

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
DEPARTAMENTO DE ARQUITECTURA

VALPARAISO – CHILE



“Panel SIP/Cortafuego a Base de Estuco en Tierra”

LEONARDO RÁMON CASTILLO GUERRA

MEMORIA DE TITULACION PARA OPTAR AL TITULO DE ARQUITECTO

Modalidad de investigación: I+D – Idea + Desarrollo

PROFESOR REFERENTE: LUIS PABLO BARROS LAFUENTE

Profesor Co-referente: PEDRO SERRANO

Enero 2013

“Material de referencia, su uso no involucra responsabilidad del autor o de la Institución”

1. AGRADECIMIENTOS

En estos largos años de trabajo y por sobre todo sacrificio, no puedo dejar de agradecer a Pablo Barros, Pedro Serrano, Francisco Valdez, Gustavo Sarabia y Fernando Hammersley, quienes me apoyaron y dieron oportunidades en la carrera que terminaron siendo lecciones de vida.

Julia, Tato, Claudia, Paulina, Felipe, los amo con toda la fuerza de mi corazón. Sin su cariño y ánimos, no podría haber sido quien soy ahora y muy por encima de todos los esfuerzos realizados, mi felicidad y lo que soy en este momento es gracias a ustedes (Mi Guille te amo).

2. RESUMEN

La situación actual en las quebradas de Valparaíso y las grandes pérdidas provocadas por incendios en los últimos años deja en evidencia la falta de iniciativas por parte de la comunidad y entidades gubernamentales en mitigar de forma concreta, sistemática y operativa, la precaria situación de viviendas en zonas de riesgo de la comuna. La falta de recursos constituye un factor importante en la resolución de actividades que ayuden a evitar el inicio o propagación de un incendio, pero la falta de creatividad en buscar soluciones simples y económicas, o la exploración de nuevos materiales, deja a la deriva a viviendas en situación de riesgo en las quebradas de Valparaíso.

De tal manera que esta investigación busca aportar y desarrollar un sistema constructivo a base de **Paneles SIP** estucados en tierra para una vivienda básica en quebradas, capaces de resistir altas temperaturas generadas por incendios de distinta índole (Forestales, Particulares, Catástrofes Naturales, Etc.). Indagando sistemas constructivos actuales, que permitan generar nuevas configuraciones, reciclando o economizando de estos mismos elementos, aportando con un sistema liviano, económico y ecológico para las viviendas en riesgo de incendio.

La metodología de investigación se constituye en dos etapas, la primera parte analiza el **Marco teórico** actual en Chile de sistemas constructivos existentes de forma natural y en el mercado, observando materialidades con cualidades ignífugas en elementos cotidianos como también el marco legal regulador de sistemas constructivos, a fin de comparar sus cualidades y variables económicas. Se investiga además casos particulares de viviendas incendiadas en Valparaíso, analizando características específicas de materiales resistentes al fuego como también variables del lugar.

En segundo lugar, el **Marco Práctico** plantea en primera instancia un ensayo no oficial o artesanal de resistencia al fuego, sujeto bajo las condiciones de la Norma Chilena NCH 935-1 actual, aplicado a la utilización de Tierra o Suelo Refinado como material ignífugo de ensayo. Y en segundo lugar plantea la aplicación de este material como revestimiento natural ignífugo reutilizable, sustentado en la necesidad desarrollar un sistema constructivo de rápido armado, reutilizado o reciclado y resistente al fuego.

3. ABSTRACT

The current situation in the valleys of Valparaíso and the large losses caused by fires in recent years shows the lack of initiatives by the community and government entities to mitigate in a concrete, systematic and operational manner, the precarious housing situation in risk areas of the commune. Lack of resources is an important factor in the resolution of activities that help prevent the start or spread of a fire, but the lack of creativity in finding simple and inexpensive solutions, or the exploration of new materials, leaves homes drifting at risk in the valleys of Valparaíso.

In such a way that this research seeks to contribute and develop a constructive system based on **SIP Panels** coated on land for a basic dwelling in streams, capable of withstanding high temperatures generated by different kinds of fires (Forestry, Private, Natural Catastrophes, Etc.) . Inquiring current constructive systems, that allow to generate new configurations, recycling or economizing of these same elements, contributing with a light, economic and ecological system for homes at risk of fire.

The research methodology is constituted in two stages, the first part analyzes the current **theoretical framework** in Chile of existing constructive systems in a natural way and in the market, observing materialities with fireproof qualities in everyday elements as well as the regulatory legal framework of constructive systems, in order to compare their qualities and economic variables. It also investigates particular cases of homes burned in Valparaíso, analyzing specific characteristics of fire resistant materials as well as local variables.

Secondly, the **Practical Framework** proposes in the first instance an unofficial or artisan fire resistance test, subject to the conditions of the current Chilean Standard NCH 935-1, applied to the use of Earth or Refined Soil as fireproof test material . And secondly, it proposes the application of this material as a reusable fireproof natural coating, based on the need to develop a construction system that is quick to assemble, reused or recycled and resistant to fire.

4. Glosario

“O.G.U.C.”: Ordenanza General de Urbanismo y Construcción, normativa general vigente que regula la industria de la Construcción en Chile.

"Elemento de estructura": todo elemento resistente u orgánico de una construcción, como cimientos, muros soportantes, suelos, pilares, techumbres, torres y otros análogos.

“Espesor de un muro”: la dimensión de la sección de un muro, medida en forma transversal al plano de éste.

“Muro cortafuego”: el que cumple con la resistencia al fuego requerida según el caso, de acuerdo con el artículo 4.3.3. de la O.G.U.C.

"Muro divisorio": el que separa dos propiedades distintas.

"Muro exterior": el que limita exteriormente un edificio.

“Muro soportante”: aquél que forma parte de la estructura de un edificio y resiste una carga determinada, además de su propio peso.

“Tabique no soportante”: elemento vertical de separación no estructural

"Tabique soportante": el que debe resistir cualquier carga, además de su propio peso.

“Norma técnica”: normativa elaborada por el Instituto Nacional de Normalización (INN).

“Vivienda”: edificación o unidad destinada al uso habitacional.

“Revoque”: revestimiento de muro en base a un aglomerante y material arido, ejemplo, mortero cemento + arena + agua.

“Adobe”: Masa de barro en forma de ladrillo, secada al aire.

“Aglomerante”: Materiales aglomerantes son los que tienen la propiedad de adherirse unos a otros, usados en la construcción para unir materiales, recubrirlos o bien para formar morteros u hormigones que pueden extenderse o disponerse en moldes, encofrados, que al secarse adquieren el estado sólido.

“Arcilla”: Roca sedimentaria formada por silicatos de aluminio que adquiere plasticidad al mezclarse con agua. Por el contrario, sometida a altas temperaturas, la arcilla se deshidrata y, por tanto, se contrae y endurece.

“Absorción de agua”: Es una medida de la porosidad abierta de una pieza de cerámica, y el porcentaje de agua en peso que puede absorber una pieza cerámica.

“Adherencia”: Capacidad del material de agarre para fijar la baldosa a un determinado soporte. Puede ser de dos tipos:

- Adherencia química: se produce cuando entre dos materiales se desarrollan uniones por contacto.
- Adherencia mecánica: es originada por la penetración y endurecimiento del cemento en el interior de los poros del soporte y la baldosa.

“Cemento”: Mezcla calcinada de piedra calcárea, arcilla y otras sustancias molida hasta obtener una textura muy fina. Es un material hidráulico que posee la propiedad de endurecerse al entrar en contacto con el agua, siendo el aglomerante más usado en construcción. Según su composición y procedimiento de fabricación se obtienen diversos tipos de cemento.

“Estuco”: Material preparado con tiza, aceite de linaza y cola que se aplica espeso como revestimiento decorativo que, una vez endurecido, puede labrarse, pintarse o dorarse.

Índice

1.	AGRADECIMIENTOS.....	3
2.	RESUMEN	5
3.	ABSTRACT	7
4.	Glosario	9
5.	Índice	11
6.	El Problema	15
7.	Los Incendios en la Actualidad	17
8.	¿Qué es una “Catástrofe” para la Sociedad?	17
9.	¿A qué se deben las Catástrofes?	19
9.1	Naturales	19
8.2.	Humanas.....	21
I.	Bélicas:.....	21
II.	Antropomórficas:	22
10.	Los Incendios en la Actualidad	23
11.	Objetivo	23
12.	Casos de Observación	24
12.1	Cerro Barón	25
12.2	Cerro Mariposa.....	26
12.3	Cerro Placeres	27
13.	Materiales	28
13.1	Albañilerías y Pavimentos	28
14.	Revestimientos.....	29
15.	Metales.....	30
16.	Estado del Arte	31

16.1	Etapas de un incendio	31
17.	Resistencia al Fuego (RF).....	32
18.	Los ensayos RF.....	33
19.	Muro Cortafuego.....	33
I.	Muros Solidos.....	35
II.	Muros Aglomerados.....	35
III.	Revestimientos.....	35
20.	Ensayo de Resistencia al Fuego.....	37
20.1	Ensayo de Horno	37
20.2	Ensayo para Materiales Homogéneos.....	38
21.	Procedimiento de Ensayo.....	38
22.	Confección de Probetas	41
a)	Máquina de Probetas	41
23.	Secado de muestras	42
24.	Tierra Refinada – Sistema de Harneado Manual	43
24.1	Material Optimo para Aplicación	44
25.	Uso de Aditivos.....	44
26.	Formulación de Hipótesis.....	45
27.	Metodología de trabajo y Ensayos.....	46
28.	Resultado de Ensayos.....	47
28.1	Ensayos de Tierra + Agua	48
27.2	Tierra + Arcilla Refractaria + Agua.....	50
28.2	Tierra + Cemento + Agua.....	52
29.	Resúmenes de ensayos	54
30.	Panel SIP / Panel Sándwich	55

31.	Ensayos en Panel SIP	57
31.1	Secado y ensayo de Probetas.....	58
32.	Rendimientos	60
32.1	Valor m ² Construido	60
32.2	Rendimientos m ² Mano de Obra.....	60
32.3	Rendimiento Categorías / Resistencias al Fuego	61
33.	Prototipos Albañilería en Panel SIP + Tierra.....	62
33.1	Modelos de Albañilería	63
34.	Conclusiones.....	69
35.	Bibliografía	71
36.	Anexos	73

5. El Problema

Las continuas catástrofes a las que está habituado nuestro en el corto, mediano y largo plazo los últimos 100 años, ha constituido un crecimiento focal constante en la mayoría de las principales ciudades de cada región. Valparaíso, como principal ciudad en observación, no ha estado exenta de este crecimiento, convirtiéndose en unos de los principales puntos de observación a los comportamientos catastróficos ocurridos en las ultimas 4 décadas.

Este desarrollo de límites habitables en Valparaíso se debe principalmente a las osadías del porteño, que se toma forzosamente quebradas o laderas cercanas a un área urbanizada para construir sus viviendas, sin poseer la cercanía mínima de servicios básicos (Redes sanitarias y electricidad, accesibilidad, servicios municipales y de emergencia), conformando un riesgo inminente para ellos mismos y sus cercanos. Esto obliga a cualquier Municipalidad extender su límites urbanos, priorizando las zonas que se puedan ver más afectadas, del cual Valparaíso adquiere protagonismo al poseer la mayor cantidad de **“tomas”** de todo el País el año 2012-2013.

Las últimas catástrofes del país demuestran la capacidad de actuación logística y material para acudir en ayuda de las familias que han perdido todo, pero con la premisa de **“Reaccionar después de haber ocurrido un desastre”**. Todas las tecnologías existentes aplicadas en nuestro país son implementadas posteriormente ocurrido una catástrofe, exponiendo la falta de cultura social y material en los sectores más bajos, entregando recursos básicos como **“Viviendas de Emergencia o Medias Aguas”** a la espera de una solución definitiva y que en el mayor de los casos tarda en llegar.

En la espera de adquirir una solución habitacional después de ocurrido un desastre, según el departamento de Operaciones de la Municipalidad de Valparaíso, existe entre un 10 a 25% de familias que no pueden acceder a las alternativas de viviendas o financiamiento para reconstrucción. Esto obliga a que muchos de los afectados tengan que hacer de su ayuda transitoria su opción definitiva, siendo o no propietarios de terrenos, transformando las Viviendas de Emergencia en su Vivienda definitiva.

Todos estos factores sociales, además de los geográficos y materialidad de viviendas, obligan a **“desarrollar alternativas constructivas para quienes no puedan acceder a viviendas con mejor calidad de material, si visualizar los riesgos de los distintos tipos de desastres, recurriendo a un sinfín de elementos reciclados que solventan la necesidad material”** para mejorar la habitabilidad de una vivienda sin observar el foco de peligro que pueda ocasionar.

En este documento se dará énfasis al estudio de materiales económicos y reutilizables resistentes al fuego, motivado principalmente por el nivel de destrucción de viviendas y la constante propagación que se ha presentado en la ciudad de Valparaíso y la V Región.

6. Los Incendios en la Actualidad

La situación actual de las quebradas de Valparaíso y las grandes pérdidas provocadas por incendios en los últimos años deja en evidencia la falta de iniciativas por parte de la comunidad y entidades gubernamentales en mitigar de forma concreta, sistemática y operativa, la precaria situación de viviendas en zonas de riesgo de la comuna. La falta de recursos constituye un factor importante en la resolución de actividades que ayuden a evitar el inicio o propagación de un incendio, pero la falta de creatividad en buscar soluciones simples y económicas, o la exploración de nuevos materiales, deja a la deriva a viviendas de riesgo en las quebradas de Valparaíso.

7. ¿Qué es una “Catástrofe” para la Sociedad?

Por definición, **Catástrofe o Desastre**, *“es un acontecimiento natural o provocado por el ser humano que influye negativamente a la vida en general, desarrollando cambios permanentes en la sociedad y medio ambiente. Una catástrofe es un suceso que tiene consecuencias terribles, manifestando la fragilidad de sobrevivencia y prosperidad de una sociedad”*.

En la actualidad, para la sociedad chilena, esta definición no carece de sentido, manifestando la capacidad ciudadana de entregar ayuda a quien lo necesita, pues Chile se caracteriza por ser un país solidario. Esta actitud se traspa a todos los niveles sociales y corporativos, contradiciendo la realidad posterior al evento, donde las políticas actuales no regulan en profundidad estos eventos o solo se desarrollan en la medida que van sucediendo las cosas (*efecto domino*). Ejemplo de ello, es la realidad de los sectores más bajos, ya que, en Valparaíso, la actitud temeraria de habitar lugares a veces insospechados, prestando atención a los riesgos después de ocurrido un desastre. Se puede analizar, prevenir y educar un desastre según su línea de tiempo y el conocimiento que se tenga sobre él. El grafico siguiente muestra el modelo teórico ideal que se debería seguir a contar las experiencias catastróficas categorizadas en el tiempo, conformando un modelo circular que se retroalimenta en sus distintos niveles (Figura 1).

ANTES: son las etapas de análisis, prevención y educación identificada una amenaza o sucedida una tragedia.

DURANTE: es la catástrofe en sí, alimentada por la alerta temprana o inmediata de la emergencia e informa los pasos a seguir para su asistencia.

DESPUES: son las etapas superadas las emergencias, añade experiencias y análisis, complementando las etapas anteriores.



(Figura 1 – Modelo Teórico Respuestas y Desastre)

En la práctica, el modelo anterior es llevado de tal forma pues en Chile la reacción es tardía y se actúa a medida que se desarrolla el desastre. Las etapas de **EDUCACION, PREVENCION, MITIGACION Y PREPARACION** quedan en segundo plano, ya que se prioriza la respuesta inmediata a las necesidades sociales a corto plazo y no la relación del desastre con la ciudadanía a largo plazo (Figura 2).



(Figura 2 – Modelo Práctico Teórico Respuestas y Desastre)

Generar procesos de investigación en la aplicación de nuevas tecnologías y materiales para mejorar la calidad de vida de las personas se sustenta en estas 4 etapas, informadas por la categoría del desastre en viviendas se puede determinar las soluciones a implementar o la temprana identificación de riesgos que permitan mitigar cualquier eventualidad, estableciendo parámetros de aplicación de materiales, protocolos de aplicación y trabajo de ayuda temprana. Finalmente, los usuarios son beneficiados con **EDUCACION**, apreciando un abanico de soluciones constructivas y tipos de materiales capaces de enfrentar distintas situaciones de riesgo, retroalimentando el modelo actual (Figura 3).



(Figura 3 – Modelo de Educación Ciudadana)

8. ¿A qué se deben las Catástrofes?

Se debe principalmente a dos VARIABLES:

8.1 Naturales

Son todos los acontecimientos que, a causa de factores de la naturaleza, ambientales, geográficos, etc., provocan alteraciones medioambientales o a una población determinada de habitantes, las que podemos clasificar en:

Variables Hídricas: eventos provocados por elementos líquidos (agua), tales como: ALUVIONES, CRECIDAS DE RIO, TSUNAMIS, MAREMOTOS, HUNDIMIENTOS POR NAPAS FREATICAS, TROMBAS MARINAS, TEMPORALES MARITIMOS, etc.



Variables Terrestres: catástrofes provocadas en tierra, como: TERREMOTOS, COLAPSO DE TERRENOS, INCENDIOS NATURALES, ERUPCIONES VOLCANICAS CON DESPRENDIMIENTO DE LAVA, etc.



Variables Mixtas: desastres provocado por la mezcla de condiciones climáticas, geográficas, hídricas, como: TORMENTAS ELECTRICAS, INCENDIOS FORESTALES, ALUVIONES DE TIERRA, etc.



"Las catástrofes naturales más frecuentes en Chile son los TERREMOTOS, CONTAMINACION POR CENICAS VOLCANICAS, TEMPORALES MARITIMOS e INCENDIOS FORESTALES; Valparaíso, no está exento de desastres naturales, los que afectan en gran medida a la población porteña, acentuado por su condición geográfica y climática."

8.2. Humanas

Son aquellas catástrofes en las que interviene la mano del hombre intencional o accidentalmente, clasificándolas en dos grandes categorías:

I. Bélicas:

Son aquellos desastres con intención destructiva por parte del hombre, caracterizado por armas y violencia, por ejemplo, ATAQUES TERRORISTAS, GUERRA, BOMBAS ATOMICAS, etc.



II. **Antropomórficas:**

Aquellos desastres ocasionados por el hombre, directa o indirectamente como, por ejemplo: INCENDIOS FORESTALES, COLAPSOS ESTRUCTURALES, ALGUNOS TIPOS DE INUNDACIONES, ACCIDENTES MASIVOS O MULTIPLES, etc.



9. Los Incendios en la Actualidad

La situación actual de las quebradas de Valparaíso y las grandes pérdidas provocadas por incendios en los últimos años deja en evidencia la falta de iniciativas por parte de la comunidad y entidades gubernamentales en mitigar de forma concreta, sistemática y operativa, la precaria situación de viviendas en zonas de riesgo de la comuna. La falta de recursos constituye un factor importante en la resolución de actividades que ayuden a evitar el inicio o propagación de un incendio, pero la falta de creatividad en buscar soluciones simples y económicas, o la exploración de nuevos materiales, deja a la deriva a viviendas de riesgo en las quebradas de Valparaíso.

10. Objetivo

Esta investigación busca aportar y desarrollar un sistema constructivo a base de paneles SIP estucados en base a tierra para una vivienda básica en quebradas, capaces de resistir altas temperaturas generadas por incendios de distinta índole (Forestales, Particulares, Catástrofes Naturales, Etc.). Indagando sistemas constructivos actuales, que permitan generar nuevas configuraciones, reciclando o economizando de estos mismos elementos, aportando con un sistema liviano, económico y ecológico para las viviendas en riesgo de incendio.



11. Casos de Observación

Estos 3 casos se analizan particularmente por el estado de conservación estructural que mantienen después de haber acabado el incendio y despejado de todo elemento destruido. A pesar de estas observaciones, en análisis se enfoca en registrar todos aquellos materiales que pudieron resistir altas temperaturas, agrupados principalmente en materiales áridos o sub-productos de tierra o arcilla.

“Desde aquí nace la premisa de utilizar la tierra como material a aplicar y analizar en la prevención o retardo de incendios”

CONTEXTO – INCENDIOS EN VALPARAISO

Calle Serrano
2007



Tipo de Siniestro:
Explosión Red de Gas
Víctimas: 5
Desaparecidos: 30
Viv. Afectadas: 7
Est.: en Reconstruc.
Ubicación:
Casco Histórico

C° La Cruz
2008-2010-2012



Tipo de Siniestro:
Incendio de Vivienda
Víctimas: 0
Fam. Afectadas: 150
Viv. Afectadas: 35
Est.: Reconstruido
Ubicación:
Parte Alta - Quebrada

C° Mariposa
2009-2012-2013



Tipo de Siniestro:
Forestal – Vivienda
Víctimas: 1
Fam. Afectadas: 400
Viv. Afectadas: 30
Est.: En Reconstruc.
Ubicación:
Parte Alta – Quebrada

C° Placeres
2013



Tipo de Siniestro:
Forestal – Vivienda
Víctimas: 0
Fam. Afectadas: 400
Viv. Afectadas: 80
Est.: en Reconstruc.
Ubicación:
Parte Alta – Quebrada

**C° Rodelillo/
Barón** 2013



Tipo de Siniestro:
Forestal – Vivienda
Víctimas: 0
Fam. Afectadas: 70
Viv. Afectadas: 150
Est.: en Reconstruc.
Ubicación:
Parte Alta – Quebrada

2013

11.1 Cerro Barón

3 casas en albañilería de ladrillo estucada con cemento y techumbre de madera. Las 3 ubicadas entre la quebrada norte del Cerro Barón y la Calle Rodelillo. Las 3 casas conservan su estructura principal en buenas condiciones permitiendo volver a reutilizar todos los elementos para ser habitada (Figura 4).



(Figura 4 – Casas de Albañilería Reforzada Incendio 2013 Cerro Barón – Rodelillo)

11.2 Cerro Mariposa

Única casa con su estructura principal intacta que sobrevivió al incendio en Cerro Mariposa en el año 2013, Su ubicación se encuentra en la ladera oriente a la calle Guillermo Rivera. Fue la única casa que mantuvo su estructura intacta ya que la mayoría de las casas afectadas eran de construcción liviana. Si bien en general su estructura podría ser reutilizada, esta vivienda requiere demoler banos de ventanas y puertas, ya que sus marcos no pueden ser reutilizados y al estar empotrados, se deberán demoler parte de las estructuras para ser recompuestas (Figura 5).



(Figura 5 – Casa de Albañilería Reforzada)

11.3 Cerro Placeres

1 casa en tabiquería de madera rellena en sus intermedios con adobe y estucada con el mismo material, con un espesor de 15cm. Construida en 1975 aguantando 4 incendios de acuerdo con el testimonio entregado por sus propietarios, siendo este último el que la destruyo por completo. La temperatura del siniestro logro quemar por radiación la estructura de madera al interior de los muros provocando el desprendimiento de sus revestimientos.

A diferencia de los ejemplos anteriores, esta vivienda no podrá ser reutilizada para ser habitada encontrándose en proceso de demolición al momento del registro. (Figura 6).



(Figura 6 – Casa de Adobe con Madera Estucado con Mortero de Cemento)

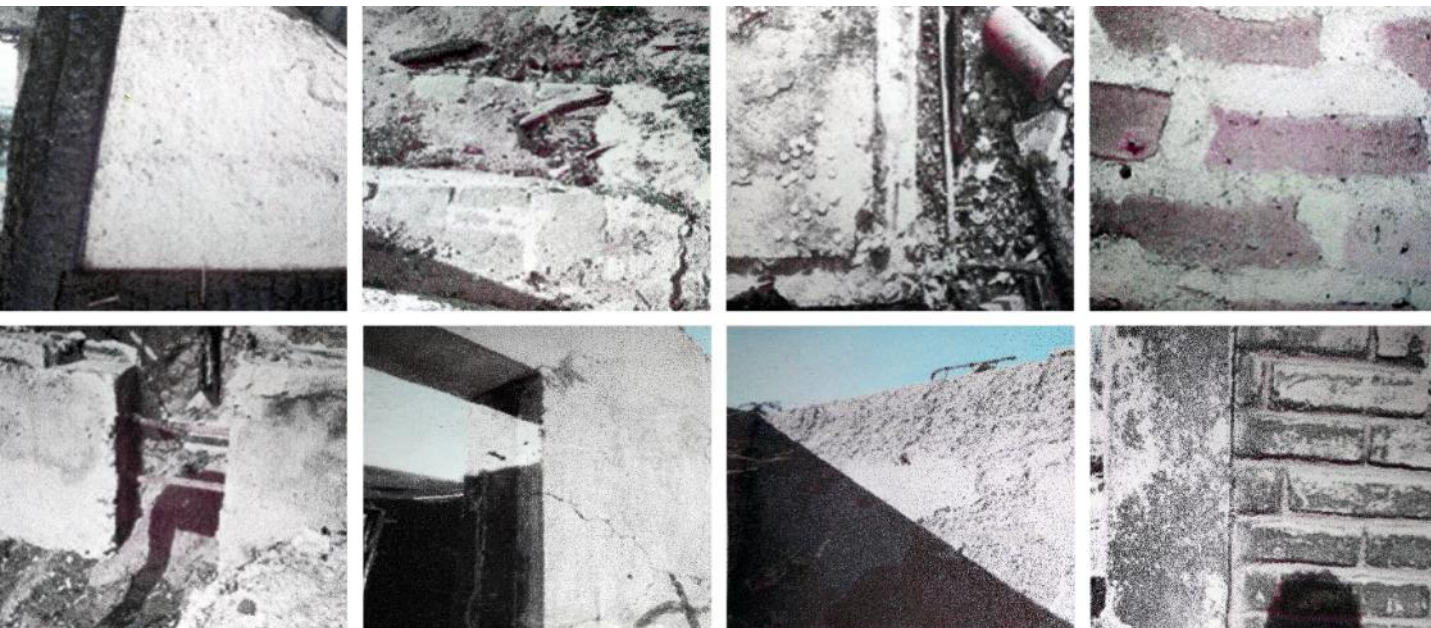
12. Materiales

Durante el proceso de análisis de casos, el registro realizado en terreno se encontraron variados materiales constructivos que pudieron resistir incendios de grandes proporciones durante prolongadas jornadas.

Si bien, muchos de ellos pierden sus características de resistencia o ductilidad, al menos el 10% de ellos pueden ser reutilizados o no perdieron su fin característico funcional al que fueron destinados. Entre los materiales encontrados estos pueden ser categorizados según las siguientes características:

12.1 Albañilerías y Pavimentos

Las viviendas registradas construidas con estos materiales pueden ser reutilizados para volver a edificar una vivienda condicionados por restricciones económicas e imposibilidad de cambio de residencia (Figura 7).

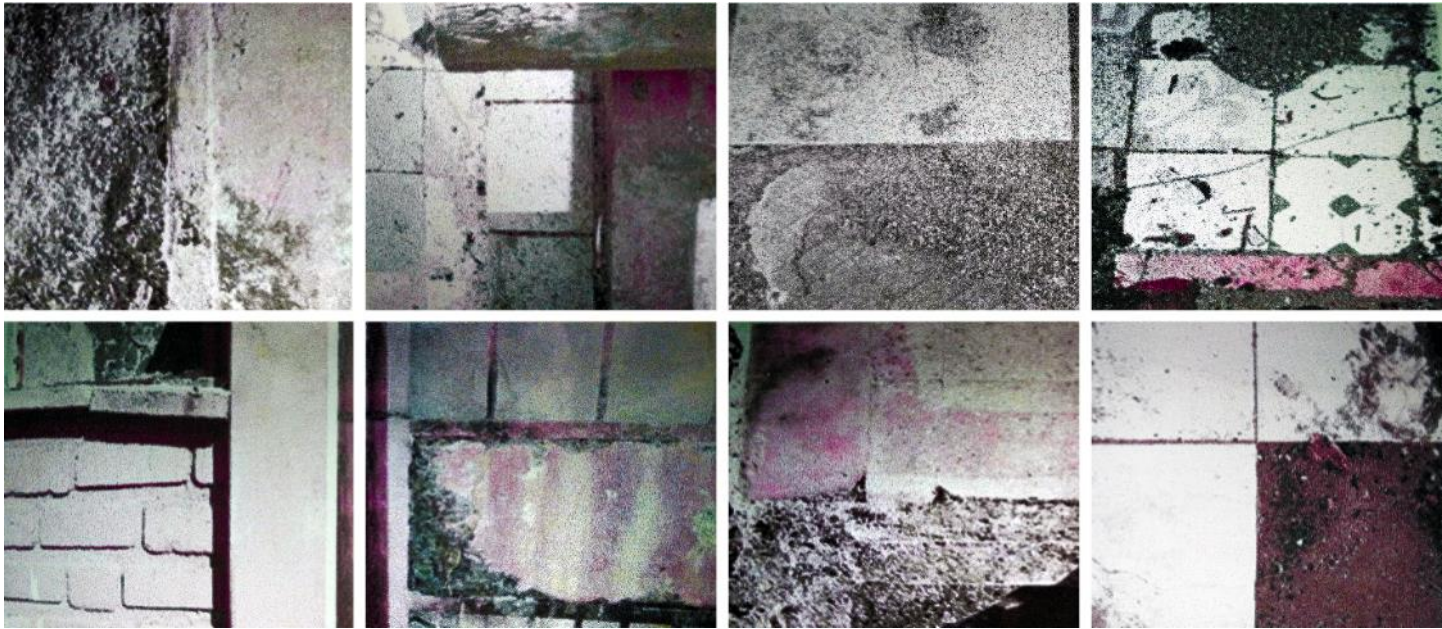


(Figura 7 – Registros de albañilerías que resistieron incendios)

13. Revestimientos

Otra familia de materiales que pudieron resistir en gran parte los incendios ocurridos, son los derivados materiales arcillosos como cerámicas y revestimientos.

Si bien estos tipos de materiales una vez destruidos o afectados por altas temperaturas no pueden volver a ser reutilizados o extraídos para volver a ser instalados, estos deben ser desechados, pero pueden mantener sus características físicas (Figura 8).



(Figura 8 – Registros de revestimientos que resistieron incendios)

14. Metales

Finalmente, los metales conforman gran parte de las estructuras y escombros sobrantes que pueden aguantar las altas temperaturas producidas en incendios. Es de conocimiento general que los metales pierden su resistencia cuando son sometidos a altas temperaturas, pero para los propietarios se constituyen como el primer material a reutilizar para volver a levantar sus viviendas, ya sea como estructuras principales o revestimientos de cubiertas y muros.



(Figura 9 – Registros de Metales que resistieron incendios)

15. Estado del Arte

Las normas chilenas que detallan los parámetros y ensayos mínimos para determinar la resistencia necesaria para los elementos que componen una edificación ante la necesidad de establecer estándares y condiciones mínimas de resistencia estructural ante un incendio, permitiendo tiempos necesarios de seguridad para la evacuación de las personas que hacen uso de estos recintos.

Lo anterior establece las condiciones mínimas de materialidad que debe tener cada elemento en la construcción, regulado por la IDIEM toma gran protagonismo en la certificación de resistencia de los materiales en general para la construcción. Es desde aquí que aparece un sinnúmero de elementos constructivos descritos como el “Listado Oficial de Comportamiento al Fuego de Elementos y componentes de la Construcción” validados por el MINVU los que definen variadas combinaciones de materiales y sus resistencias al fuego.

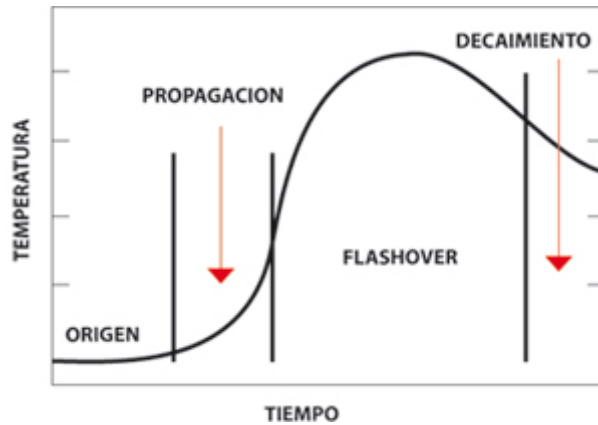
Para un adecuado análisis del comportamiento de los elementos constructivos ante un incendio, es necesario abordar el tema partiendo por distinguir conceptos como la Reacción versus la Resistencia al Fuego, y las diferencias que existen en la normativa de ensayos y exigencias para poder desarrollar sistemas consistentes de protección.

15.1 Etapas de un incendio

El desarrollo de un incendio se puede separar en cuatro etapas fundamentales: Origen, Propagación, Flashover (desarrollo) y Decaimiento. De manera general, se describe el **origen** como aquella etapa asociada a la primera fuente de ignición, cualquiera sea. Luego, en la **propagación**, intervienen tanto el elemento inicialmente en llamas, como los materiales cercanos a la fuente de ignición. En esta etapa, las propiedades de dichos materiales son de fundamental incidencia en el posible desarrollo del incendio. Esta etapa es seguida por el “**Flashover**”, momento en el cual las superficies expuestas a radiación alcanzan sus temperaturas de ignición de manera más o menos simultánea y el fuego se propaga rápidamente. Se caracteriza por un fuerte y muy rápido aumento en la temperatura ambiente del recinto.

Finalmente, la etapa de **decaimiento** está asociada al momento en el que el incendio consume toda la carga combustible posible de quemar, motivo por el cual las temperaturas ambientes empiezan a disminuir gradualmente.

Comúnmente, el desarrollo del incendio se representa como la evolución de la temperatura ambiente en el tiempo, tal como se grafica en la Figura 10.

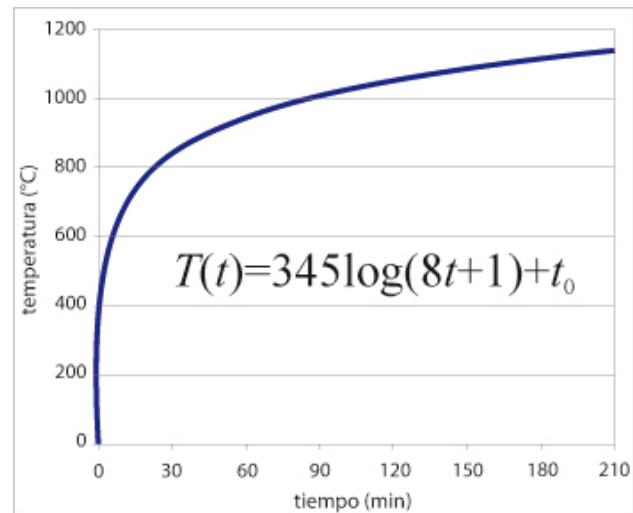


(Figura 10 – Etapas en incendios)

16. Resistencia al Fuego (RF)

Casi todos los códigos constructivos incorporan exigencias respecto a RF en Chile, se les conoce como F - "algo", y las exigencias están definidas en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC).

De este modo, la legislación chilena define RF como la "cualidad de un elemento de construcción de soportar las condiciones de un incendio estándar, sin deterioro importante de su capacidad funcional. Esta cualidad se mide por el tiempo, en minutos, durante el cual el elemento conserva la estabilidad mecánica, la estanquidad a las llamas, el aislamiento térmico y la no emisión de gases inflamables".



(Figura 11 – Resistencia al Fuego)

La RF se mide con un ensayo que somete al elemento a un incendio estandarizado, ya desarrollado, en el que se aumenta la temperatura en función del tiempo, de acuerdo con una curva determinada, como la que se muestra en la Figura 11.

17. Los ensayos RF

Los ensayos se realizan en un horno, en el cual las probetas de “tamaño real” se someten a un incendio simulado.

El ensayo tiene dos variantes. La primera se refiere a los elementos de Separación de Ambientes (compartimentación), donde lo que interesa medir es cuánto tiempo demoran estos elementos constructivos en impedir el paso del incendio. La otra variable son los Elementos Estructurales, donde lo que interesa evaluar es cuánto tiempo mantienen su función soportante antes que pueda producirse el colapso.

Es importante, además, entender la relación del ensayo con un incendio real. El concepto RF presupone un incendio, ya declarado, en etapa “flashover”, por lo que no forma parte del ensayo la evaluación de las etapas iniciales del incendio, el riesgo de inicio de un incendio, la velocidad con que éste se propaga, ni la toxicidad de los humos generados.

18. Muro Cortafuego

Según la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC), un Muro Cortafuego es aquel elemento constructivo cuya función principal es la de retrasar la acción del fuego en caso de incendios y evitar que este se propague a construcciones vecinas. Este elemento es de carácter obligatorio en todas las construcciones y está regulado según el tipo de construcción y su uso.

Según la OGUC, los objetivos principales de un muro cortafuego son:

- Brindar el tiempo suficiente de evacuación para los habitantes.
- Retardar la propagación del fuego.
- Retardar el daño estructural de la construcción (soporte de carga estructural)

Normas chilenas de resistencia al fuego:

- **NCH 935/1** Ensayo de resistencia al fuego – Parte 1: Elementos de construcción general.
- **NCH 935/2** Ensayo de resistencia al fuego – Parte 2: Puertas y otros elementos de cierre.
- **NCH 2209** Ensayo del comportamiento al fuego de elementos de construcción vidriados.

Estas resistencias se categorizan según el tiempo de resistencia y la temperatura de exposición según la siguiente tabla (Tabla 1):

Categoría	F-15	F-30	F-60	F-90	F-120	F-150	F-180	F-240
Minutos	15 a 29	30 a 59	60 a 89	90 a 119	120 a 149	150 a 179	180 a 239	240 o sup.

(Tabla 1 – Categorías de resistencia al fuego)

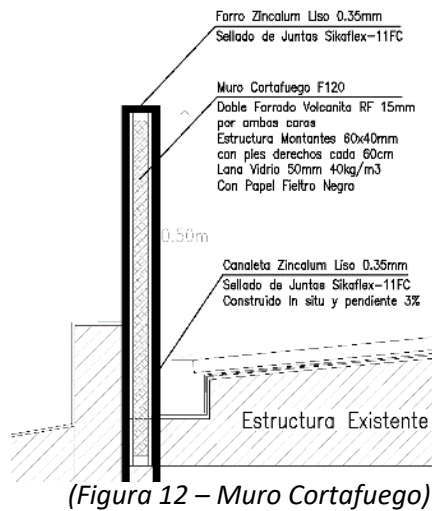
El Artículo N° 4.3.3 de la OGUC del Título 4 en su Capítulo 3 establece la resistencia al fuego para los elementos de construcción de acuerdo con la siguiente tabla (Tabla 2):

RESISTENCIA AL FUEGO REQUERIDA PARA LOS ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS									
ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN									
TIPO	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
A	F-180	F-120	F-120	F-120	F-120	F-30	F-60	F-120	F-60
B	F-150	F-120	F-90	F-90	F-90	F-15	F-30	F-90	F-60
C	F-120	F-90	F-60	F-60	F-60	-	F-15	F-60	F-30
D	F-120	F-60	F-60	F-60	F-30	-	-	F-30	F-15

(Tabla 2 – Categorías de elementos con resistencia al fuego)

En donde:

<p>Elementos verticales:</p> <p>(1) Muros cortafuego</p> <p>(2) Muros zona vertical de seguridad y caja de escalera</p> <p>(3) Muros caja ascensores</p> <p>(4) Muros divisorios entre unidades (hasta la cubierta)</p> <p>(5) Elementos soportantes verticales</p> <p>(6) Muros no soportantes y tabiques</p>	<p>Elementos verticales y horizontales:</p> <p>(7) Escaleras</p> <p>Elementos horizontales:</p> <p>(8) Elementos soportantes horizontales</p> <p>(9) Techumbre incluido cielo falso</p>	<p>a,b,c,d</p> <p>Son las restricciones de cada elemento de acuerdo al destino de la edificación que se establece en el Artículo N°4.3.4 de la OGUC</p>
---	---	--



(Figura 12 – Muro Cortafuego)

“Para una vivienda convencional hasta de 2 pisos y que no exceda los 140m², las exigencias mínimas para sus muros divisorios y cortafuego es de categoría F-15 y para muros pareados la exigencia está en la categoría F-60 con un muro de 50cm de altura por sobre la techumbre pareada de categoría F-15.”

En el mercado existen un sinfín de sistemas constructivos capaces de aguantar estas exigencias y mucho más. El ministerio de vivienda y urbanismo público en el 2012, un listado de sistemas constructivos registrados y ensayados al fuego (muros, pilares, puertas, ventanas, etc.), los que podemos clasificar en las siguientes categorías:

I. Muros Solidos



(F-30 a F-240)

- Muros de Albañilería (Ladrillo Arcilla)
- Muros de Piedra
- Muros de Bloques de Hormigón
- Muros de Hormigón Armado

II. Muros Aglomerados



(F-15 a F-150)

- Metalcon
- Tabiquería de Madera
- Tabiquería Internit
- Tabiquería Yeso-cartón

III. Revestimientos



(F-15 a F-120)

- Estuco Ignifugo
- Pinturas Retardantes
- Paneles Yeso-Fibrocemento
- Zincalum – Galvanizados

La variedad de resistencia de estos materiales se radica en la composición material de sus elementos como también del aumento de espesor, como en el caso de los aglomerados. El aumento de su resistencia al fuego depende de la cantidad de placas intercaladas entre unas y otras, a fin de aumentar el espesor de su revestimiento como también el retardo del fuego.

¿PODEMOS UTILIZAR LA TIERRA COMO REVESTIMIENTO IGNIFUGO ECONOMICO Y REUTILIZABLE?

La tierra es un material común utilizado por miles de años en la edificación, la construcción en adobe es un referente directo en la normativa que dependiendo de su aplicación podemos encontrar sistemas constructivos con resistencias superiores a los 240 minutos.

En esta investigación se plantea realizar pruebas artesanales dado el alto costo de realizarlas bajo un laboratorio certificado. Metodología de ensayo interpretado desde la normativa actual para emular la resistencia de este material y lo que se puede lograr aplicando la tierra como una capa de protección para la vivienda y que puede ser reconstituida con esta misma presente en las viviendas de miles de personas.



19. Ensayo de Resistencia al Fuego

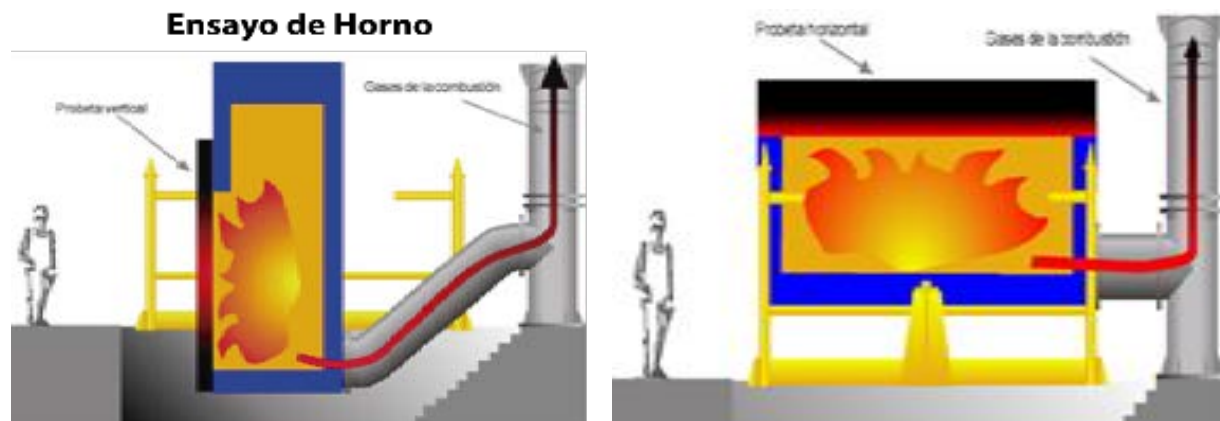
En la actualidad 2 métodos para realizar ensayos de resistencia al fuego regulados por la ley actual:

19.1 Ensayo de Horno

Consiste en realizar el ensayo a escala real, utilizando un horno con una apertura de 1m de ancho y 2m de alto, en forma vertical u horizontal, en donde es colocado el material a escala real y dependiendo de la aplicación del elemento en la construcción se deberán analizar su comportamiento como tal.

La norma establece por cada ensayo confeccionar 2 muestras de cada material a analizar, donde la primera muestra se medirá su resistencia al fuego en el tiempo y la segunda muestra se aplicarán cargas para analizar su comportamiento estructural o medición de colapso según se aplique.

El elemento que ensayar debe ser ensayado en forma vertical y horizontal aplicando la fuente de ignición en una de sus caras la cual sella la apertura del horno y es sometido a fuego programado como se expresa en la normativa (Figura 13).



(Figura 13 – Ensayo de horno)

La superficie donde se aplica la fuente de calor debe llegar a temperaturas superiores de 1300°C para dar inicio a la medición y se dará termino cuando la superficie posterior alcance los 180°C a 220°C

19.2 Ensayo para Materiales Homogéneos

Consiste en realizar el ensayo a materiales lineales de poco espesor, al cual se les aplica una llama puntual regulando la temperatura según como se indica en la normativa al igual que el ensayo en horno.

El ensayo aplica la fuente de calor puntualmente sobre la superficie del elemento a analizar debe ser medido por ambas caras simultáneamente, tomando la temperatura de aplicación y la temperatura en la parte posterior, si el material llega a la temperatura entre los 180°C y 220°C, será el tiempo de resistencia al fuego del elemento.



Para ambos tipos de ensayos, se dará por finalizada la medición cuando el material sufra agrietamientos durante el proceso, independientemente del tiempo que este hubiese demorado llegar al colapso. Usualmente el colapso de la muestra sucede cuando son aplicadas cargas para medir su resistencia estructural, pero en el caso de los materiales heterogéneos, las fallas están directamente relacionadas a su composición material o preparación de la muestra.

20. Procedimiento de Ensayo

La preparación de muestras para realizar las mediciones se dimensiono acorde a las características de los instrumentos disponibles y el máximo control de temperatura habiente posible.

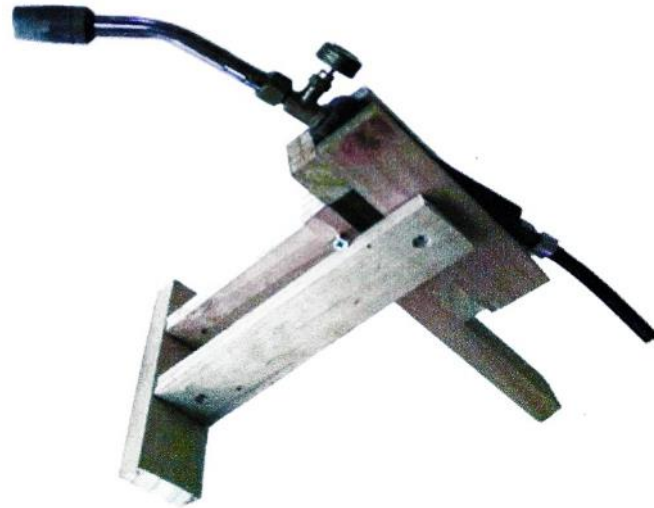
El control de temperatura de la muestra y el tamaño de esta fue posible determinar mediante el radio máximo de temperatura que logre alcanzar los 1300°C con la fuente de calor sin disminuir su temperatura bajo los 1000°C.

Para ello se utilizaron los siguientes instrumentos de medición:



Termómetro:

Con medición por medio de termocupla, tiene capacidad de medición desde los -30°C hasta los 1300°C .

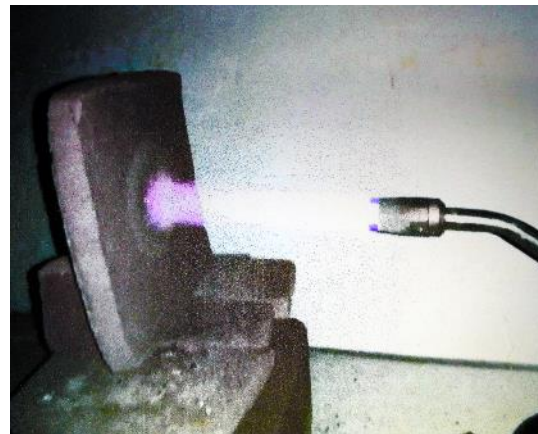


Soplete a Gas

Soplete (fuente de calor) a base de gas licuado, alcanza una temperatura máxima de 1300°C .

El fuego se coloca en un punto central del elemento para no traspasar los bordes con llamas, se mide en el punto directo donde se aplica la llama y paralelamente se toma la temperatura en la cara posterior, registrando el tiempo en llegar a los 220°C .

Con este método pueden ser alcanzados 1300°C como máximo y en las esquinas de la muestra se mantienen temperaturas sobre los 1000°C . Cada muestra se debe medir dos veces y se requieren 5 a 10 minutos para alcanzar la temperatura de medición



Se realizaron ensayos preliminares para establecer los estándares de medición para las probetas definitivas, determinando una distancia entre 12 a 15cm entre la probeta y la fuente de calor para alcanzar las temperaturas y tiempo óptimos requeridos para cada ensayo



T° 569°C - 15:00



T° 836°C - 30:00



T° 938°C - 60:00



T° 95°C - 15:00



T° 150°C - 30:00



T° 215°C - 60:00



El fuego se coloca en un punto central del elemento para no traspasar los bordes con llamas, se mide en el punto directo donde se aplica la llama y paralelamente se toma la temperatura en la cara posterior, registrando el tiempo en llegar a los 220°C.

La forma de controlar la temperatura es reduciendo la distancia entre el quemador y la probeta, lo que permite alcanzar mediciones hasta los 1300°C.

El secado de cada una de las probetas también es necesario ya que a menor contenido de agua mayor será la resistencia de los elementos y más resistirá al colapso por temperatura, tema que será profundizado en la confección de probetas.

21. Confección de Probetas

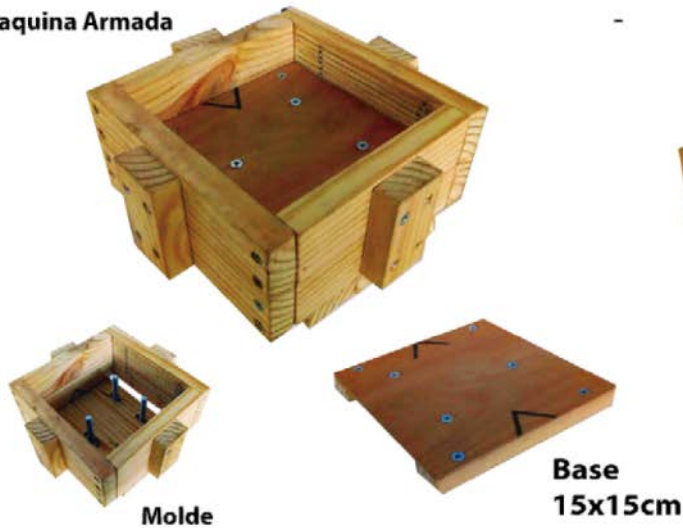
Se determinó que el tamaño de las probetas es de 15x15 ideal para que el diámetro de la llama del soplete a gas licuado con el que se realizaran los ensayos mantenga temperaturas superiores a los 1000°C en toda la superficie donde se aplique la fuente de calor a una distancia entre 12 a 15cm. La confección de probeta es controlada por una maquina artesanal que mantiene las dimensiones de 15x15cm y regula el espesor de la muestra a ensayar.

a) Máquina de Probetas

Esta herramienta se construyó en el lugar de trabajo con la finalidad de confeccionar las probetas para ensayos. Esta posee 3 hilos niveladores y una base retráctil que permite controlar el espesor de cada probeta (Figura 14).

Máquina de Probetas

Maquina Armada

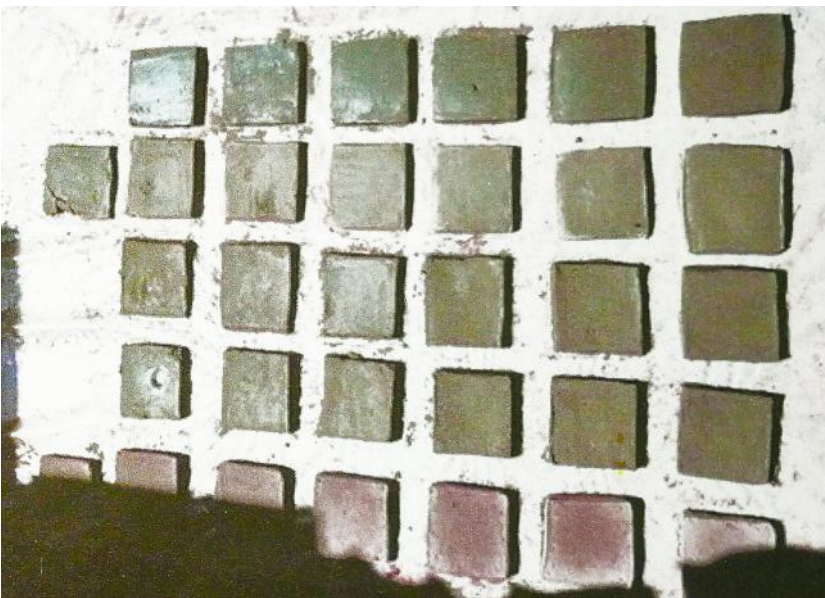


(Figura 14 – Máquina de Probetas)

Con los hilos niveladores se regula la distancia entre la base contenedora y la base de 15x15cm con la finalidad de regular el espesor de la probeta (Figura 15).



(Figura 15 – Aplicación de Máquina de Probetas)



(Figura 16 – Secado de Probetas)

22. Secado de muestras

Las probetas son colocadas sobre una superficie solida no absorbente (lamina de PVC) y secadas al sol durante 20 días (Figura 16).

Se regula la cantidad de agua en la mezcla para controlar el asentamiento de la muestra y no disminuir el espesor de la misma.

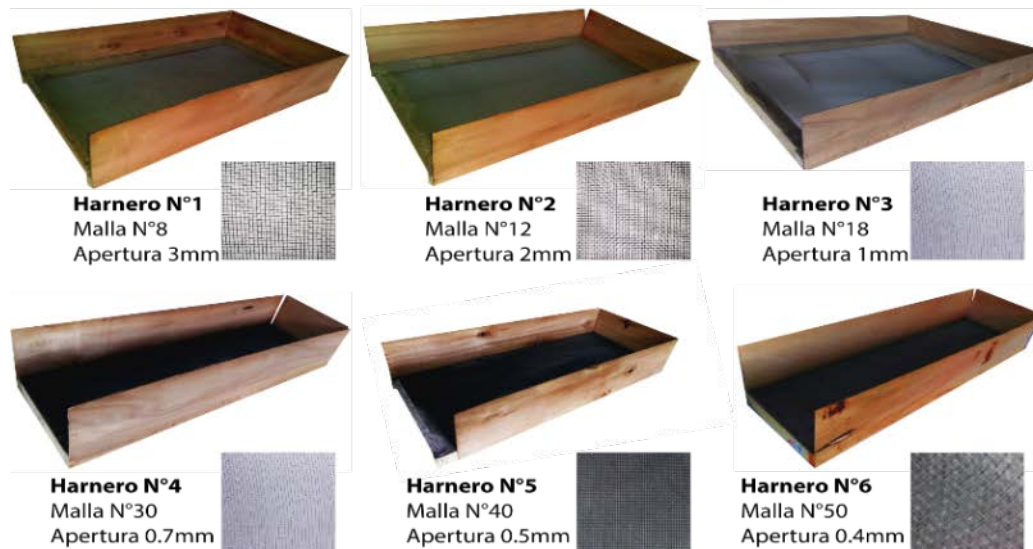
Este método resulto más eficiente ya que el secado al horno o fuego no se obtuvieron buenos resultados, ya que la tierra utilizada se encuentra tamizada provocando mayor retención de la humedad a su interior.

Es por ello por lo que se utiliza el secado al sol, obteniendo un 100% de muestras utilizables para realizar los ensayos posteriores.

23. Tierra Refinada – Sistema de Harneado Manual

Para el refinamiento de tierra se construyeron 6 harneros de aperturas similares a los utilizados en ensayos de laboratorio de mecánicas de suelo, con la finalidad de realizar probetas con muestras de distintos tamices y estratos de tierra según profundidad.

Harneros de Acero Inoxidable



Harneado manual



(Figura 17 – Harneros y Refinamiento Manual)

Cada harneado es realizado tamiz por tamiz con la finalidad de poder definir la granulometría ideal para la confección de muestras y determinar las características ideales que permitan mayor resistencia al fuego.

La tierra refinada es almacenada en contenedores respirables durante 20 días con la finalidad de eliminar la mayor cantidad de humedad contenida, revolviendo el material cada 5 días para evitar la compresión del mismo y liberar mayor cantidad de agua.

Al obtener el material ideal, este posee un color uniforme con un bajo contenido de agua fácil de observar al tacto, definiendo su estado de trabajo seco ideal para controlar el contenido de agua

en las dosificaciones posteriores. Cada harneado manual era reutilizado de un tamiz a otro, obteniendo una materia prima alta en arcilla y libre de piedras o arenilla con poca capacidad de adherencia.

23.1 Material Optimo para Aplicación

Se determino de acuerdo con los ensayos la cantidad recomendada de humedad para trabajar con estuco a base de tierra se encuentra entre el 20% a 30% de la proporción de la mezcla.

El manual de confección de morteros de estucos tradicionales indica que el porcentaje ideal de agua para una mezcla debe permitir a la mezcla la plasticidad suficiente para que el asentamiento sea inferior a 3mm para una buena aplicación con técnicas de estucado tradicional. Es aplicado este criterio como referencia para determinar la cantidad de agua necesaria en la mezcla con tierra y que pueda ser aplicado como estuco.



Para efectos de esta tesis se agregó el uso de aditivos aglomerante que le permitiera aumentar la resistencia al fuego o el trabajo con el material. Los Aditivos utilizados fueron:

Tierra + Arcilla Refractaria + Agua
Tierra + Cemento + Agua (Suelo Cemento)

Realizando dosificaciones desde 12%, 15%, 20%, 33% y 50%. En ambos casos se consideró que las dosificaciones se aplicarían de igual forma que un estuco tradicional, por ende, el contenido de aditivo y agua seria mayor. El control de dosificaciones se realizó mediante una Balanza Digital.

24. Uso de Aditivos



¿Podemos utilizar la tierra como un revestimiento ignifugo, económico y reutilizable?

25. Formulación de Hipótesis

La tierra como Cortafuego

Entendemos que la tierra es un material incombustible con cualidades naturales de resistencia al fuego, los elementos que la componen provienen de distintos estratos de descomposición de materia orgánica, minera, y roca. La tierra es utilizada como materia prima para la albañilería en adobe, pero además combinada con otros aditamentos como yeso o cal, mejora sus cualidades de impermeabilidad y fineza constructiva.

Hipótesis A

Utilizar la tierra como revestimiento resistente al fuego aplicando en un sistema constructivo de paneles, observando y midiendo sus comportamientos en altas temperaturas. Refinando tierra con herramientas de fácil confección a fin de utilizar un material fino con alto contenido de arcilla y con bajo contenido de arena. Esta hipótesis se fundamenta en el ensayo de capas de tierra obtenidas desde cualquier lugar, óptimo para la realización de ensayos. Estos ensayos se realizaron entre capas de 20cm a 1m de profundidad. Aseverando por su alto contenido de arcilla, que, al refinar, se puede obtener un producto homogéneo, reutilizable y descontaminado de bajo costo de producción.

Hipótesis B

La utilización de la Tierra Refinada en un sistema constructivo modular reciclado de sobrante de paneles SIP, con la finalidad de solo reemplazar elementos dañados por el incendio sin tener que construir el muro por completo. Combinado con la aplicación de un revestimiento a base de tierra refinada, que puedan ser reparados rápidamente y brindar mayor seguridad a la vivienda.

26. Metodología de trabajo y Ensayos



Se utiliza como área de trabajo una casa abandonada incendiada en 1976 y destruida por el terremoto en 1985.

Se escoge este lugar con la premisa de poder desarrollar un revestimiento a partir de cualquier tierra de las quebradas de Valparaíso.

El lugar es despejado de escombros, habilitándolo con agua y luz para la realización de ensayos y extracción de muestras de tierra a distintas profundidades.



Laboratorio Provisorio

Es montado un laboratorio provisorio bajo una cubierta existente. Se habilita con electricidad y agua potable, además de mesones de trabajo y las herramientas necesarias. Cuenta con 7 cajas de cartón pre moldeado para el guardado del material a obtener de los suelos además de un estanque acumulador de agua. Desde este lugar es despejado el terreno para extraer las muestras de tierra en distintos estratos, a fin de poder ser tamizados por 6 harneros de distintas aperturas.



El tamizado de material busca desarrollar las recomendaciones necesarias para la limpieza o refinamiento de la tierra que será aplicada como revestimiento. Las cajas son perforadas para que el material guardado pueda eliminar la mayor cantidad de humedad posible sin que se contamine.

27. Resultado de Ensayos

Para la ejecución de los ensayos se establecieron los siguientes parámetros

- **Espesor mínimo y máximo de probetas para ensayos.**
El espesor mínimo de trabajo para ensayos con probetas es de 10mm ya que de todas las muestras realizadas a partir de este espesor las probetas mantenían su forma sin sufrir deformación ni colapso según granulometría.
Por otro lado, el espesor máximo de trabajo será de 3cm ya que por criterios constructivos, un revestimiento para vivienda superior a esta distancia, aumenta las cargas en las superficies soportantes y por ende aumenta el peso de la vivienda considerablemente.
- Las variaciones de muestras tendrán espesores diferenciados cada 5mm para condiciones de trabajabilidad del material en estado fresco simulando ser aplicado como un estuco. Estas diferencias de medidas son más fáciles de realizar en terreno y por ende aplicables en todo sentido por cualquier persona.
- El secado de las probetas se efectuó a intemperie durante 20 y con protecciones por las mañanas a fin de eliminar naturalmente el contenido de humedad de cada elemento. Se intento realizar en horno a temperaturas controladas, pero la poca capacidad disponible para grandes cantidades de muestras y la densidad alcanzada con alguna de las probetas, se produce gran pérdida de tiempo en la preparación de estos elementos.
- Los tamizados que se utilizaran finalmente para realizar las probetas de ensayo son los N°8,12,18,30,40 y 50, tamaños ideales para tamizados y rápidos de trabajar. Con tamices mas pequeños al N°8, se conseguían poca cantidad es de material, concluyendo en que de trabajar con estos tamices, se requiere de muchas horas hombre y poco volumen útil de trabajo (50% a 70% de perdida de material). Por otro lado, tamices superiores al N°50 se obtienen suelos con mucho material contaminante, y al confeccionar probetas de muestra, estas tienden a romperse mucho mas fácil. Estos tamices no aseguran alto contenido arcilloso necesario para provocar mayor adherencia.

27.1 Ensayos de Tierra + Agua

Con las recomendaciones antes enunciadas, se establecen los siguientes resultados productos de los ensayos realizados con las muestras. Los porcentajes de agua en la mezcla son todos iguales (20% a 30% de agua en la mezcla)

Tierra + Agua								
Categorías	F-15	F-30	F-60	F-90	F-120	F-150	F-180	F-240
Harneros	% Agua	N° Muestra	10mm	15mm	20mm	25mm	30mm	Tipo
N°8 -Ap 3mm	15	A1	x	x	x	F-15	F-15	Capa Vegetal
N°12 -Ap 2mm	15	A2	x	x	F-15	F-15	F-15	
N°18 -Ap 1mm	15	A3	x	x	F-15	F-15	F-15	
N°30 -Ap 0,7mm	15	A4	x	x	F-15	F-15	F-15	
N°40 -Ap 0,5mm	15	A5	x	F-15	F-15	F-15	F-15	
N°50 -Ap 0,35mm	15	A6	x	F-15	F-15	F-15	F-15	

Los sustratos de capa vegetal no son recomendables de utilizar debido a la poca capacidad de adherencia de la mezcla entre si y la presencia de material orgánico que no permite tener materiales con una superficie homogénea. En cada ensayo se registra, tiempo y temperatura al inicio y termino de la prueba. De acuerdo con los minutos transcurridos se les de siga su categoría de acuerdo con el tiempo transcurrido (Figura 18).

Espesor	Muestra 1	% Agua	N°	T° Inicio		T° Termino		Hora		Minutos Total	RF	Observaciones
				Frente	Posterior	Frente	Posterior	Inicio	Termino			
10	N°8 -Ap 3mm	15	A1	1230	103	-	-	-	-	-	-	Destruído
15	N°8 -Ap 3mm	15	A1	1232	101	-	-	-	-	-	-	Destruído
20	N°8 -Ap 3mm	15	A1	1230	105	-	-	-	-	-	-	Destruído
25	N°8 -Ap 3mm	15	A1	1230	100	1230	190	11:25	11:49	0:24	F15	OK
30	N°8 -Ap 3mm	15	A1	1229	100	1230	190	11:55	12:21	0:26	F15	OK

(Figura 18 – Registro de Ensayos de muestras)

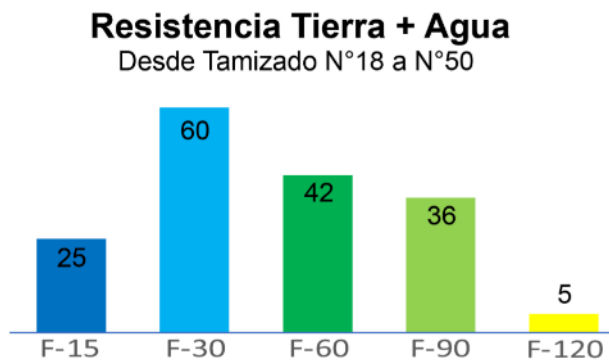
Observaciones

- A medida que el tamizado es mayor y el espesor del revestimiento aumenta, más resistencia al fuego tiene.
- Mientras más contenido de arcilla, más resistente es al fuego, así mismo, mientras menos cantidad de arena, arenilla, maicillo o piedra se obtiene más resistencia se obtiene.
- Los ensayos con capa vegetal no dieron buenos resultados, gran parte del material era destruido y no era posible ensayarlo.
- Las capas ideales para harneado son desde los 50cm de profundidad.
- Se obtienen superficies homogéneas, de fácil pulido y de rápido acabado, siendo su principal característica la fácil reparación o reutilización de su material.

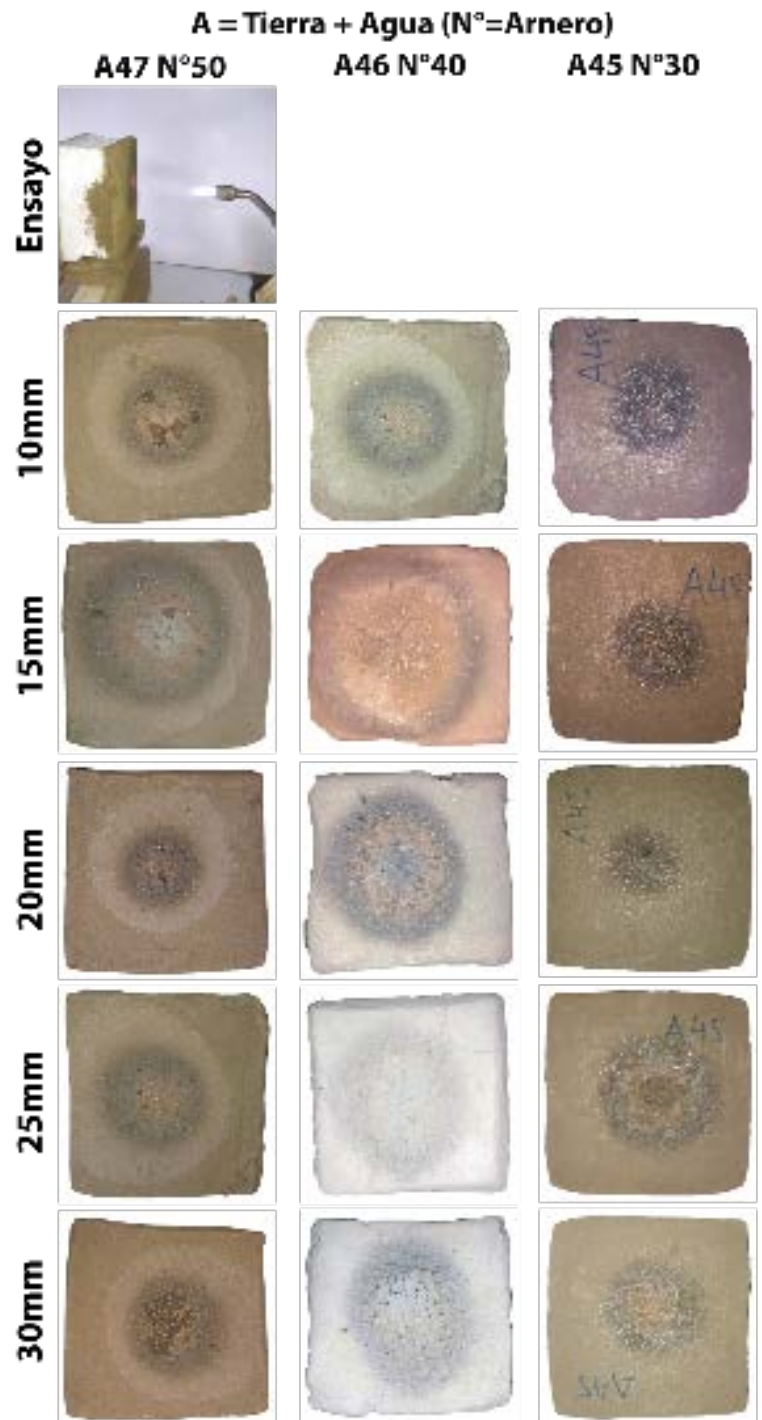
El siguiente grafico muestra en resumen los resultados obtenidos, visualizando una relación de tamizado y tiempo.

Mientras más fino sea el tamizado mejores características tendrá.

Por el contrario, al aumentar el tamiz se disminuye el tiempo de resistencia (Figura 19)



(Figura 19 – Resultados de pruebas realizadas)



27.2 Tierra + Arcilla Refractaria + Agua

Esta mezcla comparte las mismas cualidades que la compuesta por solo tierra, pero al ser refractaria agrega un factor de resistencia subiendo al menos una o dos categorías de resistencia. Además, puede ser reciclable ya que actúa como un aglomerante natural, que puede ser removido y reutilizado nuevamente.

Tierra + Arcilla Refractaria + Agua

Categorías				F-15	F-30	F-60	F-90	F-120	F-150	F-180	F-240
Harneros	% Agua	% Arcilla	N° Muestra	10mm	15mm	20mm	25mm	30mm	Tipo		
N°18 -Ap 1mm	18	12	A1	x	x	F-15	F-15	F-30	50cm de Capa Vegetal		
N°30 -Ap 0,7mm	18	12	A2	x	F-15	F-30	F-30	F-60			
N°40 -Ap 0,5mm	18	12	A3	x	F-30	F-30	F-60	F-60			
N°18 -Ap 1mm	20	15	A4	x	x	F-15	F-30	F-30			
N°30 -Ap 0,7mm	20	15	A5	x	F-15	F-30	F-60	F-60			
N°40 -Ap 0,5mm	20	15	A6	x	F-30	F-60	F-60	F-90			
N°18 -Ap 1mm	23	20	A7	x	x	F-15	F-30	F-30			
N°30 -Ap 0,7mm	23	20	A8	x	F-15	F-30	F-60	F-60			
N°40 -Ap 0,5mm	23	20	A9	x	F-15	F-30	F-60	F-90			
N°18 -Ap 1mm	25	33	A10	x	F-15	F-15	F-30	F-60			
N°30 -Ap 0,7mm	25	33	A11	x	F-30	F-30	F-60	F-90			
N°40 -Ap 0,5mm	25	33	A12	x	F-30	F-60	F-90	F-120			
N°18 -Ap 1mm	28	50	A13	x	F-15	F-15	F-30	F-60			
N°30 -Ap 0,7mm	28	50	A14	F-15	F-15	F-30	F-60	F-60			
N°40 -Ap 0,5mm	28	50	A15	F-15	F-30	F-60	F-90	F-90			
N°30 -Ap 0,7mm	28	50	A16	F-30	F-60	F-90	F-90	F-120			

27.2 Tierra + Cemento + Agua

El cemento agrega a la mezcla todas sus cualidades aglomerantes, como la buena adherencia y factibilidad de trabajo con el material en una primera preparación, agrega resistencia al fuego igual que la arcilla refractaria y aumenta la rapidez de secado, pero su gran inconveniente es el reciclado. Al reutilizar el material, este pierde fuerza como aglomerante y se transforma en una superficie arenosa y muy fácil de romper.

Tierra + Cemento + Agua

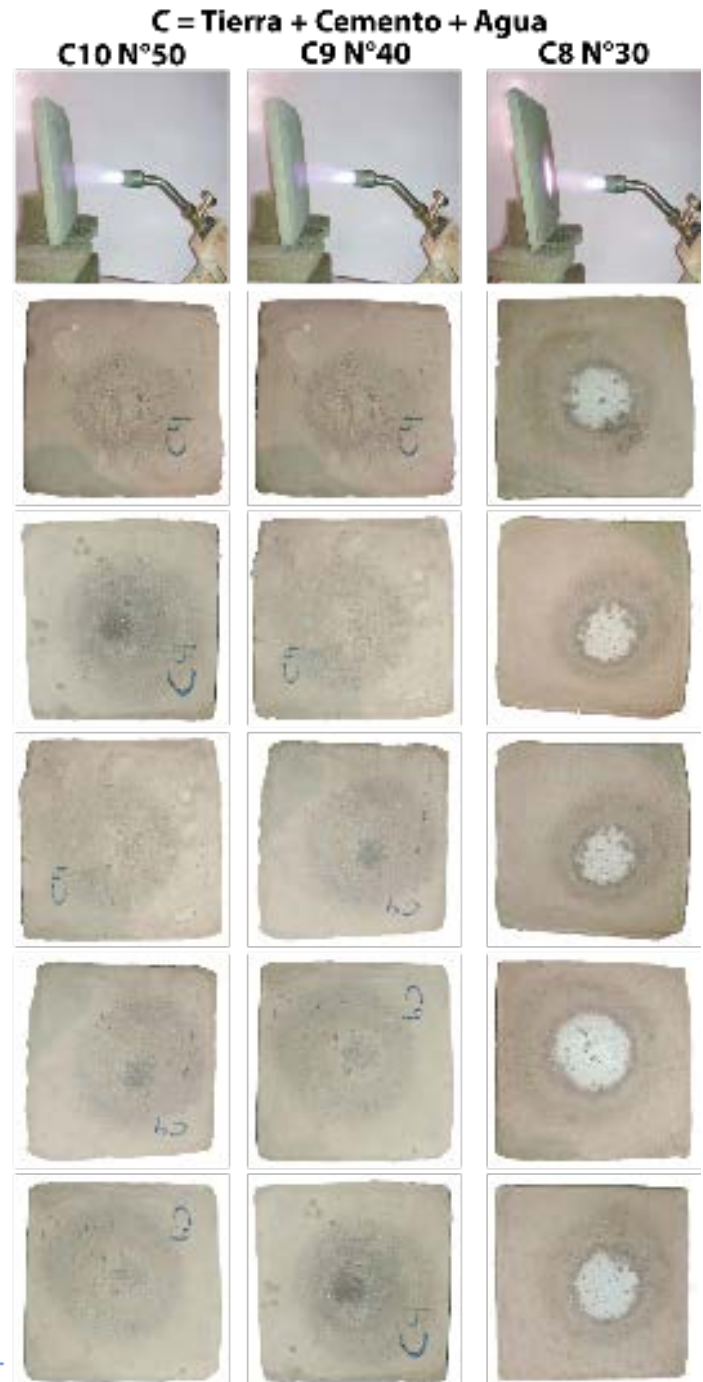
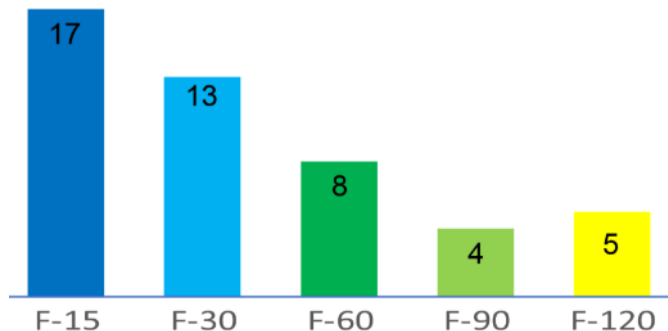
Categorías				F-15	F-30	F-60	F-90	F-120	F-150	F-180	F-240
Harneros	% Agua	% Arcilla	N° Muestra	10mm	15mm	20mm	25mm	30mm	Tipo		
N°18 -Ap 1mm	18	12	A1	x	x	F-15	F-15	F-30	50cm de Capa Vegetal		
N°30 -Ap 0,7mm	18	12	A2	x	F-15	F-30	F-30	F-60			
N°40 -Ap 0,5mm	18	12	A3	x	F-30	F-30	F-60	F-60			
N°18 -Ap 1mm	20	15	A4	x	x	F-15	F-30	F-30			
N°30 -Ap 0,7mm	20	15	A5	x	F-15	F-30	F-60	F-60			
N°40 -Ap 0,5mm	20	15	A6	x	F-30	F-60	F-60	F-90			
N°18 -Ap 1mm	23	20	A7	x	x	F-15	F-30	F-30			
N°30 -Ap 0,7mm	23	20	A8	x	F-15	F-30	F-60	F-60			
N°40 -Ap 0,5mm	23	20	A9	x	F-15	F-30	F-60	F-90			
N°18 -Ap 1mm	25	33	A10	x	F-15	F-15	F-30	F-60			
N°30 -Ap 0,7mm	25	33	A11	x	F-30	F-30	F-60	F-90			
N°40 -Ap 0,5mm	25	33	A12	x	F-30	F-60	F-90	F-120			
N°18 -Ap 1mm	28	50	A13	x	F-15	F-15	F-30	F-60			
N°30 -Ap 0,7mm	28	50	A14	F-15	F-15	F-30	F-60	F-60			
N°40 -Ap 0,5mm	28	50	A15	F-15	F-30	F-60	F-90	F-90			
N°30 -Ap 0,7mm	28	50	A16	F-30	F-60	F-90	F-90	F-120			

Observaciones

El cemento es agregado idealmente para mejorar la dureza y terminación a base de suelo cemento. No se generan grandes diferencias con el aditamento de cemento a la mezcla, pero si aumenta la dureza y la adherencia del mismo por su estado rígido. Análisis del cual podemos concluir las siguientes observaciones:

- El cemento aporta mayor rigidez y adherencia de la mezcla, pero quita la propiedad de poder reutilizar la materia prima.
- En cuanto a la resistencia al fuego, tiene igual comparativa que con la mezcla de solo tierra y agua.
- El adicionar cemento a la mezcla tiene mayor resistencia a los impactos o el daño que podría causar los chorros de agua en emergencias.

Resistencia Tierra + Cemento Desde Tamizado N°18 a N°40



28. Resúmenes de ensayos

Un revestimiento a base de Tierra Refinada resistente al fuego funciona en la medida que permita agregar muchos minutos extra en oposición al fuego, otorgando mayor seguridad a la vivienda y principalmente a sus moradores.

De los ensayos realizados la comprobación de esta resistencia debe ser analizada en conjunto con las superficies donde desean ser aplicadas para tener una mayor certeza del aporte que esta genera en un sistema constructivo, teniendo en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Los mejores resultados de resistencia se obtuvieron con material extraído bajo los 50cm de profundidad (debajo de la capa natural) por su alto contenido arcilloso.
- Los espesores ideales para la implementación de la tierra como revestimiento se encuentran entre los 2 a 3cm. Sobrepasar estos límites podría generar sobrecargas innecesarias a la estructura.
- Los aditivos mejoran la adherencia y resistencia del material a la intemperie, pero en el caso del cemento, esta quita la capacidad de ser reciclable.
- Los harneros ideales para trabajar la tierra y ser utilizada como revestimiento son desde el N° 18, 30 y 40 ya que son mallas que permiten fácilmente trabajar con la tierra y mantienen un porcentaje bajo de pérdida o material sobrante en el harneado.

Es necesario ensayar este material siendo aplicado en sistemas constructivos completos para evaluar su comportamiento. Visualizar la forma como se relaciona con otros elementos constructivos para determinar si su implementación se conjuga con más elementos y otorgue características positivas donde sea aplicada.

29. Panel SIP / Panel Sándwich



El Panel SIP (Structural Insulated Panel) o Panel Sándwich OSB, un moderno y completo sistema estructural auto soportante usado para la construcción, conformado por un alma de espuma rígida de Poliestireno de alta densidad (EPS).

Los paneles SIP de Tecno Panel se fabrican con la más alta tecnología existente en el mercado. Todos nuestros productos se producen con un sistema automatizado llamado roalling coating, en donde los tableros de OSB se adhieren al poliestireno mediante adhesivos en base a poliuretanos aplicados a altas temperaturas, lo que asegura una aplicación homogénea y controlada computacionalmente. Estas tecnologías junto con asegurar una calidad del producto, permiten una alta capacidad de producción, asegurando la fabricación de 3000 m2 de panel diario.



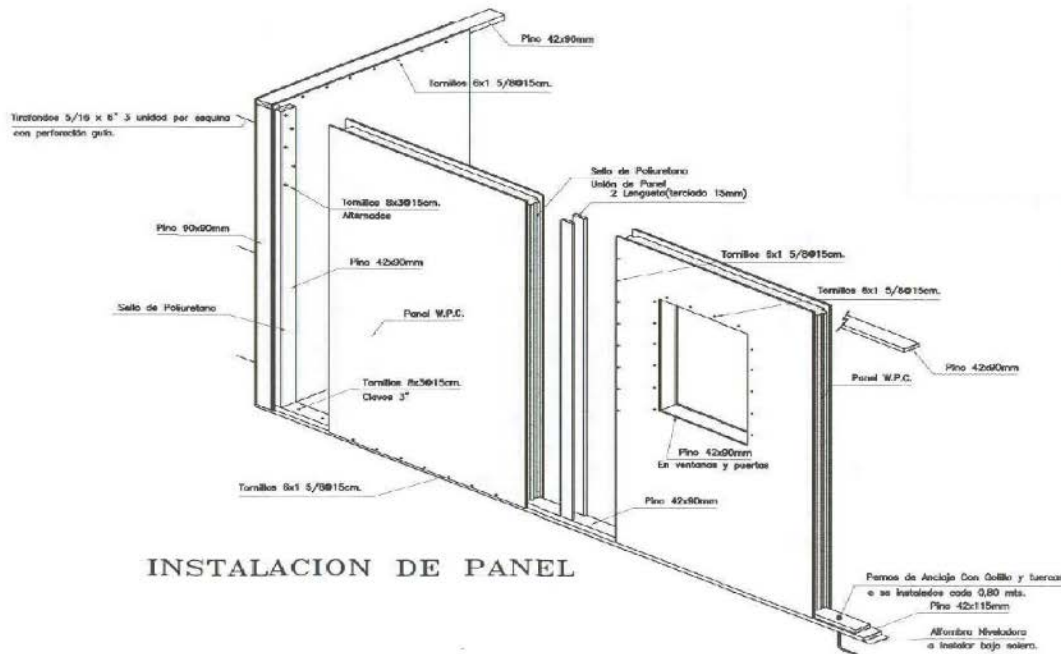
Este material es altamente eficiente, pero una de sus grandes problemáticas son la cantidad de desechos que esta genera en obra, perdiendo gran cantidad de material de recorte que no es reutilizado y que no posibilita su reciclado para volver a reutilizar.

¿Podemos desarrollar un “Muro Cortafuego con Paneles SIP desechados?”

En esta tesis se explora la posibilidad de desarrollar un sistema constructivo que permita reciclar el Panel SIP de forma inmediata en obra o su retiro para futuras aplicaciones.

Se evaluara inicialmente su comportamiento con el revestimiento de tierra, analizando su resistencia al fuego y comportamiento analizado durante un tiempo determinado.

Concepto Básico de Construcción Panel SIP



30. Ensayos en Panel SIP

Fueron desarrollados ensayos aplicados en probetas de Panel SIP con iguales dimensiones a las probetas descritas en títulos anteriores. Los ensayos realizados con probetas de tierra solo pueden ser aplicado con espesores menores, por tal motivo las pruebas realizadas en Panel SIP, solo se aplicaran de forma práctica analizando el comportamiento del revestimiento de tierra con el Panel SIP.

Base 15x15cm



Metal Desplegado 1°Capa+Separadores



2°Capa



Armado por Capas

- Base de 15x15cm con la misma finalidad de mantener temperaturas sobre los 1000°C en su superficie aplicando una fuente de calor directa puntual.
- Se instala una 1° capa de papel fieltro como barrera contra la humedad desde el exterior e interior
- Luego se instala una 2° capa con separadores y una malla tipo diamante fina hecha firme con grapas para mejorar la adherencia del revestimiento a aplicar.
- Por último se agregan 2 capas de Tierra refinada con espesores regulados igual que los ensayos descritos anteriormente.

30.1 Secado y ensayo de Probetas

Al igual que las probetas confeccionadas inicialmente, las probetas de Panel SIP son secadas al sol con el mismo propósito de eliminar naturalmente el máximo contenido de humedad en la tierra.

El comportamiento observado del revestimiento se sostiene correctamente al Panel SIP, donde finalmente la muestra queda en perfectas condiciones para ser ensayada al fuego.



Solo por observación y de acuerdo con los resultados obtenidos de cada una de las muestras antes probadas, una vez terminado el tiempo correspondiente a cada muestra fue retirado el revestimiento para visualizar las condiciones en las que se encontraba el Panel SIP.

A47 - F30



20mm

A47 - F60



25mm

A47 - F120



30mm

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- En largos periodos como los visualizados en la muestra F120 (temperatura constante durante mínimo 120 minutos) es posible apreciar el daño causado en la zona posterior del revestimiento. Si bien este ultimo presenta síntomas de calcinación por color negro ceniza, al remover todo el revestimiento de la probeta esta no pierde su condición estructural siendo afectada solo por la cara expuesta.
- Con periodos cortos de temperatura constante, se visualizan pocos daños en la superficie afectada. Al remover el revestimiento, tampoco existen indicios de calcinación, solo daño superficial al revestimiento sin que afecte las características soportantes del Panel SIP.

31. Rendimientos

Realizando una estimación de valores en cuanto al costo de fabricación de un sistema constructivo se puede visualizar la siguientes tablas comparativas con otros elementos de construcción.

31.1 Valor m² Construido

Para elementos constructivos similares al Panel SIP y sus homologados la tabla

<i>Rendimiento Valor m2 (app)</i>	
Muro Ladrillo	\$ 80.000
Muro Hormigon	\$ 130.000
Muro Tabiqueria	\$ 50.000
Muro Panel SIP Reciclado 1	\$ 30.000
Muro Panel SIP Reciclado 2	\$ 20.000

En cuanto a la materialidad, los muros construidos de forma tradicional presentan mayor costo material y de mano de obra especializada como en el caso de muros de hormigón y albañilería reforzada.

En comparación con el Panel SIP se diferencian en su costo por el bajo gasto de horas hombre requerido para su construcción, ya que la tabiquería tradicional y muros de Panel SIP se consideran como construcción liviana y requiere menor tiempo de edificación.

31.2 Rendimientos m² Mano de Obra

En comparación con el tiempo requerido en mano de obra y la capacidad de poder ser utilizado como elemento de construcción soportante, los Paneles SIP y tabiquería tradicional presentan una reducción inmediata de tiempo para su uso estructural en comparación con muros de ladrillo o de hormigón, ya que estos últimos requieren de un tiempo determinado para alcanzar su resistencia máxima.

Al comparar un Panel SIP revestido con tierra, el tiempo de fabricación se equipara al de un muro de hormigón, ya que se debe esperar un tiempo para obtener un secado a máximo rendimiento.

Rendimiento x m2 Tiempo Fabricacion/Operativo		
	Fabricar	Operativo
Muro Ladrillo	1 día	20 días
Muro Hormigon	2 días	28 días
Muro Tabiqueria	1/2 día	1/2 día
Muro Panel SIP Reciclado 1	1 1/2 día	28 días
Muro Panel SIP Reciclado 2	1 1/2 día	28 días

31.3 Rendimiento Categorías / Resistencias al Fuego

Al comparar el Panel SIP revestido en Tierra con otros elementos constructivos de su misma categoría, es posible concluir que con los resultados obtenidos en análisis anteriores, es posible comparar este sistema constructivo propuesto con muros de albañilería y hormigón.

Una de sus principales diferencias son los tiempos de construcción y su costo, ya que los Paneles SIP una vez armados pueden ser cargados inmediatamente con otras estructuras y trabajar paralelamente en revestirlos cuando estos ya sean afianzados.

Otra gran diferencia es la posibilidad de reutilización de la tierra en reposición de zonas dañadas, ya que una de sus grandes premisas es la confección de este revestimiento con tierra del mismo lugar donde está emplazada la vivienda. Si bien en la albañilería y en muros de hormigón pueden ser reparados de igual forma, un revestimiento de tierra no requiere de mano muy especializada, permitiendo a los mismos propietarios realizar trabajos de reparaciones en el mismo lugar, sin la necesidad de incurrir en grandes gastos.

Rendimiento Categorías - Resistencias		
Tipo	Categoría	Resistencias
Cortafuego de Albañileria 15cm	F30 a F120	
Cortafuego Hormigon Armado 15cm	F30 a F120	
Cortafuego de Tabiqueria 10cm	F15 a F60	
Cortafuego de Panel SIP 10cm	F15 a 120	

32. Prototipos Albañilería en Panel SIP + Tierra

La propuesta material consiste en la reutilización de los sobrantes de construcciones en Panel SIP combinado con revestimiento a base de tierra como solución constructiva resistente al fuego. Esta combinación fue aplicada con la finalidad de comprobar la resistencia de estos elementos al fuego una vez constituido los paneles.

La disposición de esa solución es la mezcla de técnicas constructivas en tabiquería y albañilería, agregando otros elementos como escalerillas, caneos, montantes, etc. de acuerdo a las soluciones presentadas a más adelante.

Las técnicas de albañilería se complementan con la aplicación de tierra como mortero de pega entre los recortes de Paneles SIP, la cual funciona eventualmente en distintos tamaños de paneles según sean las condiciones de reutilización de estos materiales.

A47 - F30



20mm

A47 - F60



25mm

A47 - F120



30mm

SIP Cemento + Tierra



SIP Tierra + Agua



SIP Arcilla + Tierra



Probetas 15x15cm



Probetas SIP

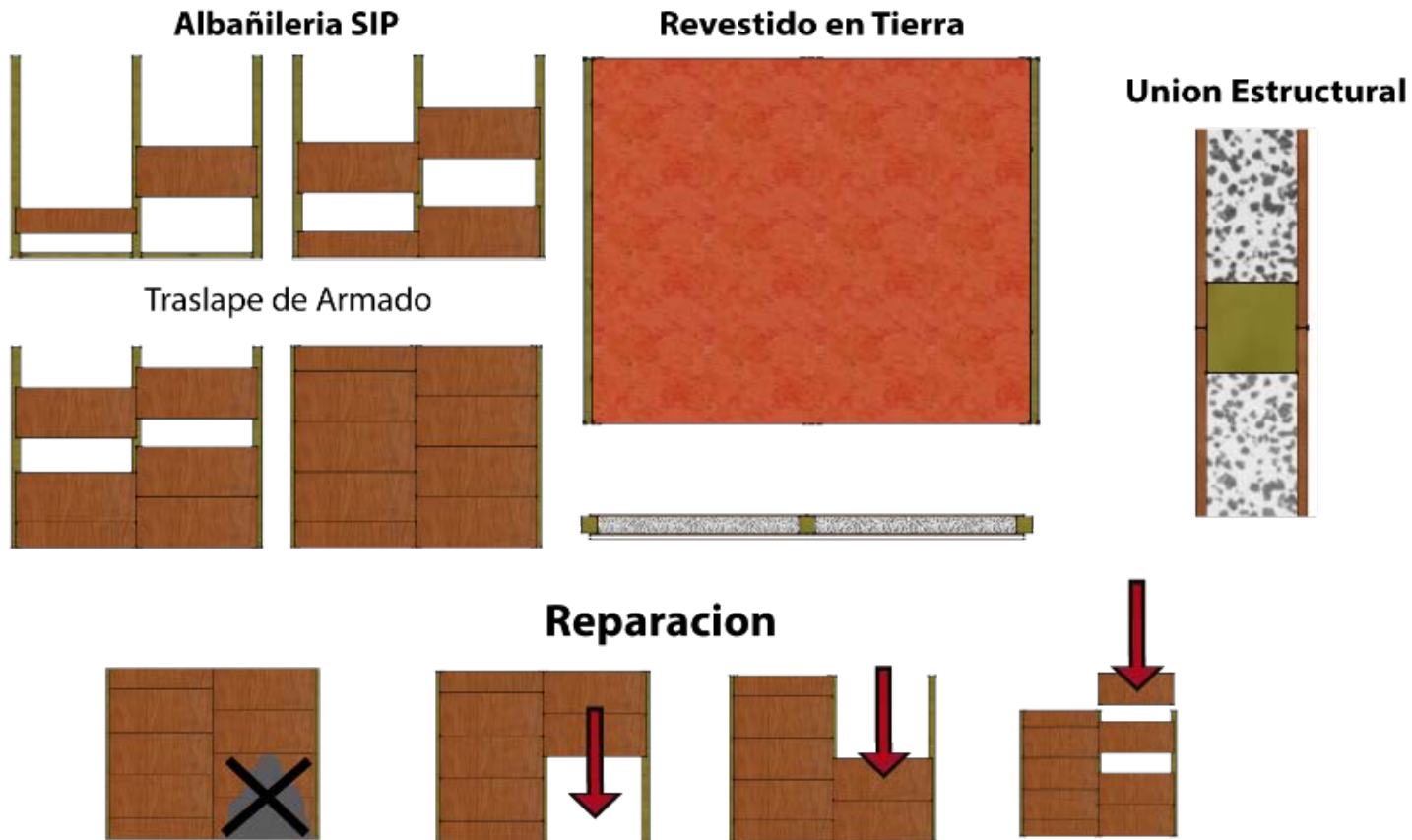


32.1 Modelos de Albañilería

Dependiendo de las dimensiones del Panel SIP reciclado, es necesario diseñar una estructura soportante para estos elementos.

Según el tamaño de estos elementos podrán conservar características auto soportantes y no requerir de elementos estructurales adicionales, pero se recomienda utilizar en viviendas de 1° piso o como estructura liviana en 2° pisos.

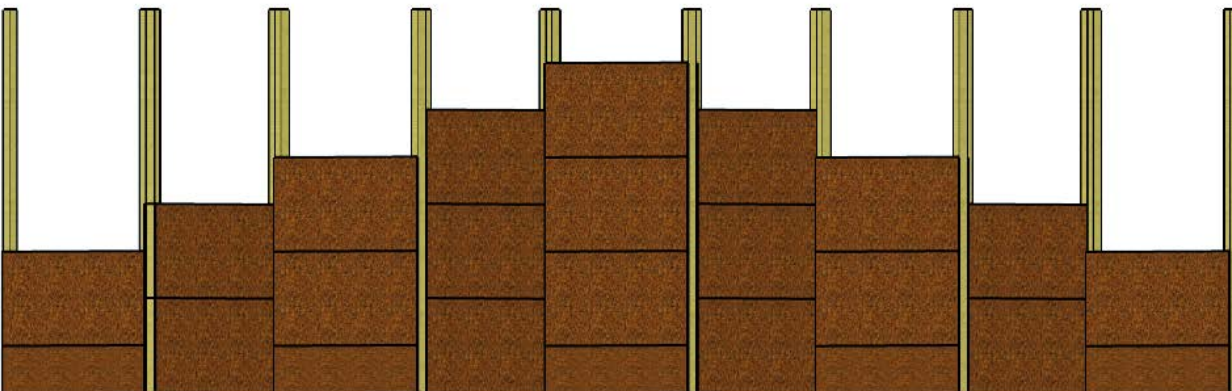
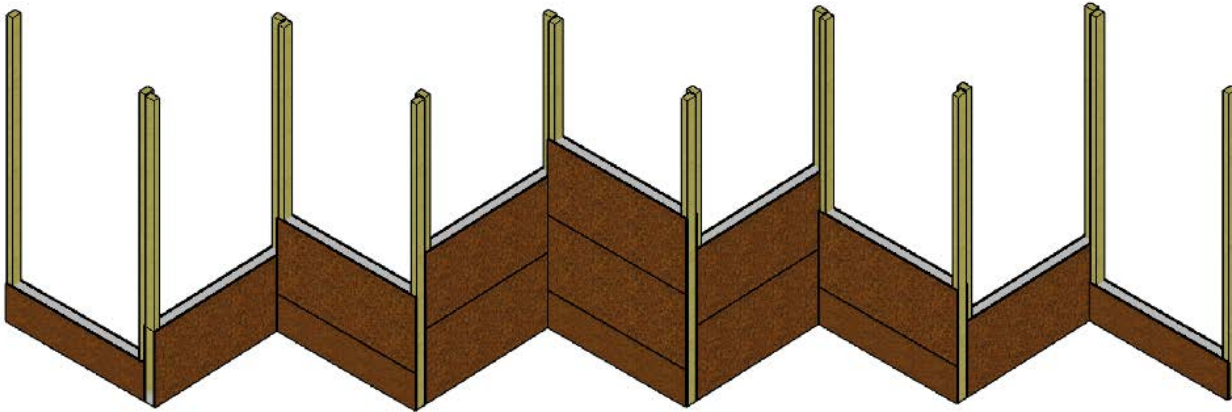
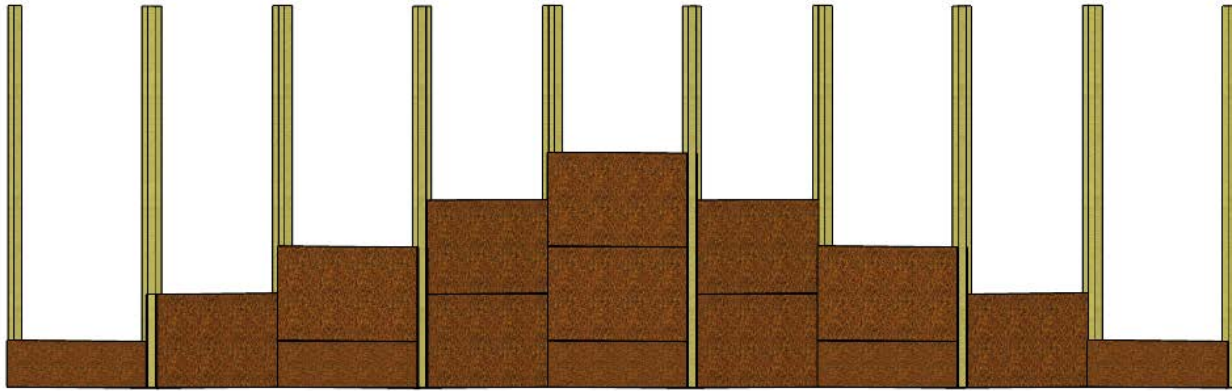
Para retazos de grandes tamaños, se podrán utilizar solos pies derechos a sus lados, pero es recomendable no utilizar uniones de canto entre los retazos de Panel SIP. Como refuerzo se podrán usar canes intermedios horizontales entre paneles.



Prototipos

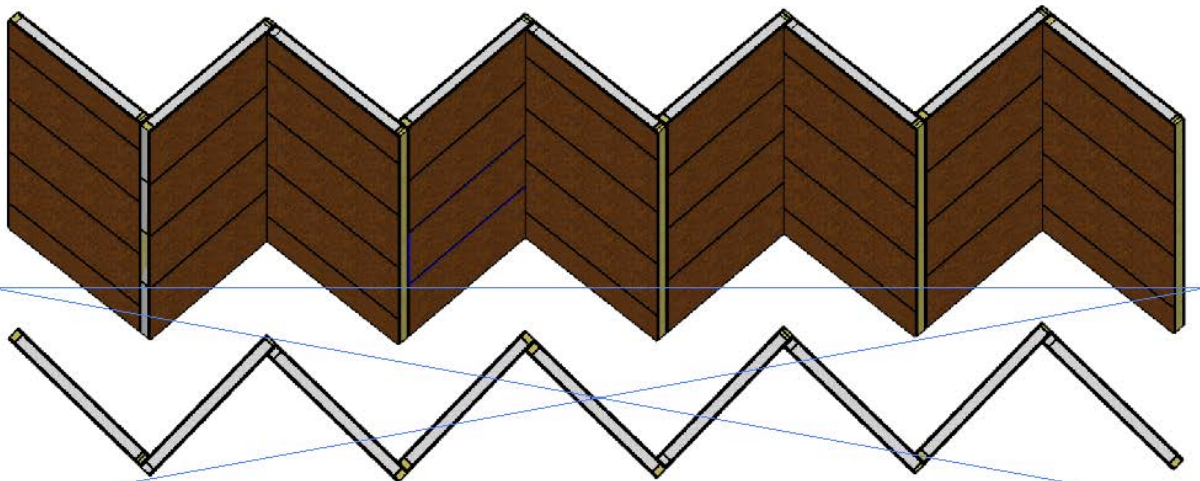
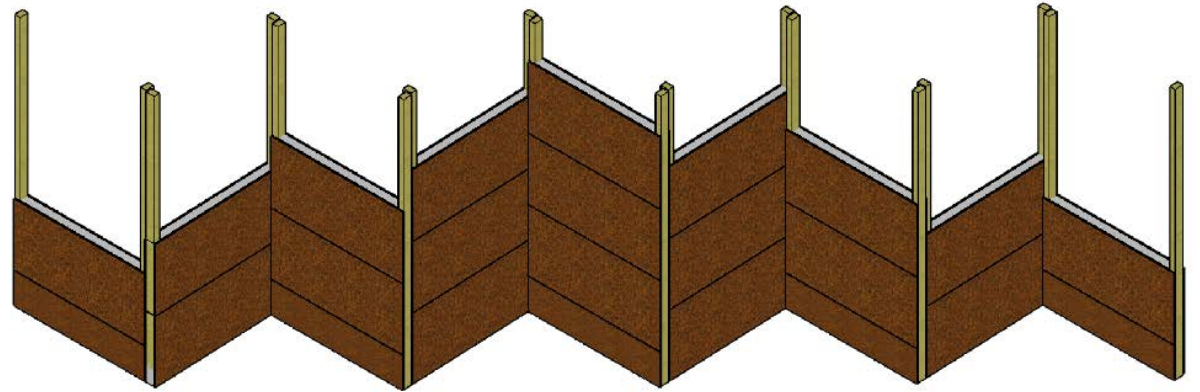
Prototipo Albañilería de Ladrillo1

Retazos Grandes de Paneles SIP



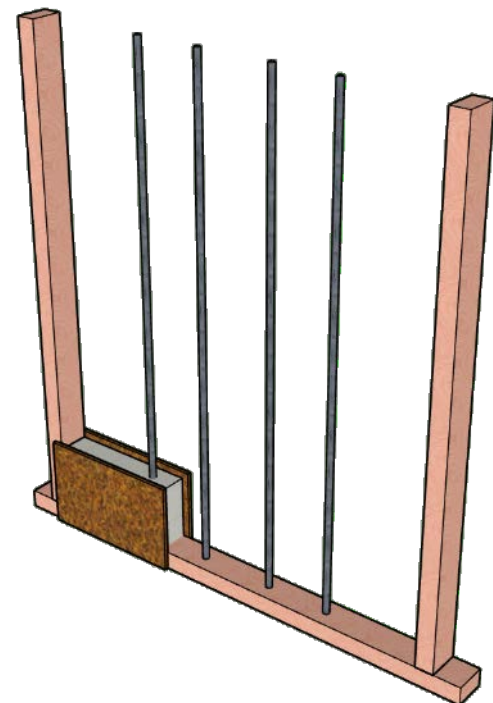
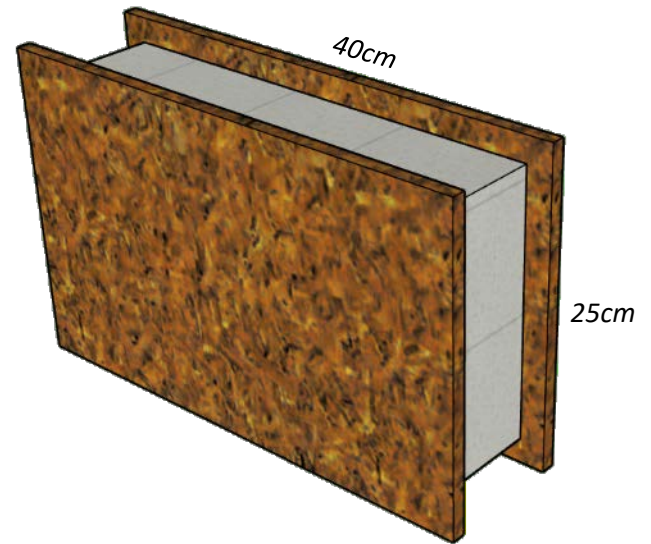
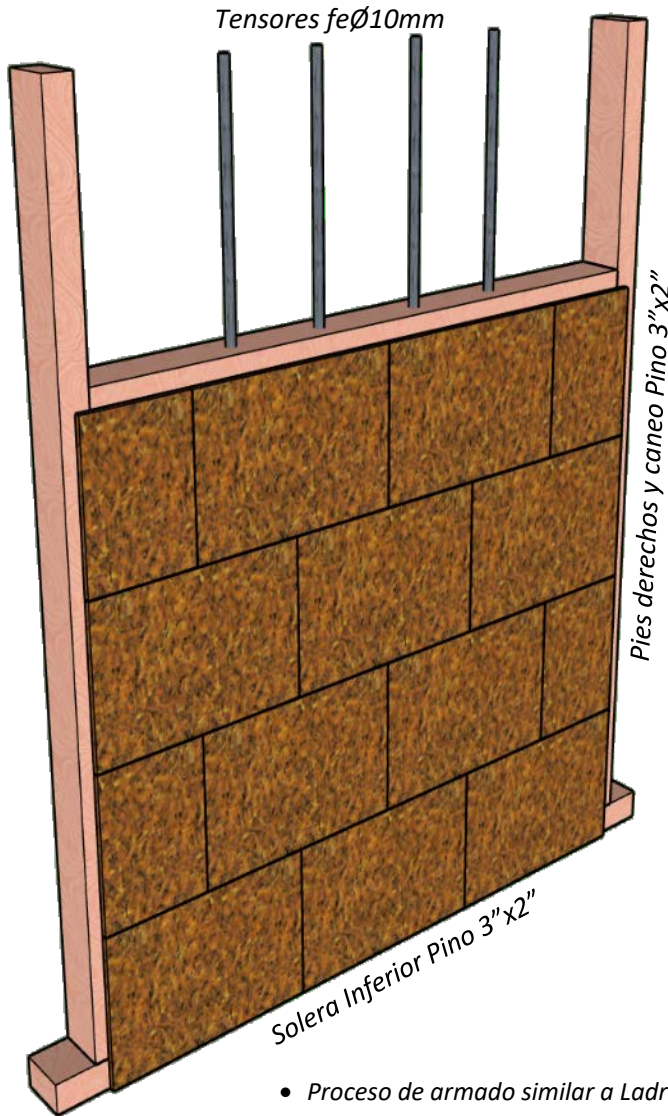
Prototipo Albañilería de Ladrillo 1

Retazos Grandes de Paneles SIP



Prototipo Albañilería de Ladrillo 2

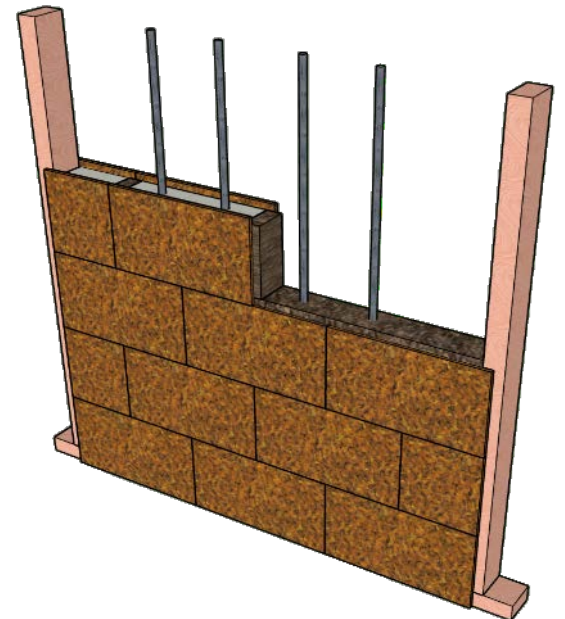
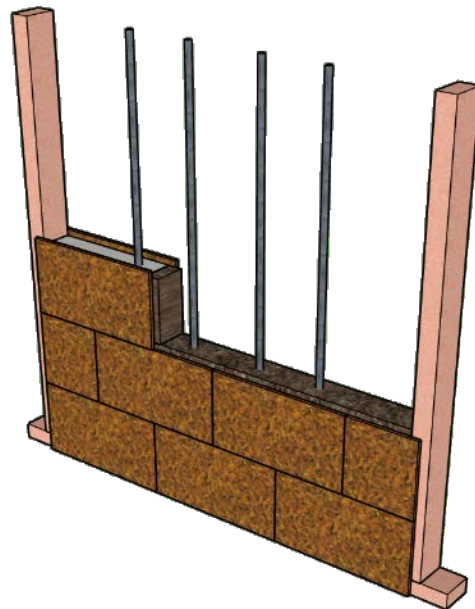
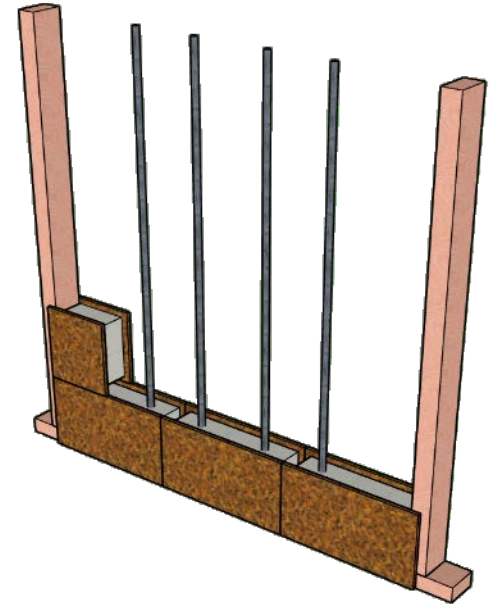
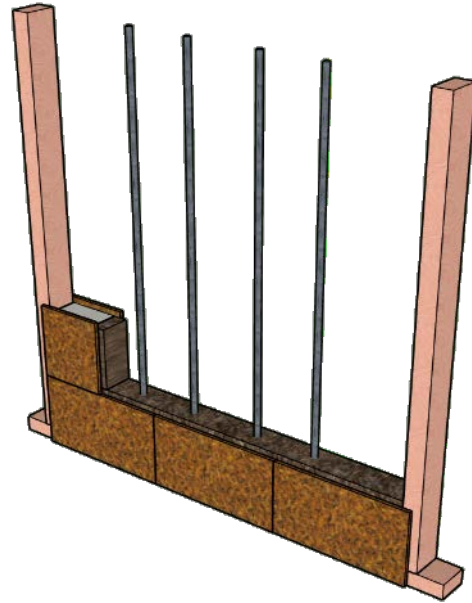
Retazos Pequeños de Paneles SIP



- *Proceso de armado similar a Ladrillos Princesas.*
- *Se deben desgastar los rellenos de Poliuretano para el bloque de Panel SIP con la finalidad de ser sellado con mortero de Tierra + Agua.*
- *Las dimensiones del Bloque se recomiendan de 40x25cm por estandarización de planchas de revestimiento.*

Prototipo Albañilería de Ladrillo 2

Retazos Pequeños de Paneles SIP



33. Conclusiones

El objetivo

Los datos obtenidos en los ensayos realizados permiten visualizar un posible comportamiento de las resistencias que podría caracterizar a un revestimiento confeccionado con tierra. Si bien no se exploran otras variables como otros tipos de sustratos, variados tipos de arcillas, etc., los modelos se enfocan en la problemática del gran Valparaíso como un aporte mas a la diversidad de materiales disponibles en el mercado con igual o mejores resultados.

Es importante mencionar que la metodología utilizada es una interpretación de de la aplicación de la normativa actual y si bien existió la comprobación de que el método se aplicaba y funcionaba bajo condiciones reguladas, faltaría realizar una comprobación más regulada como se aplica en el IDIEM y otros laboratorios que realizan estos tipos de ensayos.

Aplicar tierra como muro cortafuego es posible, funciona siempre y cuando el material sea estrictamente procesado, conservado, dosificado y aplicado, ya que en ensayos con capas vegetales o tamices de mayor apertura no es posible controlar la existencia de material que contamine la mezcla provocando el colapso de estas. Todo material orgánico y pétreo debe ser removido a fin de obtener un producto homogéneo, resistente y duradero en el tiempo.

Panel SIP + Tierra

La diversidad y facilidad de aplicación de estos materiales modernos como elementos constructivos facilita la aplicación de técnicas nuevas y más eficientes. Experimentar la combinación de tierra con el Panel SIP facilita la confección de elementos constructivos, pero no resuelve la problemática planteada en análisis anteriores.

La gran cantidad de desperdicio o recortes sin uso que produce este sistema constructivo obliga a rigidizar el diseño cuando se trata de viviendas más económicas con la finalidad de optimizar el material. Por ente todas las distancias interiores, ventanas, puertas, techos, etc. están condicionados a las dimensiones de este material y hacer más eficiente su implementación.

Los prototipos a base de “Albañilería en Panel SIP” permite reutilizar estos desperdicios aplicando técnicas conocidas y dimensionando estos elementos en secciones menores que aprovechan al máximo su capacidad material. Si implementación es factible para soluciones que requieren economizar la implementación de elementos constructivos eficientes.

Proyección

La aplicación de estos materiales es altamente factible en situaciones que se deseen brindar alternativas de emergencia o prever situaciones de riesgo dada las condiciones actuales de las quebradas de Valparaíso. El trabajo en tierra + agua ha existido siempre, pero mirada que se plantea en esta tesis, permite amplificar soluciones o medidas de mitigación económicas ante desastres de este tipo.

La implementación de esta solución constructiva tiene como fin ser una barrera más en oposición a temperaturas producidas por los incendios y su característica primordial es la aplicación de la misma tierra donde se emplazan las viviendas bajo la premisa de ser implementada como autoconstrucción, pero no es una solución definitiva. Hay variables en una situación de emergencia que no se consideran para esta tesis, como por ejemplo: la carga combustible al interior o exterior de la vivienda (situación que complica aun más el accionar de bomberos ante estas situaciones), la aplicación de agua a altas presiones en incendios sobre estos revestimientos, la cantidad de vanos de puertas o ventanas que contenga la edificación y que permiten el ingreso del fuego por estas mismas, etc. Solo se maneja la variable de retardo de acción del fuego ante un colapso estructural a causa de un incendio permitiendo una temprana y correcta evacuación de una vivienda, evitando pérdidas humanas innecesarias.

34. Bibliografía

Normativa

- Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones OGUC - 2012
- Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Acústico del Ministerio de Vivienda y Urbanismo
- Listado Oficial de Comportamiento al Fuego de Elementos y componentes de la Construcción del Ministerio de Vivienda y Urbanismo 2012
- NCh 3040. OF2007 – Prevención de Incendios en Edificios – Pinturas Intumescentes aplicadas en elementos estructurales de acero - Inspección
- NCh 935/2. OF1984 – Prevención de Incendios en Edificios – Ensayos de Resistencia al fuego Parte 2.
- NCh 2852 OF2006 – Ensayo e Inspección morteros proyectados,
- NCh 2954 OF2006 – Morteros proyectados.
- Normativa Térmica OGUC Art4.1.10

Tesis

- **Muros masa con suelo-cemento compactado** - Felipe Imhoff Castelblanco - Universidad Técnica Federico Santa María – Valparaíso Chile.
- **Sistema constructivo ecológico modular armadura vegetal - Carolina Gabriela Lavín Loayza** – Universidad Técnica Federico Santa Maria - Valparaíso Chile
- **Criterios que determinan los requerimientos de resistencia al fuego de elementos estructurales** - Rodrigo Ignacio José Macari Lagos - Universidad de Chile - Santiago Chile.
- **Diseño de los elementos constructivos de una vivienda de madera unifamiliar aislada según requerimientos mínimos de resistencia al fuego** - Cristóbal Jorge Velásquez Mena – Universidad Austral de Chile - Valdivia Chile.
- **Requerimientos reglamentarios sobre el comportamiento al fuego de materiales usados en edificios de reunión de personas** - Cristian Ignacio Gutiérrez Díaz – Universidad de Chile - Santiago Chile.

Informes

- **Recopilación de la normativa nacional de seguridad contra incendios** – Cámara Chilena de la Construcción – Santiago Chile.
- **Resistencia al Fuego de Materiales** – IDIEM, Investigación, Desarrollo e Innovación de estructuras y Materiales – Santiago Chile.
- **Reacción al Fuego** – Rubén Gonzales – Universidad de Barcelona – Barcelona España.
- **Comportamiento térmico de viviendas con muros de suelo cemento compactado en dos climas** – Universidad de Buenos Aires – Argentina.
- **Suelo cemento como material de construcción** – Instituto Tecnológico de Santo Domingo – Santo Domingo Republica Dominicana.

35. Anexos

Resumen Registro de Probetas de Tierra + Agua									
Categorías	F-15	F-30	F-60	F-90	F-120	F-150	F-180	F-240	
Harneros	% Agua	N° Muestra	10mm	15mm	20mm	25mm	30mm	Tipo	
N°8 -Ap 3mm	15	A1	x	x	x	F-15	F-15	Capa Vegetal	
N°12 -Ap 2mm	15	A2	x	x	F-15	F-15	F-15		
N°18 -Ap 1mm	15	A3	x	x	F-15	F-15	F-15		
N°30 -Ap 0,7mm	15	A4	x	x	F-15	F-15	F-15		
N°40 -Ap 0,5mm	15	A5	x	F-15	F-15	F-15	F-15		
N°50 -Ap 0,35mm	15	A6	x	F-15	F-15	F-15	F-15		
N°8 -Ap 3mm	17	A7	x	x	F-15	F-15	F-15	25cm de Capa Vegetal	
N°12 -Ap 2mm	17	A8	x	x	F-15	F-15	F-15		
N°18 -Ap 1mm	17	A9	x	F-15	F-15	F-15	F-30		
N°30 -Ap 0,7mm	17	A10	F-15	F-15	F-15	F-30	F-30		
N°40 -Ap 0,5mm	17	A11	F-15	F-30	F-30	F-30	F-30		
N°50 -Ap 0,35mm	17	A12	F-30	F-30	F-30	F-30	F-30		
N°8 -Ap 3mm	20	A13	x	F-15	F-15	F-30	F-60	50cm de Capa Vegetal	
N°12 -Ap 2mm	20	A14	F-15	F-15	F-30	F-60	F-60		
N°18 -Ap 1mm	20	A15	F-15	F-30	F-30	F-60	F-90		
N°30 -Ap 0,7mm	20	A16	F-30	F-60	F-60	F-60	F-90		
N°40 -Ap 0,5mm	20	A17	F-60	F-60	F-60	F-90	F-90		
N°50 -Ap 0,35mm	20	A18	F-60	F-60	F-90	F-90	F-120		
N°8 -Ap 3mm	22	A19	F-15	F-15	F-15	F-30	F-60		

N°12 -Ap 2mm	22	A20	F-15	F-15	F-30	F-60	F-60	75cm de Capa Vegetal
N°18 -Ap 1mm	22	A21	F-30	F-30	F-60	F-60	F-60	
N°30 -Ap 0,7mm	22	A22	F-30	F-60	F-60	F-90	F-90	
N°40 -Ap 0,5mm	22	A23	F-30	F-60	F-90	F-90	F-90	
N°50 -Ap 0,35mm	22	A24	F-30	F-60	F-90	F-120	F-120	
N°8 -Ap 3mm	25	A25	x	x	F-15	F-30	F-60	Tierra Reciclada
N°12 -Ap 2mm	25	A26	x	F-15	F-15	F-30	F-60	
N°18 -Ap 1mm	25	A27	F-15	F-15	F-30	F-60	F-60	
N°30 -Ap 0,7mm	25	A28	F-15	F-30	F-30	F-60	F-90	
N°40 -Ap 0,5mm	25	A29	F-30	F-30	F-60	F-60	F-90	
N°50 -Ap 0,35mm	25	A30	F-30	F-60	F-60	F-90	F-120	
N°8 -Ap 3mm	27	A31	F-15	F-15	F-30	F-30	F-60	Adobe Reciclado
N°12 -Ap 2mm	27	A32	F-15	F-30	F-30	F-30	F-60	
N°18 -Ap 1mm	27	A33	F-30	F-30	F-30	F-60	F-60	
N°30 -Ap 0,7mm	27	A34	F-30	F-30	F-60	F-60	F-90	
N°40 -Ap 0,5mm	27	A35	F-30	F-30	F-60	F-60	F-90	
N°50 -Ap 0,35mm	27	A36	F-30	F-60	F-60	F-90	F-90	
N°30 -Ap 0,7mm	20	A37	F-30	F-30	F-30	F-60	F-90	50cm de Capa Vegetal
N°40 -Ap 0,5mm	20	A38	F-30	F-30	F-60	F-90	F-90	
N°30 -Ap 0,7mm	25	A39	F-30	F-30	F-30	F-60	F-90	50cm de Capa Vegetal
N°40 -Ap 0,5mm	25	A40	F-30	F-30	F-60	F-90	F-90	
N°30 -Ap 0,7mm	27	A42	F-30	F-30	F-30	F-60	F-90	50cm de Capa Vegetal
N°40 -Ap 0,5mm	27	A43	F-30	F-30	F-60	F-90	F-90	
N°30 -Ap 0,7mm	30	A44	F-30	F-30	F-30	F-60	F-90	50cm de Capa Vegetal
N°40 -Ap 0,5mm	30	A45	F-30	F-30	F-60	F-90	F-90	
N°30 -Ap 0,7mm	27	A34	F-30	F-30	F-30	F-60	F-90	50cm de Capa Vegetal
N°40 -Ap 0,5mm	27	A35	F-30	F-30	F-60	F-90	F-90	
N°50 -Ap 0,35mm	27	A36	F-30	F-30	F-60	F-90	F-90	

Registro Ensayos de Probetas Tierra + Arcilla Refractaria + Agua									
Categorías		F-15	F-30	F-60	F-90	F-120	F-150	F-180	F-240
Harneros	% Agua	% Arcilla	N° Muestra	10mm	15mm	20mm	25mm	30mm	Tipo
N°18 -Ap 1mm	18	12	A1	x	x	F-15	F-15	F-30	50cm de Capa Vegetal
N°30 -Ap 0,7mm	18	12	A2	x	F-15	F-30	F-30	F-60	
N°40 -Ap 0,5mm	18	12	A3	x	F-30	F-30	F-60	F-60	
N°18 -Ap 1mm	20	15	A4	x	x	F-15	F-30	F-30	
N°30 -Ap 0,7mm	20	15	A5	x	F-15	F-30	F-60	F-60	
N°40 -Ap 0,5mm	20	15	A6	x	F-30	F-60	F-60	F-90	
N°18 -Ap 1mm	23	20	A7	x	x	F-15	F-30	F-30	
N°30 -Ap 0,7mm	23	20	A8	x	F-15	F-30	F-60	F-60	
N°40 -Ap 0,5mm	23	20	A9	x	F-15	F-30	F-60	F-90	
N°18 -Ap 1mm	25	33	A10	x	F-15	F-15	F-30	F-60	
N°30 -Ap 0,7mm	25	33	A11	x	F-30	F-30	F-60	F-90	
N°40 -Ap 0,5mm	25	33	A12	x	F-30	F-60	F-90	F-120	
N°18 -Ap 1mm	28	50	A13	x	F-15	F-15	F-30	F-60	
N°30 -Ap 0,7mm	28	50	A14	F-15	F-15	F-30	F-60	F-60	
N°40 -Ap 0,5mm	28	50	A15	F-15	F-30	F-60	F-90	F-90	
N°30 -Ap 0,7mm	28	50	A16	F-30	F-60	F-90	F-90	F-120	

Registro Ensayos de Probetas Tierra + Cemento + Agua

Categorías		F-15	F-30	F-60	F-90	F-120	F-150	F-180	F-240	
Harneros	% Agua	% Arcilla	N° Muestra	10mm	15mm	20mm	25mm	30mm	Tipo	
N°18 -Ap 1mm	18	12	A1	x	x	F-15	F-15	F-30	50cm de Capa Vegetal	
N°30 -Ap 0,7mm	18	12	A2	x	F-15	F-30	F-30	F-60		
N°40 -Ap 0,5mm	18	12	A3	x	F-30	F-30	F-60	F-60		
N°18 -Ap 1mm	20	15	A4	x	x	F-15	F-30	F-30		
N°30 -Ap 0,7mm	20	15	A5	x	F-15	F-30	F-60	F-60		
N°40 -Ap 0,5mm	20	15	A6	x	F-30	F-60	F-60	F-90		
N°18 -Ap 1mm	23	20	A7	x	x	F-15	F-30	F-30		
N°30 -Ap 0,7mm	23	20	A8	x	F-15	F-30	F-60	F-60		
N°40 -Ap 0,5mm	23	20	A9	x	F-15	F-30	F-60	F-90		
N°18 -Ap 1mm	25	33	A10	x	F-15	F-15	F-30	F-60		
N°30 -Ap 0,7mm	25	33	A11	x	F-30	F-30	F-60	F-90		
N°40 -Ap 0,5mm	25	33	A12	x	F-30	F-60	F-90	F-120		
N°18 -Ap 1mm	28	50	A13	x	F-15	F-15	F-30	F-60		
N°30 -Ap 0,7mm	28	50	A14	F-15	F-15	F-30	F-60	F-60		
N°40 -Ap 0,5mm	28	50	A15	F-15	F-30	F-60	F-90	F-90		
N°30 -Ap 0,7mm	28	50	A16	F-30	F-60	F-90	F-90	F-120		