

Proceso de aligerado de mezclas de tierra para paneles aislantes prefabricados.

Evaluando parámetros de fabricación para un producto lo más ligero, constructivamente viable.



Índice:

1. Resumen	1
2. Definiciones	2
3. Introducción	2
3.1. Problemática de investigación	2
3.2. Suelo	3
3.3 Arcilla	4
3.4 Fibra	4
4. Antecedentes	5
4.1 Tierra aligerada	5
4.2 Tierra arcillosa	6
4.3 Procesos de aligerado en construcción	8
5. Preguntas e hipótesis	10
6. Objetivos de investigación	11
7. Métodos	12
7.1 Caracterización de la tierra	13
7.2 Caracterización de fibra	16
7.3 Ensayo paneles	19
8. Resultados	31 / 35 / 38
9. Conclusiones	39
10. Referencias	41
11. Anexo.	42

1. Resumen

Como investigación se abordará el trabajo de un proceso de aligerado en mezclas de tierra; con el fin de obtener una mejora en el trabajo de sistemas constructivos con este material. Si bien ya hay procesos de aligerados en esta materia, se quiere mejorar y analizar los límites desde un punto de vista constructivo, por lo que se plantea como principal problema, cuál sería el máximo de aligerado al que se puede llegar, sin perder la estructuración básica en secciones prefabricadas.

Se utilizará un proceso experimental en la cual se desarrollarán diversas pruebas con el trabajo de fibras; variando en tamaños y cantidades, además de potenciar la arcilla como principal ligante observando los diversos factores y comportamiento que inciden en la magnitud peso.

Se documentará los análisis con un desarrollo cuantitativo y evidenciando los factores relevantes de la práctica. Esperando como resultado una mejora del sistema a nivel de peso y eficiencia en la ejecución.

Palabras clave: Proceso de aligerado, tierra, límites, ligantes, fibra, prefabricado, granulometría.

2. Definición de conceptos:

Agregado: conjunto de partículas del suelo que se unen y se comportan mecánicamente como una unidad.

Arcilla: componente ligante y más fino de la tierra, constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados, que procede de la descomposición de minerales de aluminio, blanca cuando es pura y con coloraciones diversas según las impurezas que contiene.

Consistencia: coherencia entre las partículas de una masa o los elementos de un conjunto. Se refiere a duración, estabilidad, solidez.

Densidad: es la relación entre el peso (masa) de una sustancia y el volumen que ocupa (esa misma sustancia).

Índice de plasticidad: Medida de la plasticidad de un suelo dado por el valor absoluto del intervalo de humedad en el que el suelo se comporta como un material plástico, numéricamente el índice de plasticidad es igual a la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

Límite aligerado: densidad mínima en la que le panel sigue siendo eficazmente manipulable.

Límite constructivo: momento en que un material deja de ser útil constructivamente.

Manipulable: operar con las manos o con cualquier instrumento, un objeto o material, sin afectar sus propiedades.

Plasticidad: propiedad mecánica de algunas sustancias, capaces de sufrir una deformación irreversible y permanente cuando son sometidas a una tensión que supera su rango o límite elástico.

3. Introducción:

3.1 Problema de investigación:

El área de la construcción genera un gran impacto en el ecosistema, desde el uso de materiales, transporte, maquinaria, y residuos, entre diversos factores adicionales. Según el Minvu en su libro Estándares de construcción sustentable para viviendas de Chile, Tomo V: Impacto ambiental *“El sector de la construcción (comercial, público y residencial) se erige como un emisor importante al contribuir con un 33% de las emisiones nacionales de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel país.”* (Minvu, versión febrero 2018, p.19).^[1] Siendo finalmente uno de los actores importantes en la contaminación ambiental.

Con esta premisa se plantea buscar posibles soluciones para la construcción de hábitats sustentables, indagando en el ámbito técnico y en la elaboración propia de sistemas constructivos con tierra. Se opta por el trabajo de esta materia prima por los diversos beneficios que conlleva su uso, en donde se destaca su carácter reciclable, su bajo gasto energético, ya que no requiere de grandes transportes de materiales o la exposición de químicos, además de poseer propiedades térmicas y acústicas. Sin embargo, si bien es un material inocuo con diversas virtudes, en la técnica constructiva posee ciertos factores que complejizan su utilización; como su ejecución de tipo obra húmeda y su cualidad maciza que conlleva un objeto pesado, y por ende una alta demanda en cargas para la estructura. Es por esto que se elige investigar un ámbito más experimental enfocado al comportamiento propio de la mezcla, realizando un proceso de aligerado con el fin de alivianar el peso estructural, mejorando uno de los aspectos más determinantes en el trabajo con tierra. Además de aumentar propiedades aislantes del material, por la vía del aligerado, reduciendo espesores necesarios para lograr buenos índices de aislación, disminuyendo a su vez la cantidad de materias primas necesarias.

Haciendo referencia al Manual de Aligeramiento de Estructuras (ANAPE, 2010, p.25)^[2]; el objetivo principal de los procesos de aligerado es la mejora de la capacidad de aislación térmica, optimización de los recursos, además de reducir el costo económico de la construcción, manteniendo las condiciones funcionales, estéticas y de seguridad. Consiguiendo una serie de ventajas

tecnológicas en diversos aspectos, como por ejemplo en base al diseño, al reducir el peso propio de la estructura, se reducen las cargas, lo que trae consigo la optimización de secciones, disminuyendo el uso del material y permitiendo más espacio funcional. En la ejecución, se ve reflejado en la reducción de costos en transporte, además de una mayor facilidad en la manipulación de las piezas, permitiendo así un mejor rendimiento. También un mejor comportamiento antisísmico, al reducir la masa de la estructura se reduce la deformación horizontal, y por último un mejor o similar comportamiento térmico al involucrar sistemas aislantes o la utilización de fibras naturales u otras fibras no tan tradicionales, mejorando las variables de aislación térmica, con menos espesor de muros.

Finalmente la investigación abordará el proceso de aligerado en mezclas en tierra, con el fin de obtener un máximo de aligerado para un producto manipulable. Siendo un avance y actualización de otro sistema ecológico, ayudando a encontrar una nueva manera de trabajar este material.

3.2 Suelo

El suelo es el producto final de la interacción del tiempo y el clima, topografía, organismos (flora, fauna y ser humano), de materiales parentales (rocas y minerales originarios). Como resultado, difiere de su material parental en su textura, estructura, consistencia, color y propiedades químicas, biológicas y físicas. (FAO, organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura) [3] Este, es constituido básicamente por partículas que pueden ser agrupadas de acuerdo con las dimensiones de los granos (fig. 2). Cada grupo, presenta características propias que indican su comportamiento como material de construcción.

Éste, se subdivide en diferente capas, que se distinguen por estratos: una capa superficial (materia orgánica), una intermedia (materia granulométrica, que contiene el mayor porcentaje de arcilla, siendo la más favorable para material de construcción) y por último, la más profunda sin material adherente por lo que no serviría para material de construcción. 1 (Figura 1)

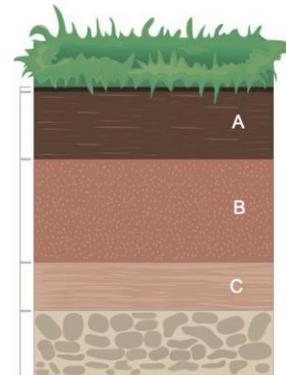


Fig. 1: Estrato A, capa más superficial. Estrato B, capa intermedia. Estrato C, capa más profunda, materia inerte.



Piedras
200 mm – 20 mm

Gravas
20 mm – 2 mm

Arenas gruesas
2 mm – 0.2 mm

Arenas finas
0.2 mm – 0.02 mm

Limo
0.02 mm – 0.002 mm

Arcillas
> 0.002 mm (2µm)

Fig. 2: Granulometría (composición del suelo/tierra)

Según la evidencia, existen otras clasificaciones de suelo. De acuerdo a CRaterre [4] (tabla n° 0) se clasifican en suelo arenoso, limoso y arcilloso, los cuales van a depender del índice de plasticidad

[1] MINVU (2018). Estándares de construcción sustentable para viviendas de Chile.

[2] Azqueda P. 2014. Manual práctico del aislamiento térmico de la construcción. AAPE.

[3] Definiciones | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (S. f.).

[4] Craterre. (1990). Construir con tierra. Tomo I y II. Bogotá: Fondo Rotatorio Editorial Tecnología apropiada y participación comunitaria Enda América Latina

3.3 Arcila

La arcilla está constituida por cristales –micelas– que, debido a su forma plana y lisa, presentan la cualidad de desplazarse fácilmente entre el resto de las partículas y establecer relaciones electrostáticas que las ligan en conjunto. Este desplazamiento depende de su contacto con el agua y, a nivel macroscópico, se evidencia en la transformación del suelo en un material plástico, coloidal o hasta líquido que recupera su estado sólido original al secar” [5].

Al tener este carácter aglomerante, en conjunto al agua, permite la unificación de otros materiales, siendo fundamental para la construcción con tierra como principal ligante en la conformación de secciones. El agua, es otro elemento fundamental dentro del proceso constructivo, cumple dos funciones sustantivas: permite el movimiento de las partículas sólidas de la mezcla al transportar a las más pequeñas entre las de mayor tamaño; y, activa las propiedades adhesivas de la arcilla (Rodríguez, 2001, p. 84) [6]. Para el trabajo de aligerado, permite la adherencia de la fibras, que para motivos de la investigación toma un papel relevante en el sistema constructivo arcilla-paja-agua.

3.4 Fibra

La fibra es un material que puede utilizarse como alternativa de materia prima estructurante, como un agregado liviano, se utiliza en materiales y sistemas constructivos para disminuir peso en estructuras y proporcionar confort térmico. Además permite la estructuración de secciones siendo solo el agregado y aceptar resistencias menores.

Los parámetros que describen una fibra son su longitud, su diámetro y su aspecto o esbeltez, que es la relación existente entre la longitud y el diámetro. Según su origen, las fibras pueden ser clasificadas en sintéticas y naturales. Entre las sintéticas o hechas por el hombre se encuentran los polímeros naturales (fibras de celulosa, de éster, de proteínas y misceláneas) y los polímeros sintéticos por su parte, las naturales son de origen vegetal (fibras de madera, hojas, semillas, hierba), de origen animal (lana y pelo, seda y otros filamentos) y de origen mineral (fibras de asbesto) [7].

La fibra presenta ciertos comportamientos en mezcla como: un efecto importante en la gravedad específica, absorción de agua y movimientos de humedad, y se observa que con un incremento en el porcentaje de fibra se reduce la gravedad específica y crecen la absorción de agua y los movimientos de humedad, tal como lo expresan Marikunte et al. [8].

El uso de esta unidad, de manera sostenible, de fibras de origen vegetal y animal, proporciona un recurso natural y renovable, siendo un camino para evitar el impacto de materiales sintéticos, contaminantes para el medio ambiente.

[5] Guerrero Baca, Luis Fernando. (2007). Arquitectura en tierra: Hacia la recuperación de una cultura constructiva. Revista de Estudios sobre Patrimonio Cultural - Journal of Cultural Heritage Studies, 20(2), 182-201.

[6] Rodríguez, M. et al. (2001). Introducción a la arquitectura bioclimática. México D.F.: LIMUSA, UAM Azcapotzalco

[7] Quintero G., S.L. Evaluación del uso de la estopa de coco (Cocos nucifera), obtenida como residuo de la industria alimenticia en el Valle del Cauca, para la elaboración de elementos prefabricados de concreto aligerado.

[8] Sandoval, E y Bocanera, R.A.. Análisis del comportamiento mecánico del concreto fibro reforzado. Tesis (Ingeniero Civil). Universidad del Valle. Santiago de Cali, 1997. 156 p.

4. Antecedentes

La tradición de la arquitectura con tierra ha dejado soluciones técnicas a modo de construcción que son la base de cualquier posible desarrollo tecnológico en este ámbito. Todo desarrollo parte de estas bases, y tiene como objetivo la mejora de las cualidades naturales del propio material. A diferencia, por ejemplo, del ladrillo, ninguna de estas técnicas necesita un proceso de cocción, sino que su secado se produce en condiciones atmosféricas. Esto hace que sea un proceso muy limpio, pues no se producen gases, ya que no hay ninguna combustión que los produzca. Las distintas técnicas se diferencian principalmente por la distinta aplicación y manejo del material (Catalán, R. 2018) ^[9].

Al ser un proceso compatible con los recursos naturales que se disponen, se quiere seguir con un trabajo en la línea de bioconstrucción. En esta ocasión se abordará un manejo del material tierra, modificando técnicamente la mezcla para poder llegar a aligerar aún más este sistema constructivo.

Si bien con el tiempo se han desarrollado diversos procesos de aligerados, con el fin de actualizar métodos de construcción, como conocimiento del material tierra, hay un desarrollo actual en el cual se puede seguir indagando; obteniendo alguna cercanía del límite en el que ya deja de mejorar en comportamiento. Con este propósito, se revisa una serie de investigaciones de aligerados, independiente del sistema constructivo que se utilice, encontrando distintas maneras de abordar este aligeramiento, ya sea con cambio de fibras o manejo de variables de tierra y agua.

4.1 Tierra aligerada

En cuanto a los estudios y escritos que se han hecho sobre la tierra alivianada, y específicamente acerca del aligerado mismo, sobresale el documento publicado por Minke, 2001 ^[10], quien recopila definiciones con datos en base a densidad de posible mezclas mejoradas. También los elementos secos en tierra alivianada han sido experimentados en proyectos anteriores por los autores como Wieser; Onnis; Meli en 2018. Donde se ha logrado producir elementos en serie con una densidad promedio de 600 kg/m³, reduciendo durante la fase de experimentación el rango de densidad en una misma serie de producción (40 elementos/día).

Se han venido desarrollando ocasionalmente estudios adicionales sobre el tema, con un interés particular en la fibra vegetal, sobresalen en este sentido los trabajos del “Swallow Brick” o también conocido como BTA (bloque de tierra aligerada), estudios del “Equipo tribal, 2020” con quincha liviana y de procesos por “Arias P. Gómez. F, 2018” en sistemas constructivo Terrapanel ^[11]. No se han encontrado más estudios en ese tema específico en base a límites de aligerados, más bien hay una serie de investigaciones en la que se usa tierra alivianada, pero enfocando a su utilización para incremento de propiedades térmicas, evaluando frecuentemente el comportamiento térmico y respuestas a esfuerzos de compresión, algunos de ellos: Utilización de materiales aligerantes en la fabricación de bloques de Termoarcilla. Influencia sobre la conductividad térmica y el comportamiento en el proceso ^[12]. (García J. Silva G., Cantavella V., Lorente M. 2004), Conductividad térmica de la tierra alivianada con fibras naturales en paneles de quincha ^[13] (Wieser M; Silvia S; Meli G. 2018). Tratándose de un proceso experimental en el que aún se puede seguir precisando.

En base al “Manual de construcción en tierra” de Minke (2001) ^[10], hay una serie de mejoras en las características del barro (mezcla principal en técnicas de tierra) mediante tratamientos especiales y aditivos. En esta se toma el aligerado como una de ellas, siendo el más frecuente el barro alivianado con paja, que trata de una mezcla de barro y paja con una densidad en estado seco menor de 1200 kg/m³, Gernot Minke menciona: “Es casi imposible obtener en la práctica una densidad del barro menor a 500 kg/m³ (...) Existen afirmaciones que sostienen que densidades inferiores a 300 kg/m³ son factibles pero en

[9] Catalán, R. (2018). Reinterpretación de una Tradición (Tesis de pregrado, Universidad Politécnica de Madrid, España)

[10] Minke, G. (2001). Manual de construcción en tierra

[11] Arias P. Gómez F. 2019. Investigación, certificación y desarrollo sistema constructivo Terrapanel.

[12] García-Ten, J. & Silva, G. *Utilización de materiales aligerantes en la fabricación de bloques de Termoarcilla. Influencia sobre la conductividad térmica y el comportamiento en el proceso*

[13] Wieser, M.; Onnis, S.; Meli, G. (2018). Conductividad térmica de la tierra alivianada con fibras naturales en paneles de quincha. 18° Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra, La Antigua Guatemala, Guatemala: USAC-CII/ PROTERRA. p. 199-208

general tratan de experimentos inexactos (...) El único método exacto para obtener la densidad, es cortar un cubo a partir de una prueba más grande, de tal manera que se eliminen las puntas dobladas de las pajas en las esquinas, así como las burbujas de aire. Mientras más grande sea la muestra, mayor exactitud, debido a que siempre existe erosión en los bordes durante el cortado y manipulación”

Barro alivianado con agregados minerales: se realiza esta práctica con el objetivo de incrementar el aislamiento térmico, agregando minerales porosos como arcilla expandida, vidrio expandido, lava expandida, perlita expandida o piedra pómez. Además de mejorar condiciones térmicas, con correctas proporciones de agregados minerales se puede obtener una retracción nula, respondiendo a uno de los comportamientos desfavorables de este material.

Barro alivianado con madera, aserrín virutas y trozos de madera: puede utilizarse como aditivos aligerantes, incrementado la aislación térmica del barro, “La densidad mínima que se puede alcanzar es aproximadamente de 500 kg/m³ pero en una mezcla seca de esta densidad no posee ya una rigidez suficiente.” [10]

Barro espumoso: para esta técnica se debe eliminar la arena y la grava de los materiales a usar. “El barro requiere de aditivos que aceleren el proceso de secado, como geopolímeros, la arcilla, el cuarzo y el polvo de yeso se mezclan con silicato de sodio, y se espuman con peróxido de hidrógeno (H₂O₂) con este proceso puede elaborar un barro espumoso con una densidad de 90 kg/m³, este material endurece a una temperatura de 20 °C en dos horas y a 50 °C en una hora. (...) Es un material ideal para elaborar elementos prefabricados de barro a grande escala.” [10]

4.2 Tierra Arcillosa

Como se mencionó anteriormente, el carácter plástico de la arcilla, la convierte en material idóneo para la fabricación de piezas compactas. Esto se debe al tamaño de sus partículas, su forma laminar y propiedades de cristal químicas, que permiten la interacción con un líquido polar como el agua.

Al ser el material ligante, encargado de aglutinar los componente en mezcla, se indagaron en métodos de aislación de la fracción arcilla, con la premisa de un mejoramiento entorno al trabajo de solo esta porción de la tierra, dejando todo el material inerte (gravas, arenas y limos), fuera de la utilización del preparado, a fin de restar lo que prácticamente solo estaría agregando peso.

Para evaluar la presencia de esta fracción, existen ensayos de sedimentación que indican la composición granulométrica y caracterización de las tierras, encontrándose suelos arenosos, limosos y arcillosos. Éstos se establecen a partir de la medición de velocidad de decantación de partículas en agua, en función de la variación de densidad de la solución (basada en la ley de Stokes) [14], donde se evalúa la diferencia entre densidades del líquido y partículas, el diámetro de estas y el coeficiente de viscosidad diferenciado valores que establece el índice de plasticidad . [15]

Según el estudio de factores térmicos dinámicos en cerramientos de tierra cruda [15], se obtiene una caracterización más detallada en cuanto a la posesión de arcilla, en la que se indica el índice de plasticidad en las muestras trabajadas, donde tamizan, hidratan y reducen la humedad de la tierra hasta llegar a su estado plástico (mezcla homogénea de agua y tierra). Luego determinan el límite de liquidez y plástico mediante una serie de procedimientos.

- Límite de liquidez (LL): porcentaje de humedad con que un suelo cambia, al disminuir su humedad, de la consistencia líquida a plástica y al aumentar su humedad, de la consistencia plástica a líquida [16]. (Tabla nº 0)
- Límite plástico(LP): porcentaje de contenido de humedad con que un suelo cambia al disminuir su humedad de la consistencia plástica a la semisólida y viceversa [16].

[10] Minke, G. (2001). Manual de construcción en tierra

[14] Proterra, R., Neves, C., Faria, O. & Rotondaro, R. (2018, 20 enero). Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra. Prácticas de campo

[15] Farias J. 2022. Estudio de factores térmicos dinámicos en cerramientos de tierra cruda. Seminario de investigación. Facultad de arquitectura y urbanismo, Universidad de Chile.

[16] Consistencia del Suelo. (S.F)

- Índice de plasticidad(IP): diferencia entre los límites de liquidez y de plasticidad determina el índice de plasticidad ($IP = LL - LP$)^[16].

Los límites de liquidez y de plasticidad dependen, generalmente, de la cantidad y del tipo de arcilla presente en el suelo, mientras que el índice de plasticidad, es únicamente dependiente de la cantidad de arcilla. En la práctica, se puede caracterizar el suelo por su índice de plasticidad y su límite de liquidez, como muestra la tabla de clasificación de suelo.^[14]

Tipo de suelo	IP (%)	LL (%)
Arenoso	0 a 10	0 a 30
Limoso	5 a 25	20 a 50
Arcilloso	> 20	> 40

Tabla 0: Clasificación de los suelos en función de los índices de plasticidad (CRAterre, 1979)^[14].

En base al artículo anterior, se obtiene la clasificación de la tierra utilizada para el desarrollo de pruebas, correspondiente a tierra de Pomaire, la cual posee una caracterización que indica su alto nivel de arcilla, indicado en el IP determinado en el seminario de Josefa Farias e Isidora Vásquez.^{[15][17]}

Para el desarrollo de hipótesis se plantea la búsqueda de pruebas que permitan aislar la arcilla del resto de sus componentes, los métodos más relevantes encontrados se describen a continuación:

1. Tamizado por vía húmeda: es un proceso de separación que consiste en hacer pasar un material a través de un tamiz, añadiendo agua u otro líquido (no reaccionante con la muestra). Para esto, se añade el líquido al material de forma lenta, con regularidad y a baja presión, hasta que el líquido que atraviesa el tamiz esté claro. Al finalizar el proceso de tamizado húmedo, los residuos de la muestra en los tamices deben secarse y pesarse para obtener los resultados^[18].
2. Difracción de rayos x: La prueba también trata de una técnica de separación mediante el movimiento de partículas y proceso de

decantación. Se realiza este método con el fin de identificar que tipo de arcilla se logra aislar. Previamente al desarrollo de este análisis, se debe limpiar la muestra, con el fin de obtener la arcilla separada del resto de los componentes, esto, se realiza mediante un ensayo de centrifugado, que consta de la utilización de un dispersante (Hexametáfosfato de Sodio) el cual, neutraliza las cargas del agregado^[19].

[17] Vasquez I. 2022. Impermeabilidad de la tierra bajo condiciones pluviométricas extremas. Estudio de granulometría y estabilizadores. Seminario de investigación. Facultad de arquitectura y urbanismo, Universidad de Chile

[18] Una guía práctica. (2022). COTECNO | Equipamiento Científico | Prospecciones, Geofísica, Ingeniería

[19] Moore, DM y Reynolds, RC (1997) Difracción de rayos X e identificación y análisis de minerales arcillosos. Segunda edición, Oxford University Press, Nueva York.

4.3. Procesos de aligerado en construcción

Sistema de bloques:

Se revisa un estudio de “Sistemas constructivos BTA: Aplicación de la prefabricación a la bioconstrucción” desarrollado en Uruguay y Argentina entre los años 2001 y 2010 (Carlos Placitelli, Artículo, 2021)^[20] que consta de un trabajo de bloques de tierra alivianada. Este sistema toma ventajas de la prefabricación, y de los procesos de aligerados, al utilizar bloques secos en obra, son de ejecución rápida, permitiendo armar en poco tiempo, y sin requerir mano de obra especializada, dando la posibilidad de utilizar diversos materiales reciclado y naturales, tales como paja de trigo, arena volcánica y viruta de madera.



Figs. 3: Sistema constructivo BTA

Este sistema corresponde a uno mixto que combina estructura de madera estándar y bloques de tierra aligerada, estos “Están compuestos de arcilla y algún material ligero (preferentemente fibra) capaz de unirse bien con ella, formando un bloque liviano, estable y resistente, con alto contenido de aire reduciendo de manera importante la conductividad térmica de la tierra.” (Carlos Placitelli, Artículo, 2021)^[20]

Sistema Quincha:

En la técnica de quincha se abordan conocimientos del Equipo de Investigación Protierra Chile. 2020. En el manual “Construcción en quincha liviana”. Donde se realizan diversos aligerados, que varían en la ejecución de la misma técnica, teniendo como base “aligerar el relleno de tierra y paja mediante la introducción de una mayor cantidad de esta última, con el objetivo de mejorar la aislación térmica y acústica y restar peso a la estructura.”^[21]



Fig. 4: Quincha seca contemporánea.
Fuente: Estudio Tribal



Fig. 5: Quincha contemporánea en madera.
Fuente: Estudio Tribal



Fig. 6: Quincha metálica
Fuente: Marcelo Cortez

En el desarrollo de la investigación se varía principalmente el relleno de quincha, diferenciando tipologías en métodos de ejecución utilizando rellenos secos y húmedos. Realizando una serie de pruebas experimentales en las cuales se abordaron los tres parámetros mínimos para una certificación, correspondientes al ámbito térmico, acústico y respuesta al fuego.



Fig. 7: Ensayo cámara térmica
Fuente: Estudio Tribal



Fig. 8: Ensayo comportamiento al fuego
Fuente: Estudio Tribal



Fig. 9: Ensayo acústico
Fuente: Estudio Tribal

En base a los estándares establecidos, los paneles en ambos rellenos logran comportamientos adecuados por los que se permite certificar los paneles, avanzando en la técnica a un panel más práctico en ámbitos económicos, energéticos y útil estructuralmente.

[20] Placitelli C. 2021. Sistema constructivo BTA: Aplicación de la prefabricación a la bioconstrucción.

[21] MINVU., PROTERRA., Universidad del Bio-Bio, Universidad de Concepción. (2017). Construcción en quincha liviana, Sistemas constructivos sustentables de reinterpretación patrimonial.

Sistema Terrapanel:

Derivados de otros sistemas con tierra que existen en construcción, el que ha logrado mayores actualizaciones ha sido el Terrapanel, que consistente en una estructura de acero rellena con tierra aligerada con mucha paja (ideado por el arquitecto Patricio Árias de la oficina Surtierra Arquitectura). Está al contener una estructura portante de acero logra estabilizar de mejor manera los esfuerzos tanto sísmicos como estáticos, logrando además de las propias cualidades de la tierra, una resistencia estructural mayor que los otros sistemas derivados. “Las construcciones en Terra-Panel y en general las que utilizan tierra en sus paramentos, tiene la potencialidad de ahorrar energía de forma pasiva y de forma permanente en el tiempo, logrando excelentes estándares de acondicionamiento físico ambiental y salud, gracias a sus cualidades higrotérmicas. (...) Además para el almacenamiento de calor “La baja densidad (1000 kg/m³) y conductividad térmica del barro alivianado con paja y su alta capacidad de almacenamiento térmico, permiten retrasar la penetración del calor y disminuir la amplitud térmica al interior de un recinto”.(Álvaro Tello, Seminario FAU, 2020) [22]

Entorno a este estudio se indagan procesos de aligerado realizando un panel prefabricado de revestimiento para la construcción “Certificación y desarrollo sistemas constructivo Terrapanel.” por Patricio Árias Cortés y Francisca Gómez (2019) [11]. Para el estudio se realiza un muro con una estructura metálica (malla electrosoldada plegada) que considera tanto los empujes horizontales como verticales, usando como relleno tierra aligerada con fibra vegetal.

Debido a la estructura metálica que también abarca los marcos perimetrales, se generaban puentes térmicos por la conducta propia de este material, y es por esto que se realiza otro panel con el propósito de aislar esta enfierradura del acabado (Fig. 10) . Para este estudio se lleva a cabo una serie de ensayos en el que se tiene como propósito aislar sin agregar aún más peso, es por esto que se realiza un proceso de aligerando, enfocado a la obtención de un producto aislante (Fig. 11). Se realizan ensayos con diversas densidades, en la que se prioriza la utilización de la mayor cantidad de fibra vegetal, probando los elementos en condiciones térmicas mediante testeo de probetas, que se trabaja con equipo de medidor de transmitancia térmica, además de la evaluación en comportamiento acústico. Obteniendo resultados positivos para un prototipo prefabricado, siendo factible la certificación del muro completo.

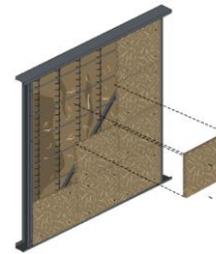


Fig. 10: Módulo Terrapanel
Fuente: F. Gómez y P. Arias



Fig. 11: Ensayo suelo vegetal
Fuente: F. Gómez y P. Arias

En conclusión se plantea como sugerente hipótesis que la cantidad y tamaño (granulometría) de la fibra trabajan conjuntamente, en la cual existe una relación entre la cantidad que se utiliza y su tamaño. A medida que se disminuye la sección y aumente cantidad, es posible darle un mayor porcentaje a esta variable en su uso; ya que la arcilla al permitir la cohesión entre las fibras y ésta al presentar múltiples superficies para adherirse una a otras, se reduce la cantidad de arcilla, ya que se llenan esos vacíos, permitiendo así una mayor ocupación y presencia de la fibra, aligerando el peso.

La certificación del panel demostró la importancia del aislante de fibra vegetal para cumplir con la normativa vigente, referente al aislamiento acústico. Para la transmitancia térmica y resistencia al fuego, este tipo de aislación permite cumplir con la normativa de manera satisfactoria, sin a la vez representar un

[11] Árias P. Gómez F. 2019. Investigación, certificación y desarrollo sistema constructivo Terrapanel

[22] Tello A. 2020, Análisis crítico del sistema constructivo Terra-Panel como una opción de producción sustentable. Seminario de investigación. Facultad de arquitectura y urbanismo, Universidad de Chile

mayor costo para la obra. Por lo tanto, este sistema constructivo cumple actualmente con todos los requerimientos de certificación necesarios para ser utilizado en la construcción en Chile. (Álvaro Tello, Seminario FAU, 2020) ^[22].

Otras investigaciones:

Como investigación más cercana al análisis del grano en fibra, se encuentra el estudio de Morteros aligerados con arcilla expandida (Mercedes del Río Merino, et al) ^[23] en la cual se analizan las variables como: longitud de la fibra, porcentaje e influencia de la dispersabilidad, y la granulometría de la arcilla, sobre el comportamiento mecánico de los mismos. A pesar de que, la evaluación a realizar, no es con respecto a resistencia mecánica, logra dar planteamientos relacionados al aligerado.

Según Mercedes del Río Merino, et al, una fibra de mayor longitud favorece la unión entre granos evitando la división de la sección tras esfuerzos mecánicos de corte. Si bien, una fibra de menor longitud no beneficia este ámbito, sí tiene múltiples ventajas en el aligerado, como se ha mencionado anteriormente. Estas se ven reflejadas en la optimización de recursos, mayor capacidad de aislación térmica y facilidad en la manipulación de las piezas, entre otras.

5. Preguntas e hipótesis

¿Cuál es el máximo de aligerado al que se puede llegar sin afectar las condiciones constructivas para un panel autoportante aislante no estructural?

Otros multifactores que inciden en el proceso:

- ¿Qué pasa con las arcillas? ¿Cómo incide en la mezcla?
- ¿Se puede potenciar la utilización de arcilla aislándola del resto de componentes?
- ¿Cómo separar arcilla y limo?
- ¿Cómo incide la variación de grano en fibra?
- ¿Qué porcentajes de agua se requieren para una mezcla óptima?

Se propone poner en práctica la premisa del estudio “Certificación y desarrollo sistemas constructivo Terrapanel.” (Patricio Árias Cortés, Francisca Gómez, 2008). Planteando como surgente hipótesis:

Hipótesis 1: La longitud de fibra incide en la cantidad a utilizar, permitiendo mayor % de uso en paneles prefabricados a fin de obtener un panel más ligero.

Hipótesis 2: El trabajo con arcilla en estado puro mejora el comportamiento del panel, permitiendo un mayor aligerado.

[23] Vista de Morteros aligerados con arcilla expandida: influencia de la granulometría y la adición de fibras de vidrio AR en el comportamiento mecánico. (s. f.).

6. Objetivo de investigación

Objetivo general: Lograr un panel prefabricado lo más aligerado posible que sea manipulable. Evaluando el máximo de posible aligerado. Definiendo factores de constructibilidad, además de identificar el límite en el que se pierde la composición de estructura interna, comparado al punto en el que se vuelve inviable constructivamente.

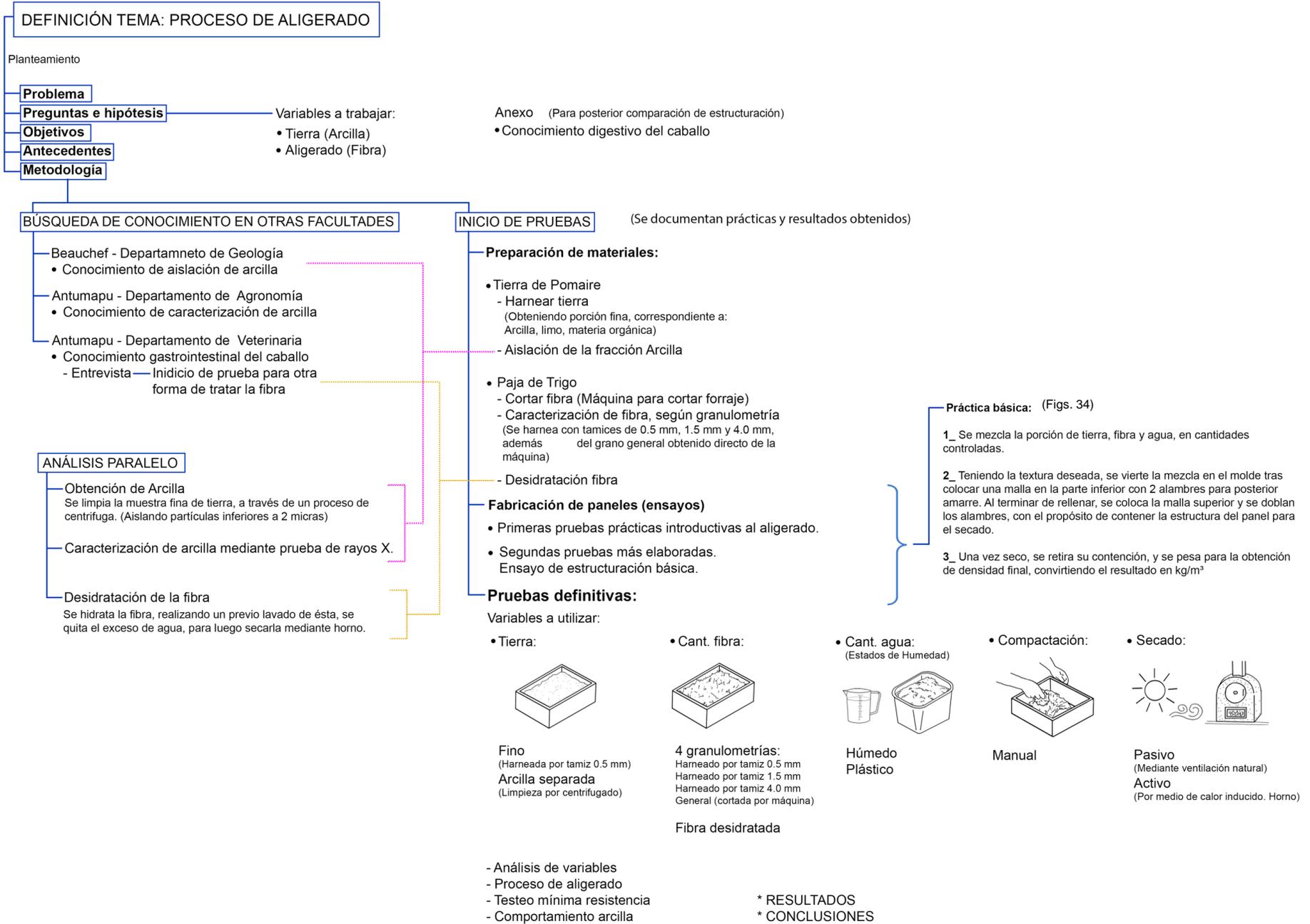
Considerando NTM 001: Diseño sísmico de componente y sistemas no estructurales, además de :

- Artículo 4.3.2, 4.3.3 y 4.3.4 de la OGUC (Norma de ensayo: 1997, Nch. 935)
- Artículo 4.1.10 de la OGUC (Norma de ensayo: 2007, Nch.853)
- Artículo 4.1.6 de la OGUC (Norma de ensayo: 2003, Nch.2785)

Objetivos específicos:

- Caracterizar la tierra.
- Aislar la arcilla del resto de la composición de la tierra.
- Caracterizar fibras, separar fibras según granulometría.
- Desarrollo de pruebas de aligerado; en la que se testeen distintas mezclas, variando en la cantidad de fibras, cambio de granulometría, y en distintos estados de humedad.
- Investigar los procesos de secado.

7. Métodos:



7.1 CARACTERIZACIÓN DE LA TIERRA

Se utilizará la tierra de Pomaire (según antecedentes de los seminarios de: Farias [15] y Vásquez [17], se sabe que corresponde a una tierra arcillosa) ésta se trabajará de dos maneras: obteniendo el fino de la tierra, mediante tamizaje seco y en segundo lugar fraccionando este fino para la obtención separada de la arcilla pura mediante método de centrifugado, en el laboratorio de arcilla de la facultad de Beauchef, departamento de geología. Caracterizando además el tipo de arcilla mediante una prueba de difracción de rayos X.

Muestra fina:

Con tamizaje seco se define la granulometría fina de la tierra, obteniendo limo y arcilla, para esta se requiere:

- Tierra
- Harnero, malla fina (se usa tamiz 0.5 mm)
- Balde

Nota: La tierra al estar guardada al intemperie en sacos se encontraba apelotonada y algo húmeda, por lo que previamente a tamizarla se muele mecánicamente.

Se prepara el lugar de trabajo colocando un plástico en los pastelones para moler la tierra sin perder el material más fino. Se muele y se va pasando por el harnero (malla 0.5 mm) juntando el polvillo en un balde.



Obs: Para moler la tierra, resultó más sencillo ir pisándola y haciendo fricción con el suelo, triturando los grumos.



Obs: Aún en este grano se observa una variedad de tamaños, tenido partículas tan finas que quedan suspendidas en el aire. Posee textura suave, al friccionarla entre dedos deja rastro del polvillo café.

Figs. 12: Proceso de obtención muestra fina.

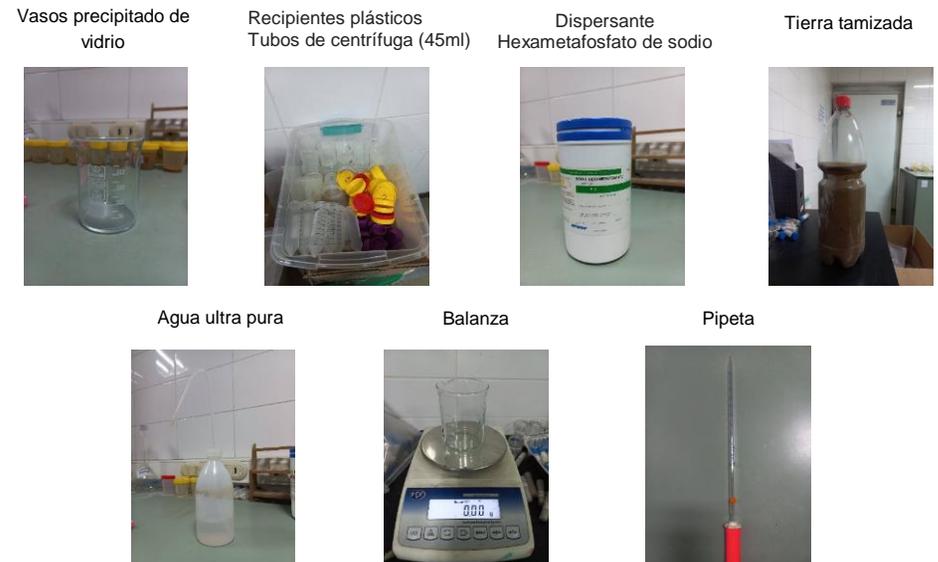
Separación de Arcilla:

Debido a la relevancia de la arcilla se indagaron en ensayos que permitan la aislación de esta partícula y así evaluar el comportamiento específico de este componente.

Tras la visita a la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, departamento de Geología, en el laboratorio de arcilla con la ayuda del profesor Santiago Maza, se practica una prueba que permitió obtener la fracción arcilla en un rango inferior a 2 micras. Basándose en estudios y ensayos de Moore and Reynold 1997 "Difracción de rayos X e identificación y análisis de minerales arcillosos". [19]

Se realiza el ensayo de centrifuga, que consta básicamente de una prueba para separar los componentes de la muestra, neutralizando cargas, realizando movimientos internos de las partículas y tiempos de decantación para el producto final. Para esto se utilizan implementos y maquinaria de laboratorio como:

Materiales e implementos: (Figs. 13)



- [15] Farias J. 2022. Estudio de factores térmicos dinámicos en cerramientos de tierra cruda. Seminario de investigación. Facultad de arquitectura y urbanismo, Universidad de Chile.
 [17] Vasquez I. 2022. Impermeabilidad de la tierra bajo condiciones pluviométricas extremas. Estudio de granulometría y estabilizadores. Seminario de investigación. Facultad de arquitectura y urbanismo, Universidad de Chile
 [19] Moore, DM and Reynolds, RC (1997) Difracción de rayos X e identificación y análisis de minerales arcillosos. Segunda edición, Oxford University Press, Nueva York.

Maquinaria: (Figs. 14)

Plato magnético



Ultrasonido



Centrifuga



Nota: Para la prueba de centrifugado se utiliza muestra que contiene limo, arcilla y materia orgánica.

Se determina la presencia de materia orgánica, mediante la incorporación de agua oxigenada, esta al entrar en contacto con la muestra comienza a efervecer. Se puede eliminar esta fracción del agregado dejando actuar este compuesto químico alrededor de un día, y cuando ya se haya disuelto la materia orgánica, se lava en la centrifuga y que obtiene la muestra fina de solo limo y arcilla, luego de esto se inicia el proceso de separación de la fracción arcilla. Sin embargo, se decide trabajar con la materia orgánica ya que esta también tiene un poder aglutinante como la arcilla de generar agregado, siendo útil para el proceso de aligerado, finalmente solo se limpia el limo (material inerte) de la muestra.

INICIO ENSAYO:

Síntesis de pasos:

- Limpiar vasos precipitados.
- Pesar cantidad de muestra (35 – 40 g)
- Llenar con agua la muestra (250 ml)
- Aplicar dispersante hexametáfosfato de sodio (25 ml)
- Potenciar reacción en plato magnético (10 min.)
- Ultrasonido (10 min.)
- Limpiar tubos y recipientes plásticos
- Rellenar tubos de ensayo (45 ml)
- Pesar muestras (dif. de 10 centésimas max.)
- Centrifuga (26 seg.)
- Se vierte líquido en recipientes plásticos

- Se deja decantar.
- Se retira el agua.
- Secado muestra obtenida.

Procedimiento y observaciones: (Figs. 15)

Se comienza limpiando los vasos precipitados con agua ultra pura (se realizan pruebas de a 4 vasos con muestras), luego se coloca la porción de tierra a utilizar. Control mediante pesa en gramaje; se usan entre 35 g – 40 g de fino.



Se vierte agua en los recipientes hasta llegar a 250 ml. Se aplica 25 ml del dispersante hexametáfosfato de sodio, con el fin de neutralizar las cargas de las partículas e ir separado el agregado.



Se potencia la reacción de éste en el plato magnético, que consta de una máquina que genera un movimiento mecánico, la cual revuelve la mezcla mediante un imán que se le agrega al vaso y que gira según lo indicado en el aparato (600 revoluciones por min.); se deja actuar durante 10 min, y se procede a retirar los imanes.



Luego se lleva a una máquina ultrasonido, que genera un movimiento a través de ondas, repercutiendo en la estructura interna de las partículas del agregado.



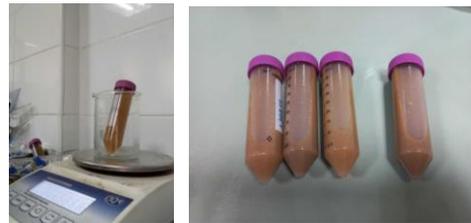
Esta práctica se asemeja a un baño maría, ya que es un cubículo con agua en donde se posan los vasos precipitados (debe llenarse con suficiente agua que sobrepase la cantidad de mezcla que contienen los vasos), se deja estar durante otros 10 min, controlados por el mismo aparato.



En paralelo, se prepara el resto de instrumentos a utilizar, se limpian los tubos plásticos de muestras con agua ultra pura, además de los recipientes plásticos en donde se deja finalmente reposar la mezcla.



Pasado el tiempo del ultrasonido, se retiran los vasos del agua y se continúa provocando pequeños movimientos circulares al recipiente con mezcla, moviendo el agua con la arcilla separada que se comienza a aconchar. Cuando el agua se pone bien turbia, se vierte cuidadosamente en los tubos de centrifuga llegando a los 45 ml. Se realiza este procedimiento para 4 tubos y se controla el peso de cada uno, dejando como máximo 10 centésimas de diferencia, esto es debido a que la centrifuga debe estar bien balanceada para ejecutar las pruebas de manera correcta.



Los tubos se agitan suavemente, para luego llevarlos a la centrifuga (ésta permite como máximo 4 muestras). Se deja actuar durante 26 segundos.



Esta acción permite concentrar las partículas inferiores a 2 micras en el líquido flotante, el resto que es de tamaño superior queda aconchado en el fondo, siendo materia que no se utilizará.

Se retira de a un tubo sin moverlo bruscamente y se vierte el líquido en el recipiente plástico previamente lavado con agua ultra pura.

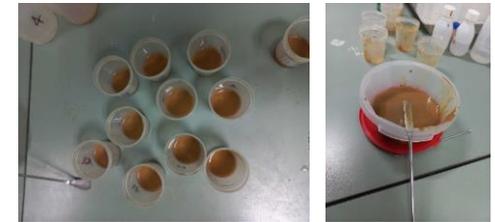
Para evitar contaminar las muestras al voltear el tubo, se hace a la altura de la vista de los ojos, y se observa el líquido caer continuamente hasta que se vea el fondo aconchado, en este punto se deja de verter a pesar de contener un poco más de líquido.



Este proceso se realiza reiteradas veces, obteniendo las muestras finales en los recipientes plásticos, éstos se dejan decantar hasta que se vea el agua clara y la arcilla aislada al fondo del recipiente.



En el proceso de secado se requiere de una pipeta para ir retirando el agua cuidadosamente, se intenta no mover el recipiente, evitando que la arcilla de abajo se vuelva a dispersar en el agua. Ya retirando casi toda el agua, llega un punto en el que si se succiona lo más cercano al grano se pierde un resto de muestra, es por esto que se deja con una leve capa de agua sobre el aconchado.



Cada resto de muestra se vierten en un pote, obteniendo toda la arcilla aislada. Finalmente la mezcla acuosa se deja secar al sol.



Al terminar el proceso de secado se observa una considerable disminución de volumen, quedando una costra de arcilla, esta se muele mediante mortero para ser utilizada como polvillo.



Comparación muestras resultantes:



Fig. 16: Muestra fina
(Contenido: limo, arcilla y materia orgánica)



Fig. 17: Arcilla aislada
(Contenido: arcilla > 2 micras, materia orgánica)

Difracción de rayos X

Esta prueba consiste en un análisis específico de la arcilla, indicando a que tipo de mineral corresponde según los especímenes cristalinos. Para su desarrollo se requiere de la aislación fracción arcilla, por lo que el proceso anteriormente descrito sobre el ensayo de centrifuga debe realizarse previamente a usar la muestra, ya que tras verter el líquido del tubo de centrifuga al recipiente de reposo, se extrae el agua con partículas de arcilla mediante pipeta, posicionándolo en un preparado orientado de cristal, que luego es utilizado en análisis de difracción.

Prueba y análisis realizado por Santiago Maza (Anexo)

“Los vidrios con precipitados de arcillas fueron introducidos en un desecador donde fueron expuestos a una atmósfera de etilenglicol en una estufa a 50 °C durante 6 hrs, y finalmente preparados calentados a 500 °C por 1 hrs.

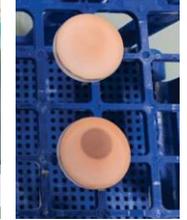
Como condiciones analíticas:

Se utilizó el mismo equipo Bruker D2 PHASER (CEGA, Universidad de Chile), trabajando a 30kV/10mA entre los ángulos 2° y 40° 2θ (tamaño de paso: 0,006; tiempo de paso: 0,95s)

“A partir de los análisis DRX, se puede determinar la mineralogía de las muestras pertenecientes al proyecto Arquitectura, cuya composición consiste de vermiculita, un interstratificado mica/vermiculita e illita.” Tratando de un material con una alta capacidad de retención de agua.



Fig. 18: Laboratorio de arcilla.
Departamento de Geología. UCH.



Figs. 19: Preparado orientados, fracción arcilla.

7.2 CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA

Se realiza una caracterización según granulometría de la fibra. Trabajando con 4 granos distintos, además se experimenta en esta área realizado pruebas de deshidratación de la fibra, humectándola y deshidratándola previamente a ser utilizada en la fabricación de paneles.

Definición granulométrica:

Se inicia cortando la paja con una máquina cortadora de forraje obteniendo un grano más regulado, trabajable para los formatos de paneles a fabricar. Se establece 4 granos distintos, harneando según tamices de: 4.0 mm, 1.5 mm, 0.5 mm, además del resto superior a 4.0 mm.

Materiales e implementos: (Figs. 20)



Maquinaria: (Figs. 21)

Cortadora de forraje



Licuadora



Nota: Debido a dificultades en el alcance de la maquinaria principal, se utiliza la juguera para seguir obteniendo un grano fino.



Obs: En la base de salida, tras cortar cierta cantidad, se iba apretando la paja en el fondo, teniendo que sacar manualmente el resto, además se generan pelotones de la fibra más fina, obteniendo una idea en base al grano de ésta.

La máquina logra cortar tamaños diversos de fibras, por lo que permite caracterizarla según granulometría. Para esto se procede a tamizar desde el grano más fino al grano mayor, utilizando tres tamices diferentes y dejando el resto general como un cuarto tamiz.

Harneado por: tamiz 0.5 mm.



(Grano polvillo)

Harneado por: tamiz 1.5 mm.



(Grano fino)

Harneado por: tamiz 4.0 mm.



(Grano medio)

Resto, general



(Grano grande)

Figs. 22: Clasificación granulométrica

Deshidratación de fibra:

En base a la obtención de un producto portante se investigan otras áreas, incorporando otros procesos investigativos, se propone indagar en lo que ocurre en la digestión del caballo, ya que las heces de este animal presenta una forma compacta y liviana, siendo éstas cualidades de su estructura interna.

Indagación estructuración heces de caballo:

*Según una primera prueba casera se llegó a unos 300 Kg/m³ aprox., en la cual se ve una alta presencia de fibra natural, y una estructura sólida.



Figs. 23: Muestras heces de caballo / Prueba inicial

Rescatando la idea de aligeramiento en mezclas, relacionado a la cantidad de fibra que presenta una composición, la incidencia de su secado y el ligante de la muestra, se analiza la composición de las heces del caballo preguntándose:

- ¿Qué compuestos podrían estar dentro del estómago del caballo que permite formar una bola de básicamente fibra?
- ¿Cómo se consigue esta forma compacta?
- ¿Qué es lo que vendría a aglutinar la mezcla? ¿Cuál es el ligante?

Tras la visita la Facultad de Ciencia Agronómicas de la Universidad de Chile, Departamento de Veterinaria, se obtuvo información a partir de una entrevista realizada al Profesor Adolfo Godoy P. (Médico Veterinario) que menciona:

“El tipo de movimiento que tiene el sistema gastrointestinal del caballo hace que se vayan formando bolitas (movimiento peristáltico en el intestino delgado) pero en el intestino grueso tiene movimientos de propulsión, que van y

vuelven constantemente en los haustros de colonos, entonces la feca va, se mezcla, vuelve, se mezcla y se compacta, va vuelve se mezcla y se compacta y la bota al final, el tipo de motilidad que tiene es lo que hace que sea compacta. Además en el colon se produce la absorción de casi el 90% de agua entonces lo que bota es prácticamente nada de agua, y el hecho de que no tenga agua, que esté seco hace que se compacte (deshidratación de las heces)”

Es decir: “La compactación va por el tipo de mortalidad y deshidratación de las heces.”

Proceso de deshidratación:

Según lo hablado con el profesor veterinario Adolfo Godoy P. el caballo debido a la motilidad y deshidratación permite hacer heces compactas y livianas, ya que posee movimientos reiterativos que compactan la fibra deshidratándola múltiples veces, obteniendo un resultado con un mínimo porcentaje de agua.

En base a esta repuesta se despierta un interés en el trabajo de la fibra en base a la deshidratación de ésta. Se procede a realizar pruebas experimentales, en las cuales se realiza un previo lavado y secado de la paja antes de ser utilizada en la fabricación de los paneles.

Se pesa la paja a usar y luego se hace un lavado con 1 L de agua, masajéandola y estrujándola manualmente, se posiciona en la lata del horno y se deja cocinar 30 min a 200° C.



Figs. 24: Proceso previo al deshidratado

Obs: Al lavar la fibra, se desprende agua turbia, de color café con resto de piedrecillas.

El último restante de paja siempre queda dispersa en el agua. Para no perder fibra y alterar los resultados se vierte el agua con la paja en un colador, pudiendo estrujar hasta lo último de fibra.

Nota: Se realizan 5 bandejas. Las primeras pruebas resultan perdidas, ya que se carbonizaron, se va regulando tanto los grados del horno como el tiempo de cocción para mejores resultados.

1-	Fibra grande	100g.	200° C	40 min	✗
2-	Fibra media	100g.	150° C	60 min	✗
3-	Fibra grande	200 g.	100° C	140 min.	✓
4-	Fibra media	200 g	100° C	140 min.	✓
5-	Fibra fina.	200 g.	100° C.	- 20 min	✗



Fig. 25: Aplicación de calor mediante horno



Fig. 26: Prueba fallida, fibra grande



Fig. 27: Prueba fallida, fibra media

Se logra conseguir resultados óptimos a partir de la tercera prueba, trabajado con 200 g. de paja grande , en la que se regula la cocción a 100 ° C, observándola cada 20 min, durante 7 tramos (140 min)

Obs: Se revisa cocción cada 20 minutos, semi abriendo la puerta con el fin de permitir la evaporación del agua, ya que tras las primeras pruebas se observa que al inducir calor al contenido húmedo en un lugar cerrado se mantiene la humedad en el interior, dificultando el secado.



Figs. 28: Diferencia tras deshidratado (fibra grande)

Obs: Se logra reducir 15 g, mediante el proceso de deshidratación.

Se observa una diferencia de color y aroma, siendo menos flexible que la versión original.

Con buenos resultados se prosigue a la deshidratación de fibra media (tamiz 4.0 mm), utilizando las mismas proporciones que la versión anterior, 200 g de fibra, a 100° por 140 minutos.



Figs. 29: Diferencia tras deshidratado (fibra media)

Obs: Se logra reducir 14 g, en el tamaño medio de fibra. Luego de secar en horno, se deja reposar para poder regular el contenido a la temperatura ambiente, evaporando el resto de humedad existente. Se evalúa su densidad tras una noche de reposo.

Se utilizan 200 g de fibra fina a 200 °C, durante el desarrollo se presentan dificultades tanto en el lavado y cocinado.

Obs: La fibra fina (tamiz 1.5 mm) debido a su tamaño no se logra lavar como las anteriores, puesto que al ser un grano tan pequeño se pierde mucho contenido en el agua, es por esto que para humedecerla se rocía revolviéndola, con el fin de hidratarla antes de inducirle calor.



Figs. 30: Prueba fallida, fibra fina.

Obs: La fibra fina no logra ni estar 20 min. al horno, puesto que reacciona con la lata caliente. Al prenderse se dificulta apagarlo, debido al efecto cadena que se genera entre todos los granos, por lo que se vierte agua hasta mojar todo el contenido.

Nota: Finalmente para la deshidratación solo se trabajan las 2 granulometrías mayores, ya que la fibra fina no es capaz de deshidratarse, es por esto que también se descarta la prueba de grano inferior a 0.5 mm.

7.3 ENSAYO PANELES

Después de obtener las distintas variables de materiales, se procede al desarrollo de las pruebas realizadas en 3 ítems: Introdutorias al aligerado, composición básica y pruebas evaluadas.

Nota: De los 2 primeros ítems se registra lo más relevante de la práctica, mientras que en las pruebas evaluadas, se hace un registro completo de lo realizado.

PRUEBAS INTRODUCTORIAS AL ALIGERADO

Se realizan las primeras pruebas introductorias para entender el proceso de fabricación de paneles, evaluando los componentes en mezcla y la práctica de armado.

Materiales e Implementos: (Figs. 31)

Tierra harneada



Paja cortada



Vaso precipitado



Balanza digital



Molde 15 x15 x 8



Balde



Palas



Se comienza con pruebas introductorias en las que se utiliza 500 g de arcilla, variando entre 70 g. y 140 g. de fibra, éstas se realizan de forma experimental, probando con distintas cantidades de agua y procesos de mezclas.

Figs. 32: Desarrollo experimental / Ítem 1



Obs: Estas pruebas fueron las de mayor peso debido a la alta cantidad de tierra utilizada.

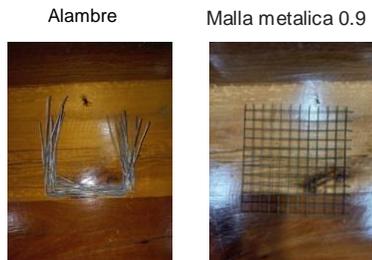
Se experimenta con los preparados, a fin de entender los diversos comportamientos presentes en él.

COMPOSICIÓN BÁSICA

Desde aquí en adelante el desarrollo de paneles se ensaya en el formato estudiado en el trabajo de “Certificación y desarrollo sistemas constructivo Terrapanel.” por Patricio Árias Cortés y Francisca Gómez (2019) [19], dejando el panel contenido en una estructura reticular desmontable, con el fin de mantener la mezcla formada en el secado.

Tras las primeras pruebas, se reduce la cantidad de arcilla utilizada para optimizar el recurso. En esta etapa se ve el formato de contención del panel, agregando mallas y alambres para el posterior amarre. Además de comenzar a variar en la granulometría de la fibra, teniendo un primer acercamiento en el comportamiento según grano.

Implementos añadido: (Figs. 33)



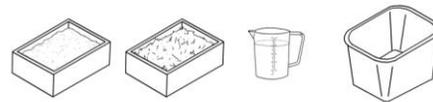
Nota: Se cortan las mallas y alambres acorde a las proporciones del molde.

Se utilizan los alambres con forma de corchete para mayor facilidad de enganche.

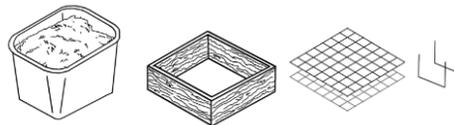
Se hacen 3 ensayos con 100 g de tierra fina y 85 g de paja, variando entre dos granos la fibra, el grano general cortado por máquina y el de tamiz 1.5 mm. Se comienza con:

Metodología desarrollo pruebas: (Figs. 34)

Se miden los materiales a usar, pesando cantidad de tierra y paja; controlando el agua mediante vaso precipitado.



Se mezcla la tierra con el agua en un balde generando una especie de pasta acuosa, luego se vierte la paja controladamente y se comienza a evaluar el estado de humedad, dependiendo de lo deseado, se agrega más agua.



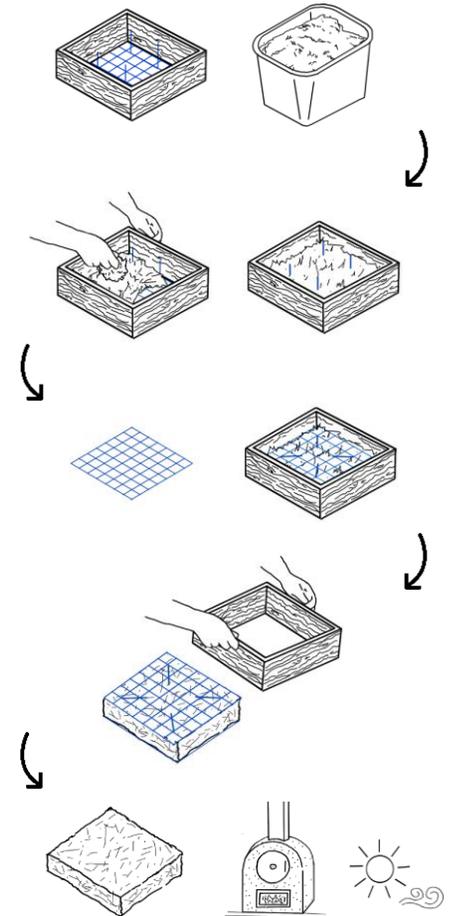
Con la mezcla preparada, se posiciona el molde en la base a utilizar (en este caso bolsas de cartón reutilizadas), teniendo una malla de apoyo en el fondo el molde junto a dos corchetes de alambre para el posterior enganche de la malla superior.

Luego se traspa la mezcla al molde acomodando manualmente entre los alambres, compactándola con fuerza media.

Tras posicionar todo el material obtenido en el molde se procede a colocar la malla superior, donde se enganchan los alambres utilizados.

Teniendo el sate contenido en las mallas, se procede a retirar el molde hacia arriba, presionado levemente el panel.

Finalmente se deja el panel para el posterior secado (pasivo o activo)



Figs. 35: Desarrollo experimental / Item 2



[11] Árias P. Gómez F. 2019. Investigación, certificación y desarrollo sistema constructivo Terrapanel.

PRUEBAS EVALUADA

Éstas se realizan en 4 etapas:

1- Análisis de variables: trabajo de fibra según grano, 4 tamices, regulación de agua, proceso de secado, pasivo y activo. Observando estructuración/consistencia, adherencia, densidad y secado.

2- Proceso de aligerado: tras la mejor versión de los análisis de variables se realizan pruebas de aligerado, aumentando fibra hasta el punto en que deja de estructurarse como panel.

3- Testeo mínima resistencia: finalmente se evalúa los hallazgos encontrados, sometiendo el panel a una prueba de aplicación mecánica.

4- Comportamiento arcilla: se evaluará según los procesos anteriores, observando si existe una mejora en comportamiento aditivo y en densidad final.

Nota: Se realizan pruebas de distinto formato, de 15 x 15 cm, y de 4 x 4 cm. Se inicia con las de mayor tamaño y debido a la dificultad de obtención de cierto materiales durante el desarrollo como: fibra en granulometría inferior a 0.5mm, fibra deshidratada, y arcilla de la muestra fina, se realizan pruebas reducidas siendo proporcionales a la primera versión.

Pruebas de 15 x 15 Tierra: 100 g fino. Fibra: 120 g

Pruebas de 4x4. Tierra: 7.1 g fino. Fibra: 8.5 g
Tierra: Arcilla.

Implementos añadidos: (Figs. 36)

Jeringa



Molde 4 x 4 cm



Mallas y alambres



Las variables trabajadas son:

- Tierra: Fino y Arcilla
- Fibra: Granulometría y Deshidratación

- Estado de humedad: Húmedo y Plástico
- Secado: Pasivo y Activo

Etapas 1: Análisis de variables

El desarrollo de las pruebas se ordena según variables, se comienza por la granulometría de fibra, evaluando que tamaño presenta un panel más estructurado. Luego por la cantidad de agua a utilizar, se compara que estado de humedad deriva a un resultado más óptimo en relación a consistencia y secado.

Los ensayos son realizados en ambas versiones de fibras (general y deshidratada), además de la forma de secado pasivo y activo por tramo de variable.

Orden pruebas (Figs. 37)

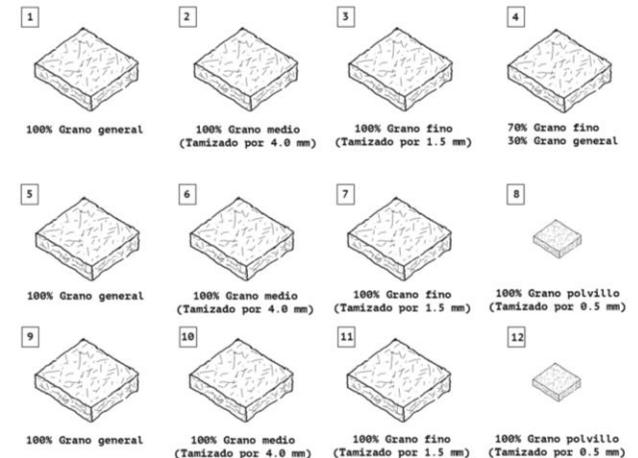
FIBRA

Tierra: Fino 100 g
Paja: 85 g
Agua: 280 ml
Estado mezcla: Húmedo/Plástico
Secado: V1: **Pasivo**

AUMENTO DE FIBRA

Tierra: Fino 100 g
Paja: 120 g
Agua: 300 ml
Estado mezcla: Húmedo/Plástico
Secado: V1: **Pasivo**

V2: **Activo**

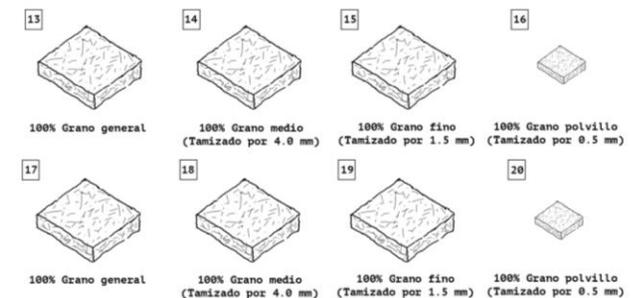


AGUA

+ SECO

Tierra: Fino 100 g
Paja: 120 g
Agua: 170 ml
Estado mezcla: Húmedo
Secado: V1: **Pasivo**

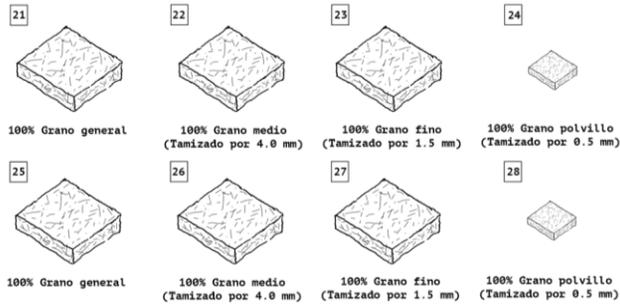
V2: **Activo**



+ LIQUIDO

Tierra: Fino 100 g
 Paja: 120 g
 Agua: 450 ml
 Estado mezcla: Plástica
 Secado: V1: Pasivo

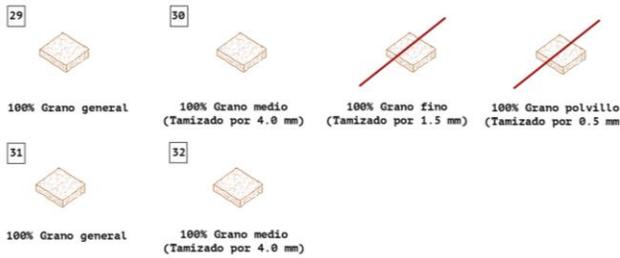
V2: Activo



FIBRA DESHIDRATADA

Tierra: Fino 7.1 g
 Paja: 8.5 g
 Agua: 21.3 ml
 Estado mezcla: Húmedo/Plástico
 Secado: V1: Pasivo

V2: Activo

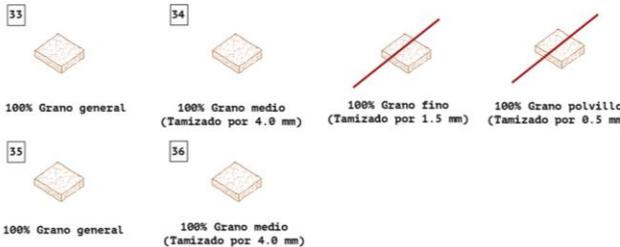


AGUA

+ SECO

Tierra: Fino 7.1 g
 Paja: 8.5 g
 Agua: 12 ml
 Estado mezcla: Húmedo
 Secado: V1: Pasivo

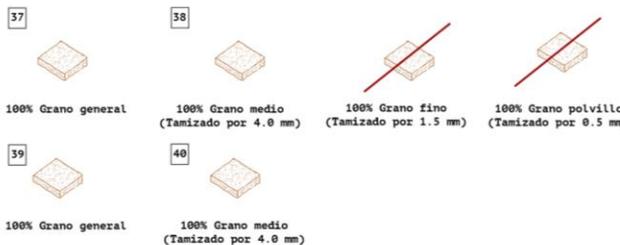
V2: Activo



+ LIQUIDO

Tierra: Fino 7.1 g
 Paja: 8.5 g
 Agua: 31.9 ml
 Estado mezcla: Plástica
 Secado: V1: Pasivo

V2: Activo



Nota: Para la ejecución de pruebas, se realizan primero los paneles con secado al sol, luego se producen las que irán al horno evitando tanto tiempo en reposo tras su fabricación.

Para orden del documento se desarrolla según fig. (37), estando el secado pasivo y activo según trabajo de variable, realizando tramos de pruebas iguales, pero en ambos secados.

Paneles 1 al 4: (Figs. 38)

Se comienza con el trabajo de granulometrías en fibra, utilizando como cantidades constantes: la tierra, paja, agua y compactación manual (se comprime hasta encontrar resistencia en la mezcla, trabajando por capas para ir acomodando regularmente la masa), variando únicamente en el tamaño de la fibra.

Se utiliza 100 g de tierra, 85 g de paja y 280 ml de agua. Trabajando los tamices de 1.5 mm, 4.0 mm y resto general.

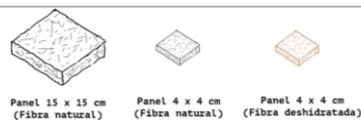


Nota: La mezcla se ejecuta según lo descrito en la figura ..

- Porciones
- Mezclado.
- Moldaje
- Contención
- Secado



Formatos:





Obs: En la compactación al interior del moldaje, se identifica mayor homogeneidad de la mezcla en la fibra menor, siendo capaz de aglomerarse uniformemente.

* Se añade prueba especial (4º) de 70 % grano fino y 30 % grano general. Usando 60 g y 25 g respectivamente. (Interés en estructuración según grano)



Obs: Se observan dos tonalidades de cafés, identificando el grano de ambos tamices trabajados, siendo de un color más oscuro los grumos de paja fina, mientras que en el café claro se ve la presencia del tamaño mayor de fibra.

Paneles 5 – 8 / 9 - 12: (Figs. 39)

Se logra componer el panel con 85 g. de fibra sin mayor esfuerzo, es por esto que se aumenta a 120 g. con el fin de evaluar las variables en una situación más cercana al aligerado. También según las observaciones anteriores al ver un mejor comportamiento en la compactación del grano fino se agrega un tamiz más pequeño de 0.5 mm, siendo más bien el polvillo de la paja.

Nota: Debido a la dificultad de obtención de este grano, se realizan en pruebas de formato reducido, siguiendo las mismas proporciones que el molde mayor.

Se evalúan los tres tamices anteriormente trabajados, con este aumento de fibra, además del cuarto tamiz agregado. Se realizan 4 paneles para secado pasivo y un duplicado para secado activo.



Obs: El aumento de la paja seca la muestra, por lo que se incorpora más agua que en las primeras pruebas, utilizando 300 ml para los 120 g de fibra.



Obs: En el proceso de compactación, se observan distintos comportamiento. La fibra de grano mayor resultaba más compleja de acomodar, ya que algunas unidades, al estar en diferentes direcciones se doblaban, quedando espacios sin rellenar, debido a esto también presentaba una reacción inversa al amortiguar manualmente, devolviéndose tras ejercer la fuerza.



Mientras que la fibra fina permite distribuirse equitativamente, pudiendo acomodarse entre granos, sin dejar presencia de huecos en la composición general del panel.

Para el panel 8 (versión reducida) se utilizan 7.1 de tierra, 8.5 de paja y 21.3 ml de agua. (El trabajo de los paneles pequeños requiere de implementos con precisiones menores, como jeringa para el control del agua, mallas de grano más fino para el amarre y un recipiente menor para evitar pérdida de mezcla.)



Obs: En el desarrollo del panel 4 x 4 x 9 cm se dificulta la compactación manual debido al espacio reducido del molde, es por esto que para ir acomodando la fibra se hace mediante lápiz, regulando la fuerza a utilizar.

Nota: Se dejan los alambres sobrepasando el molde, para poder tener un mayor control en el vaciado.

Paneles 13 – 16 / 17 – 20: (Figs. 40)

Para estos paneles se evalúa el estado de humedad de la mezcla, realizando dos tramos de 8 pruebas, primero se trabaja con una mezcla más bien húmeda, que correspondería a la mezcla seca, en versión de secado pasivo y activo.

La mezcla consta de: 100 g de tierra, 120 g de paja y 170 ml de agua.



Obs: El preparado seco, dificulta el mezclado de los elementos, ya que los primeros granos en estar en contacto con el agua se agrupan, dejando el resto de paja totalmente seca. Se desmenuzan estos grumos húmedos manualmente, integrando todos los componentes para un conjunto homogéneo. Debido a esto, la preparación para este conjunto es más demorosa.



La textura de la mezcla se asemeja a la de una cocada, en la que se agrupan y se tiende a secar aún más en la disminución de grano trabajando.



En el traslado de muestras, luego de desmolar, se da cuenta de un menor peso en comparación al desarrollo anterior, dado por la poca presencia de humedad, favorece el secado, demorando menos.

Formato 4 x 4 x 8 cm:



Obs: Se infiere que por la cantidad de unidades según grano se absorbe mayor cantidad de agua, por lo que el tamiz fino al contener unidades de menor longitud presenta múltiples granos que trabajan unitariamente, observando una mezcla más seca y agrupada que las de tamices mayores.

Paneles 21 – 24 / 25 – 28: (Figs. 41)

Luego se elabora la mezcla más acuosa, desarrollando pruebas en un estado plástico, utilizando 100g de tierra, 120 g de fibra y 450 ml

Obs: A pesar de aumentar el agua, al poseer más fibra que arcilla, el estado plástico/viscoso se hace menos visible, debido a que esta falta de árido no logra una mezcla pastosa que se identifique como viscosa. Trabajando finalmente un estado más bien plástico, con un alto % de humedad



Obs: Al tener mayor volumen de paja, el incorporar más agua, solo hace que se esparza más la arcilla en estado líquido, dejando una presencia constante de mezcla acuosa al fondo del recipiente, que no es capaz de ser absorbido en este tamaño de grano (general).



A medida que se desarrollan los otros tamices se observa una mayor incorporación del agua a la mezcla, pudiendo absorberse completamente en el tamiz fino. Ahora bien, si se le aplica fuerza apretando parte del conjunto, desprende el líquido arcilloso.



Finalmente, si bien el tamiz mayor no absorbe todo el líquido utilizado; para el secado presenta menor humedad que el tamiz fino, el cual si es capaz de acumularla, quedando en evidencia tras el tiempo de reposo, debido a que el agua comienza a descender manchando la superficie con aureolas de humedad.

Formato 4 x 4 x 8 cm:



Obs: Según la tendencia de color, se infiere que debido al grano fino existe una mejor dispersión de la arcilla, que es ayudada con el agua, por lo que al haber mayor incorporación de líquido se logra esparcir uniformemente entre los granos tomando un color más tierra en comparación al resto de paneles.

Paneles 29 y 30 / 31 y 32: (Figs. 42)

A partir de estas pruebas, se analiza la fibra deshidratada, utilizando los dos granos que pudieron ser procesados. (Tamiz general y 4.0 mm) Realizándose en formatos reducidos. Evaluando igualmente el secado activo y pasivo de cada tramo de ensayos.



Se utiliza 7.1 g de tierra, 8.5 g de fibra y 21.3 ml de agua, semejando a los 100 g de tierra, 120 g de paja y 300 ml utilizados.



Obs: El proceso de deshidratado genera ciertos cambios físicos en la unidad, ya sea en textura, color y aroma.

Presenta una textura más rígida, debido al secado, diferenciándose de la normal que se caracteriza por ser más flexible.



Se logra identificar a simple vista debido al color tostado que toma mediante el calor del horno. Además, adquiere un aroma ahumado particular.

Paneles 33 y 34 / 35 y 36: (Figs. 43)

Al igual que la fibra normal, se evalúan los estados de humedad, probando en mezclas más secas y líquidas, de las cuales se desprenden:



Obs: No se observan mayores cambios en la preparación del panel, dando cuenta de similitudes con los procesos anteriormente descritos.

En general se observa un desorden en el ensayo de fibra de tamaño mayor, el cual genera una forma irregular y desordenada.



Obs: Al compactar la mezcla se percibe un menor rebote de reacción, debido al carácter más rígido presentado tras la deshidratación.

Paneles 37 y 38 / 39 y 40: (Figs. 44)



Obs: A pesar de deshidratar la fibra, no se observa una mayor absorción de humedad en mezcla, dejando residuos líquidos en ambos trabajos de fibra.

Como se menciona en las prácticas anteriores, se observa el descenso de agua acumulada en la fibra de menor tamaño, dejando una base líquida derramada bajo la pieza.



Los espesores de los paneles varían según grano de fibra (independiente al formato utilizado) observando un comportamiento reiterativo en la composición, identificando:

- Grano general: 5- 6 cm
- Grano medio: 3.5 – 5 cm
- Grano fino: 3 – 4 cm
- Grano polvillo: 2 – 2.5 cm

SECADO:

La variable secado, se trabaja de forma pasiva y activa, que corresponde a ventilación natural y al calor inducido mediante artefacto (horno). Para ambas situaciones se dejan las contenciones hasta un secado medio.

Nota: El registro de imágenes se ordena según variable por tramo de paneles, comparando ambas versiones de secados. Las primeras cuatro pruebas realizadas, debido a su carácter genérico no presenta mayor análisis en el proceso de secado. Se comienza comparando desde el quinto panel en adelante.

Para el secado pasivo, se evalúa luego de 4 días expuestos al sol, retirando previamente la contención metálica del panel.



Figs. 45: Secado pasivo

Las pruebas de secado se realizan en diversos días, con el fin de identificar si aún siguen disminuyendo peso por humedad interior o si bien ya están totalmente secas.

Notas: Debido a las condiciones climáticas, por bajas temperaturas, las pruebas de secado al sol, son resguardadas bajo techo durante otros 4 días. Pasado este tiempo se vuelven a dejar expuestos al sol, siendo también pesados el día 11 desde su fabricación.

Debido al comportamiento anteriormente visto de la paja sometida a calor, se regula controladamente el uso del horno, realizando tramos acotados de tiempos, reiteradas veces.

Se utiliza el horno en una temperatura constante de 100 ° C, durante periodos de 30 min. Este ciclo se repite, quedando finalmente con 165 min al interior de horno.



Figs. 46: Secado activo

Se colocan los paneles en la lata del horno estratégicamente, dejando la fibra más sensible al calor, que corresponde al grano fino (demostrado en el proceso anterior de deshidratación) en el centro de la lata, debido a que los extremos tienden a calentarse más.

Para un secado uniforme en las muestras, se someten cada tres pruebas durante 30 min, esto se reitera según trabajo de variable, permitiendo reposos entre los tiempos de secados de otros paneles, de esta manera se hace una rotativa.

Además para ayudar al secado, se deja semi abierta la puerta del horno, con el fin de permitir la salida de la evaporación del agua.

Paneles 5 – 8 / 9 - 12: (Figs. 47)



Nota: Para desmoldar se abren los alambre cuidadosamente con un alicate, afirmando la zona del dobles para luego enderezar la punta sin presionar la sección al interior del panel.

Obs: Se observa un mayor desprendimiento de paja en el grano mayor, disminuyendo según la granulometría de fibra.

En general se observa una estructuración uniforme, siendo algunos más delicado que otros en relación a la conformación del panel.

Para el resultado de secado en las pruebas de horno, se dejan en reposo durante toda una noche, para que regule su temperatura al exterior y termine su evaporación de humedad.

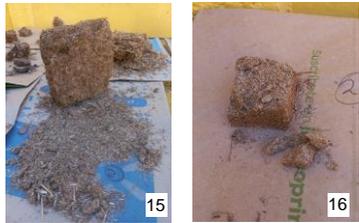
Obs: Para esta ocasión, se identifica un comportamiento similar en las primeras pruebas de hornos, con mayor desprendimiento de fibra en los paneles 9 y 10, observando una diferencia en la prueba 11 (grano fino) puesto que es la primera que se desmorona luego del retiro de malla.

Por último se puede observar la estructuración del de fibra menor (grano polvillo), que si bien es el más formado igual presenta el desplome de sus bordes.

Paneles 13 – 16 / 17 – 20: (Figs. 48)



Obs: Para las pruebas de menor humedad, a pesar de su secado, en ambas versiones se ve un alto restante de fibra en la superficie de reposo, mayor a los desprendimientos de los paneles anteriores, siendo más frágiles al tacto, desmenuzándose constantemente en el desmoldado, traslado y pesado.



Al ser manipulados las partes más perjudicadas son los bordes y puntas, siendo las zonas más delicadas en la geometría cúbica, quedando una forma final irregular.



Además tras el desarme del panel 19 (secado activo) se puede ver aún la presencia de humedad en el interior. Demostrando complejidades generales del secado, ya que es posible distinguir el carácter seco de las caras externas de los paneles pero no es posible identificar si están totalmente secos en su interior.



Nota: Debido a esto se evalúan los pesos de los paneles en distintas ocasiones, identificando si aún existe una pérdida de humedad, según el descenso de la masa cuantificada.

Para el secado pasivo se dejan más días de reposo, mientras que para el proceso activo, se aplica otro medio de calor, utilizando el secador.

Paneles 21 – 24 / 25 – 28: (Figs. 49)



Obs: Durante la medición de peso, la prueba número 22 es la primera en desarmarse del secado pasivo, dejando en evidencia un centro aún húmedo. Se infiere que por falta de secado pierde la consistencia firme que estructura el panel, desmoronándose al momento de ser manipulado



Nota: Para desmoldar los paneles de formato reducido, se cortan los alambres para así evitar dañar las muestras, acortando la distancia de retiro.



A causa de un incremento inesperado del calor del horno, se incendia una de las pruebas, correspondiente al grano mayor, siendo descartada para el análisis posterior.



La mezcla húmeda, es la que mejor logra estructurar el panel, obteniendo la mejor versión en el ensayo 24 de grano polvillo. Seguido de la 23 que correspondería al grano fino en formato 15 x 15 cm. Posee una textura ligosa, uniforme y regular.

El ensayo 28 si bien también logra ser un panel compacto, presenta más irregularidades que en el secado natural.

Paneles 29 y 30 / 31 y 32: (Figs. 50)



Como comportamiento reiterativo, la fibra pequeña permite un mejor acomodo entre si, que la fibra grande, en ésta se tiende a ver un constante desorden entre fibras, dejando una serie de unidades sobrepuestas, que luego de quitar las contenciones se comienza a desplomar. Sin embargo para las pruebas de secado activo, se aprecia una composición más armada que versus al secado pasivo.



Para el caso de la fibra deshidratada, los formatos reducidos trabajados en hornos, presentan una mejor estructuración, identificando una mejor adherencia entre las fibras.

Paneles 33 y 34 / 35 y 36: (Figs. 51)



En la mezcla con menor presencia de humedad se aprecia un comportamiento mejorado con respecto a los paneles anteriores, intuyendo que la fibra deshidratada responde de distinta manera que la fibra normal debido a que se observa una mejor composición en la mezcla más seca, contraria a la situación dada con la fibra normal.



De igual forma, si bien se logra estructurar mejor en ambas longitudes de fibras, también presenta desprendimientos, debido a la resequedad de la preparación.

Paneles 37 y 38 / 39 y 40: (Figs. 52)



Obs: La fibra deshidratada funciona mejor en horno.

EL mejor panel que se obtuvo en este tramo es el número 40, de éste solo se observa una punta baja, pero correspondiente al acomodado en molde, ya que no se ve con una falta de un fragmento.



Se infiere que la capacidad de absorción de agua de la fibra deshidratada se ve alterada por el proceso previo de calor, por lo que independiente del aumento de humedad trabajada en la mezcla no mejora las condiciones morfológica del panel; siendo contrario a la observación de los ensayos más secos.

Tabla n°1: Análisis de variables (formatos 15 x 15 cm y 4 x 4 cm. Indicado en orden de pruebas)

N°	Cant. Tierra (g)	Fibra	Cant. Fibra (g)	Grano fibra	Cant. Agua (ml)	Estado de humedad	Secado	Formato (cm)	Espesor dado (cm)	Peso (g)	Densidad final (kg/m³)	Resultado: Estabilidad
1	Fino 100 g	Normal	85 g	Tamiz general	280 ml	Húmedo / Plástico	Pasivo	15 x 15 cm	4 cm	164 g	182 Kg/m³	Se estructura
2	Fino 100 g	Normal	85 g	Tamiz 4.0 mm	280 ml	Húmedo / Plástico	Pasivo	15 x 15 cm	3 cm	166 g	245.9 kg/m³	Se estructura
3	Fino 100 g	Normal	85 g	Tamiz 1.5 mm	280 ml	Húmedo / Plástico	Pasivo	15 x 15 cm	2.4 cm	167 g	309 kg/m³	Se estructura consistente
4	Fino 100 g	Normal	85 g	70% T.1.5 mm 30% T.G.	280 ml	Húmedo / Plástico	Pasivo	15 x 15 cm	3 cm	167 g	247.4 kg/m³	Se estructura consistente
5	Fino 100 g	Normal	120 g	Tamiz general	300 ml	Húmedo / Plástico	Pasivo	15 x 15 cm	6.5 cm	192 g	131.3 kg/m³	Se estructura
6	Fino 100 g	Normal	120 g	Tamiz 4.0 mm	300 ml	Húmedo / Plástico	Pasivo	15 x 15 cm	4.5 cm	189 g	186.7 kg/m³	Se estructura
7	Fino 100 g	Normal	120 g	Tamiz 1.5 mm	300 ml	Húmedo / Plástico	Pasivo	15 x 15 cm	4 cm	207 g	230 kg/m³	Se estructura consistente
8	Fino 7.1 g	Normal	8.5 g	Tamiz 0.5 mm	21.3 ml	Húmedo / Plástico	Pasivo	4 x 4 cm	2.5 cm	14.6 g	365 kg/m³	Se estructura consistente
9	Fino 100 g	Normal	120 g	Tamiz general	300 ml	Húmedo / Plástico	Activo	15 x 15 cm	6 cm	214 g	158.5 kg/m³	Se estructura
10	Fino 100 g	Normal	120 g	Tamiz 4.0 mm	300 ml	Húmedo / Plástico	Activo	15 x 15 cm	5.3 cm	211 g	176.9 kg/m³	Se estructura debilmente
11	Fino 100 g	Normal	120 g	Tamiz 1.5 mm	300 ml	Húmedo / Plástico	Activo	15 x 15 cm	X	X	X	Se desarma
12	Fino 7.1 g	Normal	8.5 g	Tamiz 0.5 mm	21.3 ml	Húmedo / Plástico	Activo	4 x 4 cm	2.1 cm	14 g	416.6 kg/m³	Se estructura
13	Fino 100 g	Normal	120 g	Tamiz general	170 ml	Húmedo	Pasivo	15 x 15 cm	6 cm	178 g	131.3 kg/m³	Se desarma
14	Fino 100 g	Normal	120 g	Tamiz 4.0 mm	170 ml	Húmedo	Pasivo	15 x 15 cm	X	X	X	Se desarma
15	Fino 100 g	Normal	120 g	Tamiz 1.5 mm	170 ml	Húmedo	Pasivo	15 x 15 cm	5.3 cm	188 g	157.7 kg/m³	Se desarma

16	Fino 7.1 g	Normal	8.5 g	Tamiz 0.5 mm	12 ml	Húmedo	Pasivo	4 x 4 cm	2.2 cm	10.9 g	309.7 kg/m ³	Se estructura
17	Fino 100 g	Normal	85 g	Tamiz general	170 ml	Húmedo	Activo	15 x 15 cm	4.8 cm	142 g	131.5 kg/m ³	Se desarma
18	Fino 100 g	Normal	85 g	Tamiz 4.0 mm	170 ml	Húmedo	Activo	15 x 15 cm	4.5 cm	178 g	175.8 kg/m ³	Se estructura debilmente
19	Fino 100 g	Normal	85 g	Tamiz 1.5 mm	170 ml	Húmedo	Activo	15 x 15 cm	X	X	X	Se desarma
20	Fino 7.1 g	Normal	120 g	Tamiz 0.5 mm	12 ml	Húmedo	Activo	4 x 4 cm	2 cm	13.2 g	412.5 kg/m ³	Se estructura debilmente
21	Fino 100 g	Normal	120 g	Tamiz general	450 ml	Plástico	Pasivo	15 x 15 cm	5.5 cm	202 g	163.2 kg/m ³	Se estructura
22	Fino 100 g	Normal	120 g	Tamiz 4.0 mm	450 ml	Plástico	Pasivo	15 x 15 cm	X	X	X	Se desarma
23	Fino 100 g	Normal	120 g	Tamiz 1.5 mm	450 ml	Plástico	Pasivo	15 x 15 cm	3.3 cm	205 g	276 kg/m ³	Se estructura consistente
24	Fino 7.1 g	Normal	8.5 g	Tamiz 0.5 mm	31.9 ml	Plástico	Pasivo	4 x 4 cm	2.6 cm	13 g	312.5 kg/m ³	Se estructura consistente
25	Fino 100 g	Normal	120 g	Tamiz general	450 ml	Plástico	Activo	15 x 15 cm	X	X	X	Se descarta
26	Fino 100 g	Normal	120 g	Tamiz 4.0 mm	450 ml	Plástico	Activo	15 x 15 cm	4 cm	194 g	215.5 kg/m ³	Se estructura debilmente
27	Fino 100 g	Normal	120 g	Tamiz 1.5 mm	450 ml	Plástico	Activo	15 x 15 cm	4 cm	235 g	261.1 kg/m ³	Se estructura
28	Fino 7.1 g	Normal	8.5 g	Tamiz 0.5 mm	31.9 ml	Plástico	Activo	4 x 4 cm	2 cm	14 g	437.5 kg/m ³	Se estructura consistente
29	Fino 7.1 g	Deshidratada	8.5 g	Tamiz general	21.3 ml	Húmedo/ Plástico	Pasivo	4 x 4 cm	5.2 cm	11.7 g	140.6 kg/m ³	Se estructura debilmente
30	Fino 7.1 g	Deshidratada	8.5 g	Tamiz 4.0 mm	21.3 ml	Húmedo/ Plástico	Pasivo	4 x 4 cm	4.8 cm	13 g	169.3 kg/m ³	Se desarma
31	Fino 7.1 g	Deshidratada	8.5 g	Tamiz general	21.3 ml	Húmedo / Plástico	Activo	4 x 4 cm	4.7 cm	9 g	119.7 kg/m ³	Se desarma
32	Fino 7.1 g	Deshidratada	8.5 g	Tamiz 4.0 mm	21.3 ml	Húmedo / Plástico	Activo	4 x 4 cm	4.2 cm	11.7 g	174.1 kg/m ³	Se estructura

33	Fino 7.1 g	Deshidratada	8.5 g	Tamiz general	12 ml	Húmedo	Pasivo	4 x 4 cm	X	X	X	Se desarma
34	Fino 7.1 g	Deshidratada	8.5 g	Tamiz 4.0 mm	12 ml	Húmedo	Pasivo	4 x 4 cm	3.5 cm	10.1 g	180.4 kg/m ³	Se desarma
35	Fino 7.1 g	Deshidratada	8.5 g	Tamiz general	12 ml	Húmedo	Activo	4 x 4 cm	5 cm	10 g	125 kg/m ³	Se estructura debilmente
36	Fino 7.1 g	Deshidratada	8.5 g	Tamiz 4.0 mm	12 ml	Húmedo	Activo	4 x 4 cm	3.5 cm	11.2 g	200 kg/m ³	Se estructura debilmente
37	Fino 7.1 g	Deshidratada	8.5 g	Tamiz general	31.9 ml	Plástico	Pasivo	4 x 4 cm	X	X	X	Se desarma
38	Fino 7.1 g	Deshidratada	8.5 g	Tamiz 4.0 mm	31.9 ml	Plástico	Pasivo	4 x 4 cm	X	X	X	Se estructura
39	Fino 7.1 g	Deshidratada	8.5 g	Tamiz general	31.9 ml	Plástico	Activo	4 x 4 cm	5.4 cm	9.6 g	111.1 kg/m ³	Se desarma
40	Fino 7.1 g	Deshidratada	8.5 g	Tamiz 4.0 mm	31.9 ml	Plástico	Activo	4 x 4 cm	3.8 cm	12.6 g	207.2 kg/m ³	Se estructura

8. Resultados

Luego de trabajar las distintas variables, se logra tener una idea de las conductas en la aplicación del preparado, identificando algunos comportamientos más favorables que otros en base a la composición final del panel. De igual forma se evalúa las densidades para el posterior trabajo de aligerado, visualizando cuál de los ensayos logra mejor estabilidad en mezcla y menor peso final.

Para el preparado, en el análisis de granulometría, se observa una mejor conformación en base al grano fino, teniendo en general una geometría más regular y compacta. Gracias a la longitud de la fibra permite el acomodo entre las mismas unidades, llenando los vacíos que perjudican la consistencia final.

En base al aligerado, se trabajan densidades inferiores a 400 kg/m³, teniendo como mínimo el trabajo de 111 kg/m³. Los paneles más ligeros, si bien se logran formar, presentan deficiencias al momento de manipularlos, quedando descartadas para la finalidad del ensayo. En general constan del trabajo de fibras mayores, en la que la presencia de huecos es alta, por lo que el volumen final responde a una densidad baja, pero que no logra la estabilidad deseada.

La humedad en mezcla toma un rol importante en la formación del panel, observando ciertas tendencias en base a las cantidades de agua a usar.

En las pruebas con menor humedad, se observa un constante desprendimiento de fibra, se infiere que a falta de liquidez, la arcilla no es capaz de esparcirse por las múltiples unidades de paja; viendo este comportamiento reflejado según la longitud de aquella, en donde las de tamaño mayor logran una mejor composición con respecto a las de grano pequeño, debido al mayor contenido unitario, el agua no es capaz de dirigir las partículas de arcilla a cada fragmento de esta, por lo que algunas quedan sin la presencia del ligante, lo que provoca que nunca exista la unión entre compuestos, conllevando finalmente al desmoronamiento de la pieza.

Los paneles trabajados con humedad media y alta, presentan resultados más estructurados en relación al trabajo de grano fino, debido a que, a mayor contenido de agua se permite dispersar mejor la arcilla, pudiendo abarcar las numerosas fibras de la mezcla. Es por esto que los resultados más óptimos pertenecen a la aplicación del estado plástico, correspondiendo a un 67 % de humedad, en relación al preparado de mezcla.

En el trabajo de fibra deshidratada, como se expresa en caracterización de fibra, sí se logra un descenso de peso tras una previa deshidratación; dando resultado de paneles más ligeros, presentando las densidades más bajas. Sin embargo, debido al trabajo de solo los dos granos mayores de fibra, se ve esta tendencia de aumento de huecos, lo que también afecta en su peso final y en la consistencia del panel, quedando regularmente suelto, lo que genera una serie de desprendimientos a la hora de ser manipulado. De igual forma debido a los buenos resultados en torno a la obtención de densidad final, se puede seguir indagando en el desarrollo de esto, proponiendo otra área de estudio para investigaciones futuras, podría ser triturando el contenido o bien en el trabajo de la aplicación del ligante. (Mejor versión: panel 40)

El secado es un factor determinante en la formación del panel, ya que finalmente el efecto adhesivo de la arcilla se observa cuando ya está seco. Este proceso se evalúa tanto de manera pasiva como activa, obteniendo un mejor comportamiento del secado natural. Se infiere que, debido a la diferencia de manipulación entre ambos secados, los resultados favorecen al proceso pasivo, ya que tras la fabricación solo se dejan en reposo al sol. En cambio, para el proceso activo se requiere de una constante manipulación del panel aun en estado húmedo, para los reiterados traslados al horno, además de la incorporación de calor aplicado mediante secador, el cual aumentó la sobre manipulación de las muestras, afectando su estructuración con la presión de aire, perjudicando finalmente su reposo para la cohesión de compuestos.

Por último, tras el análisis de las variables trabajadas, se indica en tabla (nº1) las mejores versiones de paneles, seleccionando con color amarillo las pruebas de mejores resultados en cuanto a una buena composición de estructura del panel (correspondiente a los paneles 3, 8, 24 y 28), mientras que el color verde indica las mejores versiones de aligerados a las se logra llegar, mantenido esta condición de consistencia mínima para manipular (Paneles 4, 7 y 23)

Etapa 2: Proceso de aligerado

Se consulta normativa constructiva de materiales aislantes y livianos, y a falta de un parámetro que indique la fragilidad o el punto de ruptura de un panel ligero, se establecen límites constructivos con respecto a la manipulabilidad, para aplicarlo en la obtención de un panel transportable y manipulable en obra.

Se establece:

- El panel debe poder tomarse /trasladarse.
- Sostenerse en la pared, tras la aplicación de mortero de barro.
- Poder anclarlo mediante tornillos sin fracturarse.
- Ser un panel autoportante y trasportable, de carácter liviano.

Nota: Lo descrito se aplica en pruebas del formato mayor (15 x 15 cm) para poder testear si realmente el aligerado encontrado en los ensayos, permite realizar el trabajo establecido.

En base al análisis de variables, se trabaja la mejor versión obtenida en cuanto a: grano de fibra, estado humedad y secado, siendo ellos:

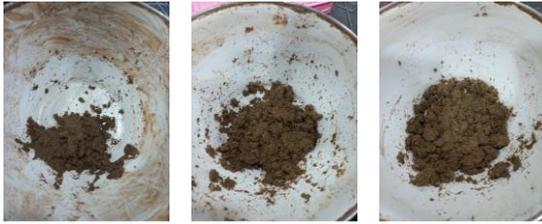
- Tamiz 0.5 mm
- 450 ml / Estado plástico (67% de humedad)
- Secado pasivo

Se desarrollan una serie de pruebas, con el objetivo de encontrar el límite de aligerado, tomando como antecedentes los valores obtenido en las pruebas anteriores, en las que se obtienen buenas prácticas en densidades inferiores a 290 Kg/m³. Se trabaja con compactación manual, en la cual se compacta hasta encontrar resistencia en la mezcla

Se realizan pruebas de forma ascendentes: aumentando fibra y utilizando el formato reducido 4 x 4 x 9 cm.

Nota: Las proporciones al igual que en el trabajo anterior, se hacen en relación al formato mayor, variando en esta ocasión la fibra y a la vez el agua, manteniendo el porcentaje de humedad de la mezcla.





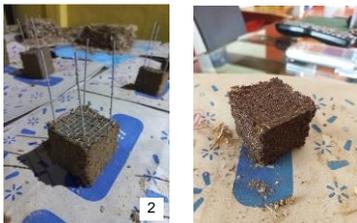
Figs. 54: Preparado de: muestra fina y grano polvillo, con 67% humedad

Obs: Como se va aumentando la variable fibra, se observa un aumento de mezcla, que conlleva a mayores secciones en altura del panel.

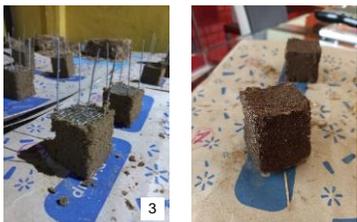
Paneles estudio de aligerado: (Figs. 55)



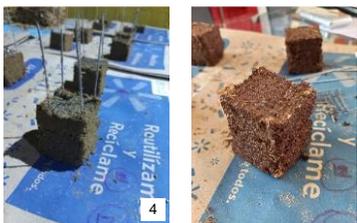
Se realizan paneles de manera controlada, realizado el total de pruebas, en distintos tiempos. Se van evaluando tras su secado para saber si se acerca el límite de aligerado, considerando en los resultados, la composición física del panel y peso final, calculando su densidad en kg/m^3 .



Se comienza la preparación de mezcla con: 7.1 g de tierra, 9 g de fibra, con 34,5 ml de agua. Aplicando secado pasivo.

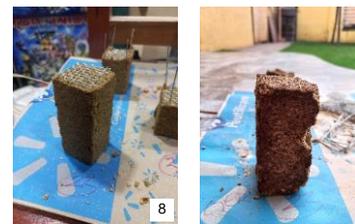
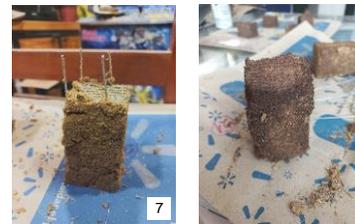
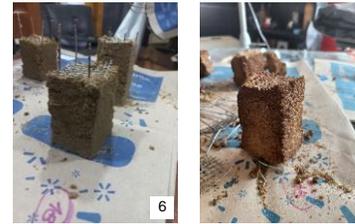
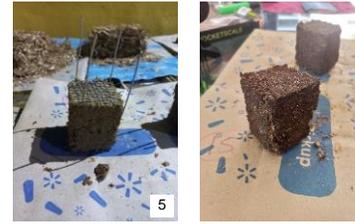


Obs: Las versiones más pequeñas logran un secado mucho más rápido que las secciones grande, pudiendo acortar los tiempos de producción.



Tras 4 días expuestos al sol se observan paneles consistentes y estables, de los cuales se identifican ciertas irregularidades mínimas en los bordes de las caras superiores, siendo producto del retiro de la contención.

Debido al aumento de fibra, se conforman cada vez secciones de mayor altura, llegando a utilizar al límite la capacidad del moldaje. En este punto del desarrollo, se dejan las muestras en reposo para su secado. Una vez secos, se evalúan los datos de peso y volumen, obteniendo densidades en promedio de 270 kg/m^3 , siendo buenos resultados en los aún se logra estructurar.



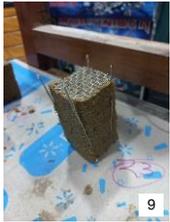
Obs: Al desmoldar las secciones mayores, se observan pequeños desprendimientos de mezclas en los bordes del panel, quedando pegado en el interior del molde. Además, la compactación se ven alteradas en las últimas pruebas, debido a que al presentar casi la altura del molde, el retiro se aprieta y se presiona en mayor grado, deformando los paneles y perjudicando sus resultados.

Luego de la obtención de densidades, al comparar resultados, se da cuenta que este dato varían irregularmente, habiendo poca diferencia de ellas, se entiende que el aligerado más allá de solo aumentar fibra o realizar preparados con una gran diferencia del material tierra/fibra, consta de una proporción de mezcla en la que la compactación del preparado es fundamental para los resultados de densidad ya que “más compacto, más denso”. Por ello para las últimas pruebas se realiza un molde de material ligero que permite abrirlo, sin tener que compactarlo más para el retiro de éste.

Nota: Se utiliza cartón pluma para el molde liviano, conteniéndolo mediante masking tape para luego poder abrirlo fácilmente.

Debido a lo descrito anteriormente, se cambian las proporciones de muestra reduciendo la cantidad de tierra y fibra, manteniendo el % de humedad en mezcla.

La superficie forrada del cartón, facilita el desprendimiento del panel. Además, debido al no desmoldar forzosamente se obtienen versiones más regulares en forma.



Obs: El ensayo 9, se rompe en el retiro de contención. Este presenta la menor densidad obtenida, de 193.1 kg/m³. presentando un rango en el que ya no es posible manipularlo.



Los últimos paneles realizados (ensayos del 8 al 12), poseen las menores densidades, siendo factor del grado de compactación.



Obs: Se observan comportamientos más débiles en los paneles inferiores a 223.7 kg/m³. En general se desprenden secciones de las zonas más delicada, como las aristas y puntas del cubo.

Los dos últimos paneles se hacen repitiendo las proporciones del preparado, utilizando: 2 g de fino, 15 g de fibra y 56.2 ml de agua, variando solo en la presión que se aplica para comprimir.



Ambos presentan densidades distintas, debido al volumen final del panel. Sin embargo, el que obtiene la mejor composición volumétrica corresponde al último aligerado, con una densidad de 244.7 kg/m³.

Tabla nº 2: Ensayos de aligerado (formato 4 x 4 cm)

Nº	Cant. Arcilla (g)	Cant. Fibra (g)	Cant. Agua (ml)	Espesor dado (cm)	Peso (g)	Densidad final (kg/m ³)
1	7.1 g	14.2 g	53.3 ml	4.2 cm	19.4 g	288.7 Kg/m ³
2	7.1 g	15 g	55.9 ml	4.2 cm	19.8 g	294.8 Kg/m ³
3	7.1 g	15.6 g	58.5 ml	4.8 cm	20.8 g	270.8 Kg/m ³
4	7.1 g	16.3 g	61.1 ml	4.8 cm	20.7 g	269.5 Kg/m ³
5	7.1 g	18.4 g	69 ml	5 cm	22.6 g	282.5 Kg/m ³
6	7.1 g	22.7 g	85.1 ml	6.2 cm	27.3 g	275.2 Kg/m ³
7	7.1 g	27 g	101.3 ml	7 cm	29.7 g	265.1 Kg/m ³
8	2 g	28.4 g	92.1 ml	8.9 cm	27.5 g	193.1 Kg/m ³
9	2 g	23 g	75.8 ml	7.8 cm	25.6 g	205.1 Kg/m ³
10	2 g	18 g	60.6 ml	5.7 cm	20.4 g	223.7 Kg/m ³
11	2 g	15 g	51.5 ml	4.8 cm	15.4 g	200.5 Kg/m ³
12	2 g	15 g	51.5 ml	3.8 cm	14.1 g	244.7 Kg/m ³

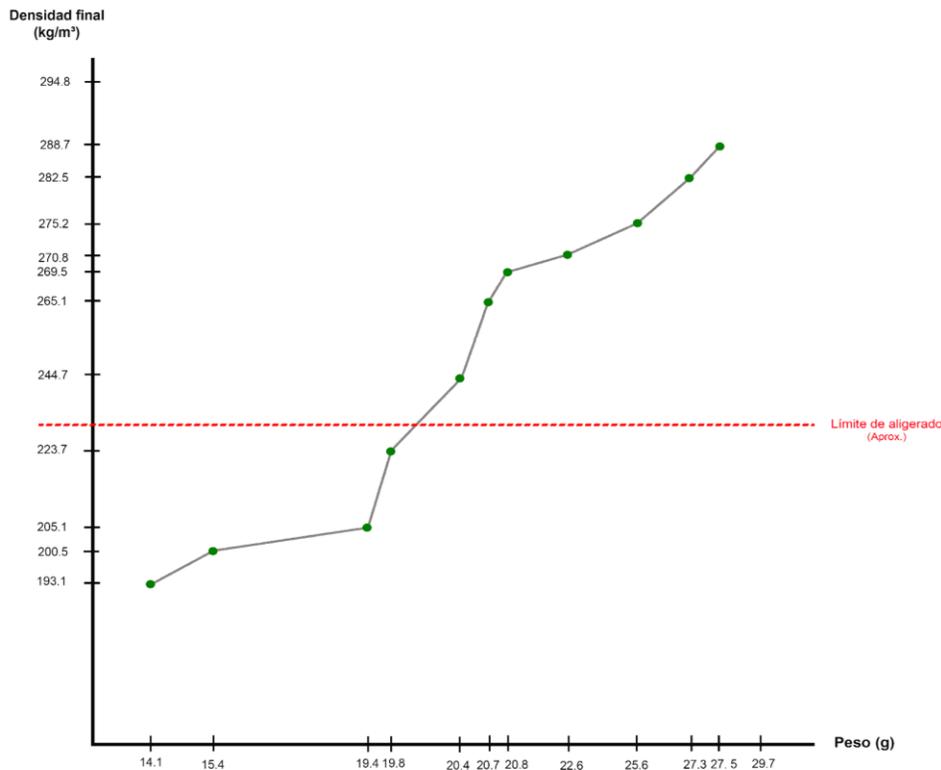


Fig. 56: Gráfico límite de aligerado.

8. Resultados

Tras el análisis de resultados, si bien no se haya la densidad exacta de aligerado posible, se establece un rango acotado de donde se encuentra el límite manipulable.

El mejor ensayo del proceso corresponde al último panel, con una densidad de 244.7 kg/m³, sobre esta, se observan comportamientos óptimos en torno a consistencia de preparado disecado. Por otro lado, se establece un rango en el que ya es deficiente, correspondiente al ensayo 11, con una densidad de 223.7 kg/m³. Aunque éste se logra estructurar al ser manipulado se desprenden pequeñas secciones, de las zonas más débiles, siendo frágil al tacto.

Considerando además las densidades obtenidas en los procesos anteriores, en la etapa 1 (análisis de variables) se obtienen paneles estables y ligeros,

consiguiendo una densidad mínima aplicable de 230 kg/m³. Acotando aún más el rango establecido.

Gracias a los dos moldes utilizados se pudieron obtener muestras más compactadas que otras, en la que se demostró la influencia de esta variable. Se entiende que el aligerado se relaciona directamente con la compactación aplicada, presentando diferencia en las mismas proporciones de preparados, solo por la variación de presión al comprimir la masa; en base a esto se obtienen diferentes densidades que establece relación de masa/ volumen, indicando cantidad de materia que hay en determinado espacio.

Si bien se obtienen buenas prácticas en el desarrollo del aligerado, si se quiere establecer un preparado de mezcla estandarizada, se debería indagar en las variables relativas del proceso, siendo: la tierra a utilizar, entorno a su contenido de arcilla, y la compactación, en la cual se debería incorporar algún elemento que permita regular la fuerza aplicada al comprimir, con el fin de poder replicar el preparado.

Finalmente, en el proceso de aligerado se obtiene un rango acotado entre las densidades de: 230 y 223 kg/m³, donde un panel liviano de tierra y paja es autoportante, siendo constructivamente útil.

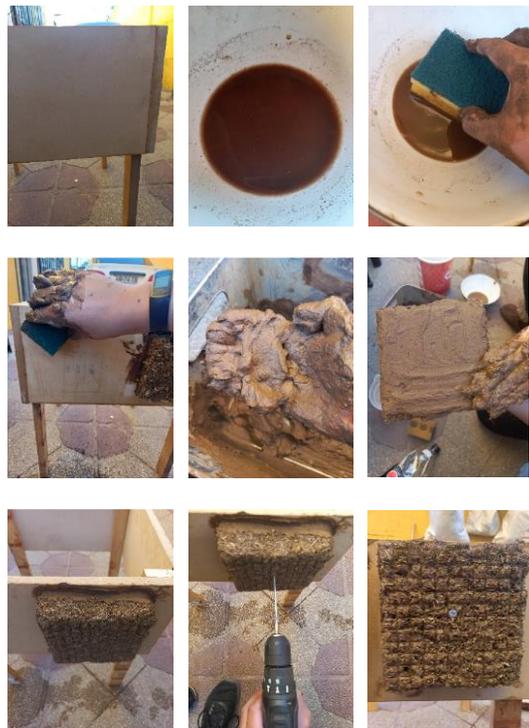
Etapa 3: Testeo mínima resistencia

Para evaluar el comportamiento del panel, se realizan muestras de tamaño 15 x 15 cm , realizando una prueba de aplicación en obra, empezando por la fabricación de los últimos paneles.

Implementos añadidos: (Figs. 57)



Desarrollo prueba: (Figs. 58)



Se realiza una prueba de montado en una superficie de madera, en la que aplica primero una mezcla líquida de acilla/agua mediante esponja, con el fin de generar un puente de adherencia en la área a trabajar.

Luego se procede a realizar un barro pastoso, el cual puede estabilizarse mediante los mismos áridos, o bien, con la incorporación de fibra. Para productos del ensayos se realiza con solo el árido fino, obteniendo un mortero de barro, el cual se le aplica al panel para luego pegarlo a la superficie previamente hidratada.

Finalmente para evitar un deslizamiento del panel, se aperna cuidadosamente.

Nota: En base a los buenos resultados del molde liviano para formato reducido, se realiza uno también para estas pruebas, realizando otro molde de 15 x 15 con cartón pluma.

Se realizan la prueba primero en las muestras obtenida del análisis de variables, utilizando los mejores paneles en densidad y consistencia siendo ellos, el ensayo 3 y 7.

Paneles testeados: (Figs. 59)



Obs: La mezcla pastosa posee una textura similar a la de pasta de cerámica, siendo algo espesa y pegajosa.

Aunque ni un panel requiera de apernado para poder sujetarse a la superficie, con el fin de probar su resistencia, se aplica para prueba de ensayo, la incorporación de un tornillo a la prueba más liviana (siendo de 230 kg/m³). Insertándolo cuidadosamente en el centro del formato. Obteniendo resultados positivos, ya que logra resistir sin fracturarse.

Debido a que la densidad final se relaciona a la fuerza comprimida, no se replica un producto exactamente igual a otro, conociendo la densidad del panel una vez seco, mediante la evaluación de su peso y volumen .Las nuevas pruebas desarrolladas cuenta con densidades de 228 y 240 kg/m³.

Tras una densidad inferior, se aplica nuevamente el apernado, observando buenos comportamientos, de los paneles obtenidos. Estos pueden ser finalmente manipulados, siendo trasportables y logrando ser aplicados para trabajo en obra.

Etapa 4: Comportamiento de la arcilla

Mediante la realización del método de centrifugado descrito en caracterización de tierra, se obtiene la porción de arcilla aislada del grano fino tamizado.

El ensayo al consistir en procesos de limpieza y decantación, trata principalmente de un desarrollo que involucra el uso del agua, por lo que el resultado próximo tras realizar el método, consta de una mezcla acuosa, en la que la partícula arcilla se encuentra en suspensión. Para la utilización de ésta, se deja secar naturalmente, donde se puede observar un descenso considerable de volumen obtenido. Consecutivo a esto se tritura las placas de arcilla unificada en un mortero, quedando finalmente un polvillo, el cual será utilizado para realizar paneles, identificando el comportamiento específico de la arcilla (en un tamaño inferior a 2 micras).

Implementos añadidos: (Figs. 60)

Mortero

Balanza de precisión



Nota: Debido al tamaño de la partícula trabajada, al ser tan fina, se utiliza una balanza de precisión, con el fin de poder evaluar en cantidades reducida el trabajo de ésta.

Se muelen las placas de arcilla, y se precisa su obtención mediante balanza, en la cual se obtiene una porción total de 26.6 g.



Obs: Al moler la arcilla, se observa destellos brillante en la superficie lisa de la placa, ésta posee una textura crocante, y una vez molido se convierte en un polvillo suave, tan fino que deja un rastro al tacto.

Tras el retiro de la arcilla, el envase queda teñido en ciertas partes, se intenta raspar toda zona manchada. Se utiliza un pincel para juntar los restos esparcidos en el recipiente y mortero.



Figs. 61: Proceso de molienda

Se utiliza 1071 g. de la muestra fina, de los que tras la aislación particular de la arcilla, se logra obtener 26.6 g; siendo el 2.5 % de lo utilizado inicialmente. Sin embargo si se considera el total general de la muestra, previo al tamizado, correspondiente a: piedras, arenas, limo y arcilla, se reduce considerablemente el porcentaje obtenido, ya que en solo la separación de porción fina de la tierra existe una reducción amplia del material útil.

Desarrollo:

Para la composición de mezclas se prueban distintas cantidades de arcilla, con la idea de identificar cuanto se requiere como mínimo para la consistencia óptima de un panel.



Obs: Existe una gran diferencia del producto utilizado, usando cantidades mínimas de arcilla. (min. 0.1g)

Figs. 62: Porción de materiales.



Figs. 63: Preparado.

Al ser tan pequeño el tamaño de la partícula, existe un polvillo que se suspende en el aire, también al entrar en contacto con el agua, parte de ella se dispersa fácilmente en el líquido, tiñendo el agua del color de la arcilla.

Paneles de arcilla: (Figs. 64)



Utilizando la cantidad mínima de arcilla posible de medir con los implementos utilizados, (0.1 g) se observa una buena consistencia, presentando la menor densidad de todos los paneles desarrollados, siendo de 196.6 kg/m³.



Todas las muestras desarrolladas poseen un carácter rígido y liviano, de textura ligosa.

Los dos últimos paneles se volaron durante el reposo al sol, al caerse en estado aun húmedo, se rompieron. Sin embargo, se infiere que de igual manera hubiesen funcionando, ya que la proporción más limite utilizada (correspondiente al ensayo 1) presentó buenos resultados.



De los pedazos que se encuentran se observa una composición interna con múltiples pequeñas unidades de fibra, sumamente juntas, siendo las responsables de la consistencia firme y ligera del producto.

Tabla nº3: Ensayos, comportamiento arcilla.

Nº	Cant. Arcilla (g)	Cant. Fibra (g)	Cant. Agua (ml)	Espesor dado (cm)	Peso (g)	Densidad final (kg/m ³)
1	0.1 g	15 g	45.8 ml	5.5 cm	17.3 g	196.6 Kg/m ³
2	0.5 g	15 g	47 ml	4.4 cm	14 g	198.8 Kg/m ³
3	1 g	15 g	48.5 ml	5.2 cm	17.8 g	213.9 Kg/m ³
4	2 g	15 g	51 ml	4.5 cm	15.5 g	215.3 Kg/m ³
5	3 g	15 g	54.5 ml
6	0.2 g	10 g	30.9 ml

8. Resultados

Los resultados de los ensayos con arcilla pura poseen mejores cualidades constructivas, siendo más regulares, estables y consistentes.

La efectividad del producto se ve potenciada en su estado limpio, funcionando en cantidades mínimas. Con el uso de solo 0.1 g. correspondiente al 0.2% en mezcla ya permite estructurar un panel.

Se cree que debido al tamaño de partícula que se trabaja, logra una mejor eficacia del carácter aglutinante de la arcilla, ya que el grano al ser tan pequeño posee un peso ínfimo que permite que, al contacto con el agua, flote y se disperse, actuado en toda mezcla líquida. De esta forma al juntarse con las múltiples unidades de fibra, se empapan de este aditivo, y son aglomerados mediante compactación para la obtención de un panel macizo/consistente.

Finalmente, se logra ver buenos resultados de la aislación de arcilla, cumpliendo con lo planteado en la hipótesis 2: El trabajo de la arcilla en estado puro, mejora el comportamiento del panel, permitiendo un mayor aligerado. Se infiere que al restar los componentes inertes (gravas, arenas y limos) en la porción de tierra, se logra trabajar con menor peso, y optimización del recurso.

Testeo de mínima resistencia: (Figs. 65)

Debido a la falta de tiempo, no se alcanza a fabricar una versión en el formato de 15 x 15 cm para probar su aplicación. A pesar de esto se testea una versión de 4 x 4 cm, con una densidad de 198.8 kg/m³ (prueba 2).

Al igual que el desarrollo descrito en el testeo de muestras, se realizan ambos preparados de mezclas (líquida y pastosa), para proceder a adherir el panel a la superficie mediante mortero de barro.



Al montarlo el panel queda fijo en la superficie, mostrando buenos resultados de la aplicación. Se establece otros posibles aligerados, siendo el mínimo de densidad probada de 198.8 kg/m³.

9. Conclusiones

En torno a la serie de resultados del desarrollo investigativo, se logra establecer cualidades de componentes en mezclas que actúan favorablemente en la fabricación del panel. Además de un rango acotado del límite de aligerado con densidades funcionales, cumpliendo los parámetros establecidos y obteniendo resultados positivos en ambas hipótesis planteadas.

Hipótesis 1: “La longitud de fibra, incide en la cantidad a utilizar, permitiendo mayor % de uso en paneles prefabricados, a fin de obtener un panel más ligero.”

La longitud de fibra sí incide en el preparado de mezcla, pero más bien aportando en la consistencia y estructuración final del panel. Se comprende que, para el trabajo de aligerado, en vez de responder a un constante aumento de fibra, consiste en un trabajo en base al volumen, relacionado directamente con la aplicación de compactación. Cuanto más compacto sea el panel, mayor será su densidad.

Debido a la caracterización generalizada de materiales aislantes, se intuye que a menor densidad, mejor será su capacidad de aislación, que vendría a ser la finalidad de la obtención de este producto. Dejando para investigaciones futuras una evaluación de capacidades térmicas que brinda el panel propuesto.

En base a lo planteado en la hipótesis 2: “El trabajo de la arcilla en estado puro, mejora el comportamiento del panel, permitiendo un mayor aligerado.” Resulta verdadera permitiendo establecer otro límite de aligerado, inferior al conseguido con la muestra fina trabajada (contenido: limo, arcilla, y materia orgánica). La arcilla en estado puro presenta mejoras tanto en la conformación física del panel, como en la obtención de densidad final. A pesar de las dificultades de la aislación de esta partícula específica, posibilita registrar buenas prácticas, siendo útil para el desarrollo de trabajos en tierra.

Los límites de aligerado obtenidos, se encuentran en densidades cercanas a 230 kg/m^3 , (fabricadas con muestra fina), pero si se trabaja con la arcilla limpia se observan productos viables en densidad aproximadas a 196 kg/m^3 , presentando en ambos desarrollos un aligerado con densidades bajas, con respecto al trabajo de tierra.

En la práctica de aligerado, se concluye que, uno de los factores más determinantes de la calidad de ligereza, corresponde al factor de la compactación, ya que al ser el encargado de aglomerar la mezcla, es el responsable de la densidad final del panel, es por ello, que en esta etapa del proceso, al trabajar manualmente la fuerza aplicada sin un rango de medición, hace una práctica poco precisa, presentando un área estudio en la cual se puede seguir indagando. Para avances futuros, se debería establecer alguna forma la medición de la magnitud a aplicar, detallando la práctica para una posible replicación del desarrollo.

Por otra parte, los proceso de secado cumplen un rol fundamental en la fabricación del panel, ya que la capacidad aglutinante de la arcilla, actúa al dosificar la mezcla. Durante la investigación se pudo observar mejores resultado de un secado pasivo, reflejado en la consistencia del panel. Asimismo el secado activo al requerir mayor manipulación en estado aun húmedo, se ven resultados desfavorecidos en cualidades de solidez. Además al presentar un secado demorado, el gasto energético de la aplicación del calor inducido, no rinde efectivamente para el producto generado.

Con los hallazgos obtenidos se puede avanzar en una alternativa ecológica, como elemento constructivo de material natural. Teniendo otra opción de producto ecológico con el que otorgar soluciones a la vivienda, mejorando el impacto negativo de los materiales aislantes. Permitiendo a su vez profundizar el estudio dirigido, indagando ya sea en procesos de análisis térmicos, o bien, en estandarización de muestras, permitiendo un amplio desarrollo exploratorio.

Agradecimientos

Mis agradecimientos al profesor Patricio Árias C. por guiarme en esta investigación, al profesor Santiago Maza por su disposición y ayuda en el área analítica investigativa, gracias a ambos por compartir su conocimiento sobre este material de construcción. A la facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, departamento de Geología, por permitirme utilizar sus dependencias y entregarme las herramientas para el desarrollo de este proyecto.

10. Referencias:

Informes y Tesis:

Árias P. Gómez F. 2019. Investigación, certificación y desarrollo sistema constructivo Terrapanel.

Catalán, R. (2018). Reinterpretación de una Tradición (Tesis de pregrado, Universidad Politécnica de Madrid, España). Recuperado de: <http://oa.upm.es/51489/>

COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE. (2010). Primer reporte del manejo de residuos sólidos en Chile. Recuperado de http://www.hidronor.cl/pdf/1_Primer_Reporte_del_Manejo_de_Residuos_S%C3%B3lidos_en_Chile

Farias J. 2022. Estudio de factores **térmicos** dinámicos en cerramientos de tierra cruda. Seminario de investigación. Facultad de arquitectura y urbanismo, Universidad de Chile.

García-Ten, J. & Silva, G. Utilización de materiales aligerantes en la fabricación de bloques de Termoarcilla. Influencia sobre la conductividad térmica y el comportamiento en el proceso. Recuperado de: <http://conarquitectura.com/articulos%20tecnicos%20pdf/16.pdf>

Moore, DM y Reynolds, RC (1997) Difracción de rayos X e identificación y análisis de minerales arcillosos. Segunda edición, Oxford University Press, Nueva York.

Quintero G., S.L. Evaluación del uso de la estopa de coco (Cocos nucifera), obtenida como residuo de la industria alimenticia en el Valle del Cauca, para la elaboración de elementos prefabricados de concreto aligerado.

Rodríguez, M. et al. (2001). Introducción a la arquitectura bioclimática. México D.F.: LIMUSA, UAM Azcapotzalco

SANDOVAL, E. y BOCANEGRA, R.A., Análisis del comportamiento mecánico del concreto fibro reforzado. Tesis (Ingeniero Civil). Universidad del Valle. Santiago de Cali, 1997. 156 p.

Tello A. 2020, Análisis crítico del sistema constructivo Terra-Panel como una opción de producción sustentable. Seminario de investigación. Facultad de arquitectura y urbanismo, Universidad de Chile. Recuperado de: https://bibliotecadigital.uchile.cl/discovery/search?vid=56UDC_INST:56UDC_I_NST

Vasquez I. 2022. Impermeabilidad de la tierra bajo condiciones pluviométricas extremas. Estudio de granulometría y estabilizadores. Seminario de investigación. Facultad de arquitectura y urbanismo, Universidad de Chile.

Vista de Morteros aligerados con arcilla expandida: influencia de la granulometría y la adición de fibras de vidrio AR en el comportamiento mecánico. (s. f.).

Wieser, M.; Onnis, S.; Meli, G. (2018). Conductividad térmica de la tierra alivianada con fibras naturales en paneles de quincha. 18° Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra, La Antigua Guatemala, Guatemala: USAC-CII/ PROTERRA. p. 199-208

Libros en versión electrónica

Azqueda P. 2014. Manual práctico del aislamiento térmico de la construcción. AAPE. Recuperado de: <http://www.anape.es/pdf/Manual%20de%20Aligeramiento.pdf>

Craterre. (1990). Construir con tierra. Tomo I y II. Bogotá: Fondo Rotatorio Editorial Tecnología apropiada y participación comunitaria Enda América Latina.

Guerrero Baca, Luis Fernando. (2007). Arquitectura en tierra: Hacia la recuperación de una cultura constructiva. Revista de Estudios sobre Patrimonio Cultural - Journal of Cultural Heritage Studies, 20(2), 182-201.

Minke, G. (1994 y 2004). Manual de construcción en tierra. Recuperado de: <http://permaconstruccion.org/wp-content/uploads/2017/06/Manual-Construccion-En-Tierra-Minke.pdf>

MINVU (2018). Estándares de construcción sustentable para viviendas de Chile. Recuperado de <https://csustentable.minvu.gob.cl/estandares-cs/>

MINVU., PROTERRA., Universidad del Bio-Bio, Universidad de Concepción. (2017). Construcción en quincha liviana, Sistemas constructivos sustentables de reinterpretación patrimonial. Recuperado de: https://csustentable.minvu.gob.cl/wp-content/uploads/2020/03/CONSTRUCCION_CON_QUINCHA_LIVIANA_1a_edicion.pdf

Placitelli C. 2021. Sistema constructivo BTA: Aplicación de la prefabricación a la bioconstrucción. Recuperado de: https://www.academia.edu/31245382/SISTEMA_CONSTRUCTIVO_BTA_APLICACION_DE_LA_PREFABRICACION_A_LA_BIOCONSTRUCCION

Protterra. 2003. Técnicas Mixtas de Construcción con Tierra. Recuperado de: https://www.academia.edu/35702016/Tecnicas_Mixtas_de_Construccion_con_Tierra

Protterra, R., Neves, C., Faria, O. & Rotondaro, R. (2018, 20 enero). Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra. Prácticas de campo. Recuperado de: https://www.academia.edu/35702152/Seleccion_de_suelos_y_mtodos_de_control_en_la_construccion_con_tierra_Practicas_de_campo

Páginas web:

Definiciones | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (S. f.). Recuperado de: <https://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>

Una guía práctica. (2022). COTECNO | Equipamiento Científico | Prospecciones, Geofísica, Ingeniería

Otras investigaciones revisada:

Angulo D. Jimenez C. 2016. Mampuesto aligerado con plástico triturado tipo lego. Bogotá. Universidad la gran Colombia Tecnología en construcciones arquitectónicas, proyecto de grado. Recuperado de: <https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/4018/Monografia%20final.pdf?sequence=1>

Gómez D., Saavedra J. 2018. Estudio del uso de plástico reciclable en casetones para placas de entepiso aligeradas. Bogotá, Universidad la gran Colombia, Facultad de Ingeniería civil, departamento de investigación. Recuperado de: https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5311/Estudio_plastico_reciclable_casetones_entepiso.pdf?sequence=1

Ortiz D. 2019. Efectos de la incorporación de cuatro porcentajes (2.5%, 5%, 7.5% y 10%) de estiércol de caballo en la resistencia a la compresión y flexión del adobe. Peru. Universidad privada del Norte. Recuperado de: <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/14779/Ortiz%20Zamora%20Doris%20Yveth.pdf?sequence=5>

Hurtado O. Cárdenas J. 2017. Aligerantes de losas y entepisos a base de materiales ecológicos. Colombia. SENA - C.I.E.S. Universidad Francisco de Paula Santander. Recuperado de: <https://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2018mexico/18XIVCIATTI2017.pdf>

Vargas J. 2013. La tierra como material de construcción: Componentes relevantes del suelo, Selección de canteras, Pruebas de campo. Seminario de investigación. Facultad de arquitectura y urbanismo, Pontificia Universidad Católica de Puerto Rico. Recuperado de: https://issuu.com/arqtierra/docs/tierra_material_de_construccion_n_29/1

Carazas W. . 2002. BAHAREQUE: GUÍA DE CONSTRUCCIÓN PARA SÍSMICA. CRATerre. Recuperado de https://www.misereor.org/fileadmin/user_upload_misereororg/cooperation/formulario/es/construction/guia-de-construccion-bahareque-parasismica.pdf

11. Anexo:



Informe nº 1

“Estudio mineralógico de preparados de la fracción arcilla mediante Difracción de Rayos X (DRX) del proyecto Arquitectura”

Estudio solicitado por Paulina Paz Salazar y Patricio Arias

21 de noviembre de 2022

Dr. Diego Morata Céspedes
Dr. Santiago N. Maza

Centro de Excelencia en Geotermia de Los Andes (CEGA)
Departamento de Geología
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile
Plaza Ercilla 803, Santiago, Chile
Teléfono: (56-2) 29784885
<http://www.cega.ing.uchile.cl/>



Índice

1. Introducción y objetivo del estudio.....	2
2. Naturaleza de las muestras y metodologías analíticas.....	2
3. Resultados	4
3.1 Preparados Fracción Arcilla.....	4
4. Conclusiones	6

1. Introducción y objetivo del estudio

El presente estudio fue solicitado por el Patricia Paz Salazar y Patricio Arias de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Chile, quien entregó el 24 de octubre del 2022 al Centro de Excelencia en Geotermia de los Andes (CEGA) una (1) muestra perteneciente al proyecto Arquitectura para realizar estudios mineralógicos de preparados de la fracción arcilla mediante Difracción de Rayos-X (DRX). Este estudio se realiza en el laboratorio de arcillas del Centro de Excelencia en Geotermia de los Andes (CEGA), usando el equipo de DRX del centro.

2. Naturaleza de las muestras y metodologías analíticas

La muestra estudiada está constituida de material sólido del tamaño limo (malla 200) de color marrón. Su aspecto macroscópico corresponde a material de grano fino.

Código de origen	Muestra
Muestra: Arquitectura	M:Arquitectura



Figura 1. Aspecto de la muestra M: Arquitectura luego de su montaje para generar preparados orientados.

2

A fin de conocer la composición mineralógica de la muestra recibida, se procedió a su estudio realizando un preparado de la fracción arcilla mediante la técnica de Difracción de rayos-X (DRX).

Para la separación de la fracción arcilla se siguió la metodología modificada propuesta por Moore y Reynolds 1997 (Figura 2). La misma consistió en realizar:

1) Test de carbonatos con HCl y materia orgánica con H₂O₂, que actúan como cemento o aglutinante para formar agregados de arcillas. Se bien se identificó una escasa cantidad de carbonatos y abundante presencia de materia orgánica, la muestra presentaba abundante presencia de arcillas por lo que se continuó con el siguiente paso.

2) Se colocó en un *beaker* 25 gr de muestra y se le añadió 250 ml de agua ultrapura. Posteriormente se colocó 25 mg del dispersante metahexafluorato de Na con el fin de neutralizar las cargas de bordes de las partículas de arcillas.

3) Se procedió al disgregado de las partículas de arcillas que se encuentren como agregados o unido a otros minerales. La solución de la muestra en el *beaker* fue revuelta en un plato magnético durante 10 min. Posteriormente se llevó al *beaker* a ultrasonido durante 10 min.

4) Separación de la fracción arcilla, la que se realizó mediante centrifuga con un tiempo de 26 s y en tubos de centrifuga de 45 ml (Figura 2A).

5) La solución obtenida <2 μm se montó en vidrios de sílice para generar preparados orientados secado al aire (Figura 2B y C). Posteriormente, los vidrios con precipitados de arcillas fueron introducidos en un desecador donde fueron expuestos a una atmósfera de etilenglicol en una estufa a 50 °C durante 6 hrs (Figura 2D) y finalmente preparados calentados a 500 °C por 1 hrs. Se utilizó el mismo equipo Bruker D2 PHASER (CEGA, Universidad de Chile), trabajando a 30kV/10mA entre los ángulos 2° y 40° 2θ (tamaño de paso: 0,006; tiempo de paso: 0,95s), como condiciones analíticas. Los difractogramas generados fueron identificados siguiendo las recomendaciones de Moore y Reynolds (1997).

Los resultados de las fases minerales presentes están resumidos en la Tabla 1.

3

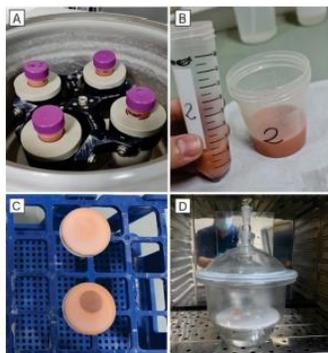


Figura 2. Imágenes correspondientes al proceso de separación de la fracción arcilla. A) Tubo de centrifuga pronto a la separación. B) Fracción arcilla ubicada en el frasco de plástico, en el fondo del tubo de centrifuga se puede observar la fracción mayor a dos micras. C) Preparados orientados de la fracción arcilla secados al aire (normal). D) Vidrio con arcillas en el desecador para ser sometidos a una atmósfera de etilenglicol la cual permite discriminar los minerales expansibles.

3. Resultados

Se presentan a continuación los resultados analíticos del presente estudio.

3.1 Preparados Fracción Arcilla

Tabla 1. Minerales identificados mediante DRX en preparados de la fracción arcilla.

Muestras		M:Arquitectura	
Vermiculita	Ver	$Mg_{1-x}(Mg,Fe,Al)_x(Si,Al)_3O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O$	+++
Illita	Illt	$(K)(Al, Mg, Fe)_2(Si, Al)_4O_{10}$	+
Mica/Vermiculita	Mica/Ver	$(K)(Al, Mg, Fe)_2(Si, Al)_4O_{10}/Mg_{1-x}(Mg,Fe,Al)_x(Si,Al)_3O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O$	++
Otros	Qz	SiO_2	+

4

La identificación de los minerales de arcilla se facilita enormemente si la fracción de tamaño arcilla es separada de la roca, dado que se reduce la proporción de minerales no-arcillosos.

En el diagrama de preparado orientado normal (secado al aire) se identificaron tres peaks ubicados a los $\sim 14.1 \text{ \AA}$; 7.2 \AA y 3.58 \AA , que no presentan modificaciones en el diagrama de etilenglicol, y se produce el colapso en el diagrama calentado, siendo diagnósticos de la presencia de vermiculita. Además, en el diagrama calentado se identifica un peak a 10.0 \AA ; 5.0 \AA y 3.33 \AA , lo cual es característico de illita, que debido a la alta proporción de vermiculita su señal es débil en los diagramas normal y glicolado. La presencia del ancho peak a los $12-14 \text{ \AA}$ que tiene un débil o aparente desplazamiento en el diagrama glicolado es interpretado como un interestratificado de mica con vermiculita.

Un mineral identificado, y no perteneciente al grupo de las arcillas, fue el cuarzo por su peak a 3.34 \AA .

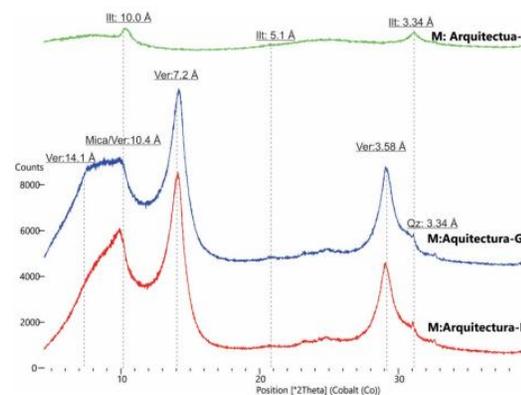


Figura 3. Diagramas de DRX de la fracción arcilla de los preparados secados al aire (N), tratados con etilenglicol (G) y calentados (C). Ver: vermiculita; Illt: illita; Mica/Ver: mica(vermiculita); Qz: cuarzo.

5

4. Conclusiones

A partir de los análisis DRX, se puede determinar la mineralogía de las muestras pertenecientes al proyecto Arquitectura, cuya composición consiste de vermiculita, un interstratificado mica/vermiculita e illita.



Dr. Diego Morata Céspedes (Geólogo PhD)
Director Centro de Excelencia en Geotermia de los Andes