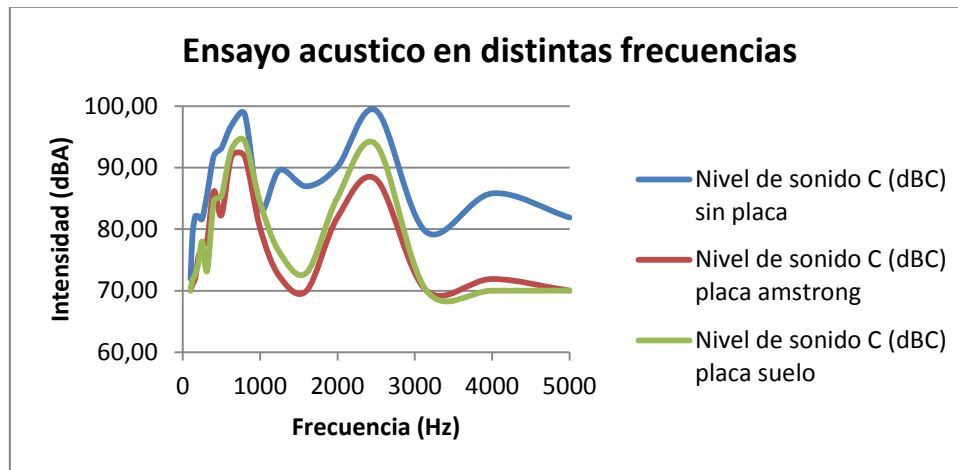
La variación porcentual de aserrín no varía significativamente sobre temperatura en la cara dorsal de las placas de suelo lo que presume una fuerte cohesión de las partículas de arcilla produciendo un efecto que corta la llama. Estos resultados salen de los límites establecidos bajo las condiciones de la norma alemana, la que considera al barro con paja incombustible si la densidad no es menor a 1700 Kg/m³ (Minke, 2001). Mientras que la placa de suelo arcilloso que presenta mayor densidad es de 1145 Kg/m³ lo que presume la participación de la ceniza volcánica como agente ignífugo.

La temperatura, sin embargo, en la cara opuesta a la explosión de la llama fue casi 6 veces mayor que la de cielo americano. Este fenómeno se debe a la alta densidad que presenta la placa de suelo arcilloso, con respecto a la de cielos americano, provocando una mayor conductividad del calor a través de la placa

6.4.4 Ensayo comparativo de comportamiento acústico

El ensayo acústico consistió en la capacidad de aislación acústica que presentan las probetas. Se puede apreciar el comportamiento ante la intensidad del sonido en distintas frecuencias de las placas de suelo arcilloso alivianada con aserrín 20% y la placa de cielo americano. El Grafico 6.17 presenta la intensidad en distintas frecuencias a las que fueron sometidas las placas. De color azul se grafica el nivel de sonido sin placa divisoria cuya curva sirve como patrón de muestra.

Grafico 6.17: Ensayo acústico en distintas frecuencias



Fuente: Elaboración propia, 2016

De la gráfica 6.17 se desprende que los comportamientos son bastante similares para ambos casos, placa suelo arcilloso y placa cielo americano. La placa de suelo arcilloso presenta un comportamiento aislante levemente menor, siendo éste un 8,98%, mientras que la placa de cielo americano lo hace en un 10,28%

La similitud en la aislación acústica en ambos materiales se presume a un equilibrio entre ambas placas. Por un lado la placa de suelo presenta mayor densidad favoreciendo la oposición a transmitir las vibraciones que viajan por el sonido. Por otro lado la placa de cielo americano presenta mayor cantidad de aire estanco al tener menor densidad impidiendo que el sonido use de puente el aire. (Stee; Eilas, 2001)

Capítulo VII: Conclusiones y comentarios

Conclusiones:

De acuerdo al desarrollo de esta investigación, en base a ensayos de laboratorio y análisis, se puede afirmar que la hipótesis se cumple, ya que con la incorporación de 10% de paja de trigo, un 20% de ceniza volcánica y un 20% de aserrín en peso, se obtuvo una resistencia de 27 (N), que si bien es inferior a las placas de cielo americano, cumple con la resistencia mínima de servicio, que es su propio peso, para formatos de 600x300x1mm.

A continuación se señalan las conclusiones obtenidas del trabajo experimental en base a la incorporación de los distintos agregados sobre el suelo arcilloso.

Con respecto al suelo-paja de trigo.

La cantidad que otorgó mayor resistencia al suelo arcilloso fue un 10%, en peso. Con esta dosificación se logró estructurar el suelo para dar forma a la placa, formando un entramado tal que permitió contrarrestar las retracciones por secado y brindarle la trabajabilidad que no padecía el suelo natural.

Al incorporar la fibra al suelo, se produce una disminución inversamente proporcional de la densidad de la placa. La mayor disminución de la densidad se produjo con la incorporación de un 18% de paja de trigo. Sin embargo este porcentaje compromete demasiado la resistencia de la placa.

El tamaño de la fibra, cuyos valores van desde los 0,8 a 5 cm de largo y un promedio estimado de 2,75 cm, permite estructurar la placa de tal forma que al ser sometidas a ensayos a flexión ocurriera la ruptura de la placa sin presentar desprendimientos de suelo, factor favorable en un movimiento sísmico.

Con respecto al suelo-ceniza volcánica-paja de trigo.

Con la incorporación de un 20% de ceniza volcánica y un 10% de paja de trigo en peso, se obtuvo un incremento en la resistencia a la flexión de un 25%, sin embargo, la densidad se vio alterada, aumentando en un 21%, justificando así el uso de un agregado liviano.

El uso de ceniza volcánica favoreció el comportamiento frente al fuego, ya que según señala Minke (2001) el barro con paja de trigo en densidades inferiores a 1700 Kg/m³ es combustible. Dicha situación no ocurrió para el caso de la placa ensayada con una densidad de 1365,4 Kg/m³.

Con respecto al suelo-cal-paja de trigo.

La dosis de cal que otorgó mayor resistencia al suelo arcilloso fue de un 7% en peso. Con esta proporción se alcanzó un valor 37% menor al obtenido en la estabilización con ceniza volcánica y un 22% inferior a la estabilización con paja de trigo, ambas mezclas hechas con suelo húmedo. La cantidad de cal añadida en mayores porcentajes disminuye la capacidad resistente de la placa. Se presume, que para la sollicitación requerida en este tipo de placas, se requiere de un alto índice de plasticidad y cohesión ya que la retracción es una reacción que otorga resistencia, consolidando de mejor forma el entramado de fibras y agregados.

La cal, en todas las dosis probadas, aumenta la trabajabilidad de la mezcla favoreciendo la terminación de ésta y aumentando el rendimiento

Con respecto a la condición de mezclado en estado húmedo del suelo, probetas Tipo A y en estado seco del suelo, probetas Tipo B.

La mezcla en estado húmedo arroja mejores resultados para efectos de la resistencia. Esto se puede atribuir al proceso de curado mucho más extendido donde las partículas de arcilla logran una total o mayor hidratación que el que se propició al hidratar la mezcla con suelo seco. Otorgando una mejor activación de la acción aglomerante de las arcillas.

Por otro lado, las mezclas realizadas en estado seco, aseguran una mejor homogeneidad entre los elementos, no así en la mezcla con suelo húmedo, necesitando en esta última una mayor energía de mezclado para asegurar una mejor homogeneidad.

Comentarios:

En los suelos existen una amplia gama de variables que caracterizan a cada uno de ellos. Dependiendo del proyecto que se lleva a cabo un suelo puede transformarse en un material de construcción o bien en un desecho directo al botadero. A través de diseños y técnicas constructivas se puede aprovechar las desventajas de un suelo arcilloso, considerado inestable, utilizando estabilizantes que conformen un elemento apto para ser utilizado como material de construcción.

La resistencia versus peso o densidad son las variables más importantes a tener en cuenta, se logra alivianar un suelo y estabilizarlo pero la condición de resistencia se cumple muy al límite de la fuerza ejercida por su peso propio. Se recomienda como futura investigación hacer variaciones en el tipo de fibra. Una fibra más larga y esbelta puede generar mejores resultados tanto en peso como en resistencia.

Se recomienda como futura investigación, realizar un análisis comparativo que sea más concluyente con respecto a las diferencias de resistencias que existen entre trabajar con un suelo en estado seco o en estado húmedo.

Se recomienda el estudio como futura investigación de la fabricación de un tipo de entramado de mimbre tipo rejilla para aumentar las dimensiones e incorporar mayor cantidad de aserrín.

Referencias bibliográficas

Alarcón D. B. (2005), Modelo Integrado de Valor para Estructuras Sostenibles. Thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, Escola Tècnica Superior D'Enginyers de Camins, Canals i Ports, Spain.

Amorrós García Marta (2011). “Desarrollo de nuevos ladrillos de tierra cruda con aglomerantes y aditivos estructurales de base vegetal”

BAÑÓN BLÁZQUEZ, Luis; BEVIÁ GARCÍA, José Francisco (2010) Manual de carreteras. Alicante : Ortiz e Hijos, Contrastista de Obras, S.A. Vol. 2. ISBN 84-607-0123-9

Braccesi; Roitman (2010) Taller integrado de construcción y instalaciones. Presentación suelos de Chile.

CONAMA (2011). “Informe del estado del medio ambiente informe ejecutivo”

Cortés Álvarez, Marcelo “Sistema Estructural Quincha Metálica”. En: Arquitectura construida en tierra. Tradición e innovación. Congreso en arquitectura de tierra En Cuenca de Campos 2004/2009. (online). Valladolid: Catedra Juna de Villanueva. Universidad de Valladolid 2010 P. 239-244.

Stee; Eilas, (2001) “Diseño acústico de espacios arquitectónicos”

Hossain K.M.A., Lachemi M., Easa S., Stabilized soils for construction applications incorporating natural resource of Papua neu Guinea, Resources, Conservation and Recycling 51, 711-31, 2007.

IPCC (2005), “La protección de la capa de ozono y el cambio climático mundial; cuestiones relativas a los hidrofluorocarbonos y a los perfluorocarobono”

Gutiérrez (2014), plataforma arquitectónica: “Oficinas: nueva oferta necesitaría hasta cinco años para ser absorbida”

Millenium Ecosystem Assessment (2005). “Ecosystems and Human Well-being”

Minke (2001). “Manual de construcción con tierra”

MINVU, 2013 “Manual de Tierra Cruda”

Oteiza I. and Tenorio J.A. (2007), La innovación en las técnicas, los sistemas y los materiales de construcción. Jornada J7: Evaluación de la sostenibilidad en la Edificación, XVII Edición Curso de Estudios Mayores de la Construcción (CEMCO) Instituto Eduardo Torroja, Madrid

Orfila (2008). “construcción natural en el siglo XXI”

Peck, R.B., Hanson, W.E. y Thornburn, T.H (1957) “Foundation Engineering”

Roux y Guerrero (2013) “Comparación ambiental de bloques de tierra comprimida estabilizada con cemento y cal”

Rotondaro (2011). “técnicas de construcción con tierra”

Rauch, M.; Kapfinger, O.: *Rammed Earth, Lehm un Architektur*. Ed. Birkhauser, Basel, 2001. ISBN 3-7643-6461-0.

Rodríguez; Fernández. Universidad Politécnica de Madrid, España 2010. Ingeniería sostenible; Nuevos objetivos en los Proyectos de construcción.

RUFINO, Jorge; MACHADO, Iván y DIAS, Yosvany (2013). “Determinación de mezclas de suelo estabilizado a partir de recursos de biomasa locales para mejorar la calidad de las viviendas construidas por la población del territorio de Uige, Angola. Rev. ing. constr. [online]. 2013, vol.28

Silva, (2013). “Aspectos térmicos de viviendas en adobe”

S. Bestraten, E. Hormias, A. Altemir. Construcción con tierra en el siglo XXI. Informes de la Construcción. Vol. 63, 523, 5-20. Julio-Septiembre 2001.

Suarez Sierra, (2009) Construcción industrializada sostenible: los edificios y viviendas que necesitamos, Revista Ambienta. España

Salazar, A (2002) “Síntesis de la tecnología del concreto. Una manera de entender a los materiales compuestos”, 3º edición, Corporación Construir, Cali, 2002

SENCICO, (2000). Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción. Norma Técnica de Edificación NTE 080. Adobe. Lima

USAI G., (1992). “Durability of clay-pozzolan bricks, Ceramurgia” Vol. 22 N°3, Italia, Pag., (95-97).

CEPED (1984). “*Manual de construção com solo-cimento*”

Wadel, G; Avellaneda, J; Cuchí, A (2010). Sustainability in industrialized architecture: closing the materials cycle. Informes de la Construcción. Vol. 62, 517, 37-51.

.Zabalza, I., Aranda A., Scarpellini S.(2009), LCA in buildings: State-of-the art and simplified LCA methodology as a complement for building certification. Building and Environment, 44; 2510-20.

ANEXOS

ANEXO 1

En este anexo se mostraran algunas imágenes representativas del desarrollo en este estudio en sus distintas etapas.



Consistencia mezcla suelo-cal



Suelo patrón fisurado por la retracción



Suelo curado antes de ser mezclado con agregados



Placa Suelo-cal-paja de trigo



Suelo, cal, ceniza volcánica, aserrín por separado



Ensayo de consistencia, acanalador de Casagrande



Lavado de suelo para determinar cantidad de fino



Sistema de medición de cargas por flexión



Integración de elementos en mezcla suelo-cal-fibra



Integración de suelo-ceniza volcánica-paja de trigo

ANEXO 2

En este anexo se darán a conocer las tablas correspondiente a los ensayos de resistencia a flexión de con los distintos agregados naturales

1.- Resultados ensayo resistencia a flexión suelo-paja de trigo

Tabla A1 Suelo-8% paja de trigo

Ensayo resistencia a flexión suelo-paja de trigo				
Material	Probeta	Densidad (Kg/m ³)	Carga (Kgf)	Carga (N)
8% paja de trigo	1	1211,5	6,3	61,78
	2	1210,4	6,32	61,98
	3	1209,4	6,33	62,08
	4	1210	6,38	62,57

Tabla A2 Suelo-10% paja de trigo

Ensayo resistencia a flexión suelo-paja de trigo				
Material	Probeta	Densidad (Kg/m ³)	Carga (Kgf)	Carga (N)
10% paja de trigo	1	1084,2	6,42	62,96
	2	1083,8	6,45	63,25
	3	1085,1	6,44	63,16
	4	1085,4	6,46	63,35

Tabla A3 suelo-13% paja de trigo

Ensayo resistencia a flexión suelo-paja de trigo				
Material	Probeta	Densidad (Kg/m ³)	Carga (Kgf)	Carga (N)
13% paja de trigo	1	1019,1	6,22	61,00
	2	1018,8	6,25	61,29
	3	1020,2	6,26	61,39
	4	1019,1	6,23	61,10

Tabla A4 Suelo-15% paja de trigo

Ensayo resistencia a flexión suelo-paja de trigo				
Material	Probeta	Densidad (Kg/m ³)	Carga (Kgf)	Carga (N)
15% paja de trigo	1	978	6,19	60,70
	2	979,5	5,99	58,74
	3	978,8	5,98	58,64
	4	979	5,8	56,88

Tabla A5 Suelo-18% paja de trigo

Ensayo resistencia a flexión suelo-paja de trigo				
Material	Probeta	Densidad (Kg/m3)	Carga (Kgf)	Carga (N)
18% paja de trigo	1	856,7	4,88	47,86
	2	858,2	4,87	47,76
	3	858,5	4,85	47,56
	4	856,9	4,85	47,56

2.- Resultados resistencia a la flexión suelo-paja de trigo-ceniza volcánica

Tabla A6 Suelo-10%paja de trigo-15% ceniza volcánica

Ensayo resistencia a flexión suelo-paja de trigo-ceniza volcánica					
Material	Probeta	Densidad (Kg/m3)	Carga (Kgf)	Carga (N)	
10% paja de trigo	15% ceniza volcánica	1	1364,1	7,675	75,27
		2	1364	7,64	74,92
		3	1362,9	7,675	75,27
		4	1363	7,7	75,51

Tabla A7 Suelo-10%paja de trigo-20% ceniza volcánica

Ensayo resistencia a flexión suelo-paja de trigo-ceniza volcánica					
Material	Probeta	Densidad (Kg/m3)	Carga (Kgf)	Carga (N)	
10% paja de trigo	20% ceniza volcánica	1	1366	8,05	78,94
		2	1365,2	7,96	78,06
		3	1365,1	8,13	79,73
		4	1365,3	7,99	78,36

Tabla A8 Suelo-10%paja de trigo-25% ceniza volcánica

Ensayo resistencia a flexión suelo-paja de trigo-ceniza volcánica					
Material	Probeta	Densidad (Kg/m3)	Carga (Kgf)	Carga (N)	
10% paja de trigo	25% ceniza volcánica	1	1368,7	5,96	58,45
		2	1369,1	6,15	60,31
		3	1368	6,14	60,21
		4	1367,5	5,95	58,35

Tabla A9 Suelo-10%paja de trigo-30% ceniza volcánica

Ensayo resistencia a flexión suelo-paja de trigo-ceniza volcánica					
Material		Probeta	Densidad (Kg/m3)	Carga (Kgf)	Carga (N)
10% paja de trigo	30% ceniza volcánica	1	1382,5	5,755	56,44
		2	1383,9	5,787	56,75
		3	1384,8	5,8	56,88
		4	1383,5	5,76	56,49

3.- Resultados resistencia a la flexión suelo-paja de trigo-cal

Tabla A10 Suelo-10%paja de trigo-3% cal

Ensayo resistencia a flexión suelo-paja de trigo-cal					
Material		Probeta	Densidad (Kg/m3)	Carga (Kgf)	Carga (N)
10% paja de trigo	3% cal	1	1323,5	4,66	45,70
		2	1322,6	4,61	45,21
		3	1323,5	4,62	45,31
		4	1324,3	4,63	45,41

Tabla A11 Suelo-10%paja de trigo-7% cal

Ensayo resistencia a flexión suelo-paja de trigo-cal					
Material		Probeta	Densidad (Kg/m3)	Carga (Kgf)	Carga (N)
10% paja de trigo	7% cal	1	1325,4	5,12	50,21
		2	1324,8	5,05	49,52
		3	1326,5	5,03	49,33
		4	1325	5	49,03

Tabla A12 Suelo-10%paja de trigo-10% cal

Ensayo resistencia a flexión suelo-paja de trigo-cal					
Material		Probeta	Densidad (Kg/m3)	Carga (Kgf)	Carga (N)
10% paja de trigo	10% cal	1	1328,1	4,55	44,62
		2	1327,2	4,57	44,82
		3	1329,3	4,58	44,91
		4	1328,6	4,58	44,91

Tabla A13 Suelo-10% paja de trigo-12% cal

Ensayo resistencia a flexión suelo-paja de trigo-cal					
Material		Probeta	Densidad (Kg/m ³)	Carga (Kgf)	Carga (N)
10% paja de trigo	12% cal	1	1335,7	4,45	43,64
		2	1334,8	4,47	43,84
		3	1332,5	4,48	43,93
		4	1331,8	4,44	43,54

4.- Resultados resistencia a la flexión suelo-paja de trigo-ceniza volcánica-aserrín

Tabla A13 Suelo-10% paja de trigo-20% ceniza volcánica-15% aserrín

Ensayo resistencia a flexión suelo-paja de trigo-ceniza volcánica-aserrín						
Material		Probeta	Densidad (Kg/m ³)	Carga (Kgf)	Carga (N)	
10% paja de trigo	20% ceniza volcánica	15% aserrín	1	1144	1,4	13,73
			2	1145	1,41	13,83
			3	1146,2	1,35	13,24
			4	1143	1,43	14,02

Tabla A13 Suelo-10% paja de trigo-20% ceniza volcánica-15% aserrín

Ensayo resistencia a flexión suelo-paja de trigo-ceniza volcánica-aserrín						
Material		Probeta	Densidad (Kg/m ³)	Carga (Kgf)	Carga (N)	
10% paja de trigo	20% ceniza volcánica	20% aserrín	1	978	2,76	27,07
			2	976,5	2,67	26,18
			3	976,6	2,68	26,28
			4	976,5	2,7	26,48

Tabla A13 Suelo-10% paja de trigo-20% ceniza volcánica-15% aserrín

Ensayo resistencia a flexión suelo-paja de trigo-ceniza volcánica-aserrín						
Material		Probeta	Densidad (Kg/m ³)	Carga (Kgf)	Carga (N)	
10% paja de trigo	20% ceniza volcánica	25% aserrín	1	906,65	1,6	15,69
			2	905,85	1,57	15,40
			3	906,6	1,62	15,89
			4	905,9	1,61	15,79

