



Tierra y Agua Selva y Ciudad

24 al 28 de octubre de 2016



## VALIDACIÓN ANTE NORMA CHILENA DE SISTEMA CONSTRUCTIVO EN MADERA, FARDOS DE PAJA Y TIERRA

Romina Acevedo Oliva<sup>1</sup>; Oscar Carrillo Zúñiga<sup>2</sup>

Centro de Educación Medioambiental Manzana Verde / Estudio Tribal, Chile

<sup>1</sup>romina@estudiotribal.cl; <sup>2</sup>oscar@estudiotribal.cl

**Palabras Claves:** Eficiencia energética, reinterpretación arquitectura patrimonial, madera, fardos de paja, tierra

### Resumen

El siguiente trabajo se orientó en validar ante la normativa de construcción vigente en Chile un sistema constructivo basado en bio-materiales locales sustentables: madera, fardos de paja de trigo y tierra; materiales que representan en gran medida el patrimonio constructivo en Chile y además son de baja huella de carbono e incluso sumideros de carbono. Se construyeron en total ocho muros de ensayo para someter a cuatro estudios técnicos en laboratorios validados por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), los cuales fueron: comportamiento al fuego en el IDIEM de la Universidad de Chile; transmitancia térmica, estructural de compresión lateral y estructural de compresión vertical en el Laboratorio CITEC de la Universidad del Bio-Bio. Los resultados fueron; por un lado, una resistencia térmica ( $R_t$ ) de  $6,67 \text{ m}^2\text{k/W}$  superior en 11 veces a lo exigido para la zona térmica donde se encuentra la ciudad de Concepción; por otra lado, una resistencia al fuego (F) mayor en 8 veces para muros perimetrales de una vivienda de menos de  $140 \text{ m}^2$  y de 4 veces para aquellas de superficies superiores a  $140 \text{ m}^2$ ; y por último, la necesidad de estructurar con diagonales metálicas o en madera los paramentos de muro según calculo estructural individual de cada proyecto. El estudio contó con el financiamiento de Fondos de Innovación de Innova Bio-Bio Chile y la participación de diversas instituciones y organizaciones. Los resultados permiten el ingreso de proyectos de arquitectura que usen este sistema constructivo en cualquier Dirección de Obras Municipales del país, además de proporcionar los informes exigidos por el Servicio de Vivienda y Urbanización de Chile (SERVIU) para construir vivienda social subsidiada con estos materiales.

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Aspectos culturales

La cultura constructiva asociado a la tierra en América, desde un punto de vista histórico, consta desde épocas precolombinas y sólo decae en las primeras décadas del Siglo XX en Chile, según Jorquera (2014); por otro lado, la arquitectura en tierra es por si misma una expresión de la arquitectura vernácula, tomando en consideración a los autores del libro "Casas Hechas a Mano" (May, Reid, 2010) que definen que la arquitectura vernácula, por su propia naturaleza, utiliza materiales que son fácilmente disponibles y, por tanto, se circunscriben a las condiciones geográficas, ecológicas y climatológicas del lugar. Actualmente, desde varios movimientos culturales se plantea el retorno a la construcción con tierra y materiales locales impulsado por la necesidad de sostenibilidad en el planeta, desde el punto de vista de la disponibilidad de recursos e igualdad social, tal como lo plantea el "Laufen Manifiesto" (Heringer, Lepik, 2014), donde se propone la expresión de la identidad local y la comprensión del territorio como ejes del nuevo hábitat humano.

Los desafíos de la construcción con tierra y su adaptación a modos de vida urbana contemporánea, la imagen de la modernidad y la cultura global son también puntos a considerar desde la misma enseñanza de la arquitectura, tal como lo plantea Rodríguez Larain (2013), donde también se plantea la necesidad de investigar sistemas constructivos que representan nuestra cultura local y que precisan cumplir con estándares técnicos modernos para proyectar su uso a futuro

### 1.2 Aspectos técnicos

En Chile, el desarrollo sustentable está definido en la Ley N° 19.300 de Bases del Medio Ambiente (2011, p.2) como “el proceso de mejoramiento sostenido y equitativo de la calidad de vida de las personas, fundado en medidas apropiadas de conservación y protección del medio ambiente, de manera de no comprometer las expectativas de las generaciones futuras”. Uno de los grandes desafíos que plantea el desarrollo sustentable es la construcción, por tal razón en 2012 se firmó un convenio marco de colaboración entre el Ministerio de Obras Públicas, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Ministerio de Energía y Ministerio del Medio Ambiente con el objetivo de coordinar, promover, difundir y fomentar la construcción sustentable en el país.

A nivel internacional, los países que participaron en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) en Kyoto, Japón, en diciembre de 1997 redactaron conjuntamente un acuerdo internacional sobre el calentamiento global conocido como el Protocolo de Kyoto. Los países que aprueban el documento se comprometen a reducir las seis categorías de gases de efecto invernadero (GEI). En la mayoría de los países industrializados, el gas más importante de efecto invernadero emitido es el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que representan el 80% a 85% del total de GEI.

Los materiales para la construcción se pueden dividir entre los que son fuentes netas de CO<sub>2</sub> y aquellos que son sumideros de CO<sub>2</sub>. Por un lado se encuentran los metales, materiales sintéticos derivados del petróleo y los cementicios; por otro lado, están los materiales naturales orgánicos de bajo tratamiento industrial, que tienen la capacidad de absorber CO<sub>2</sub> durante la fase de crecimiento propio de las plantas (MacMath, Fisk, 1999). La figura 1 presenta un listado de materiales comunes en la construcción, en ella se constata los fardos de paja como principal sumidero de CO<sub>2</sub>.

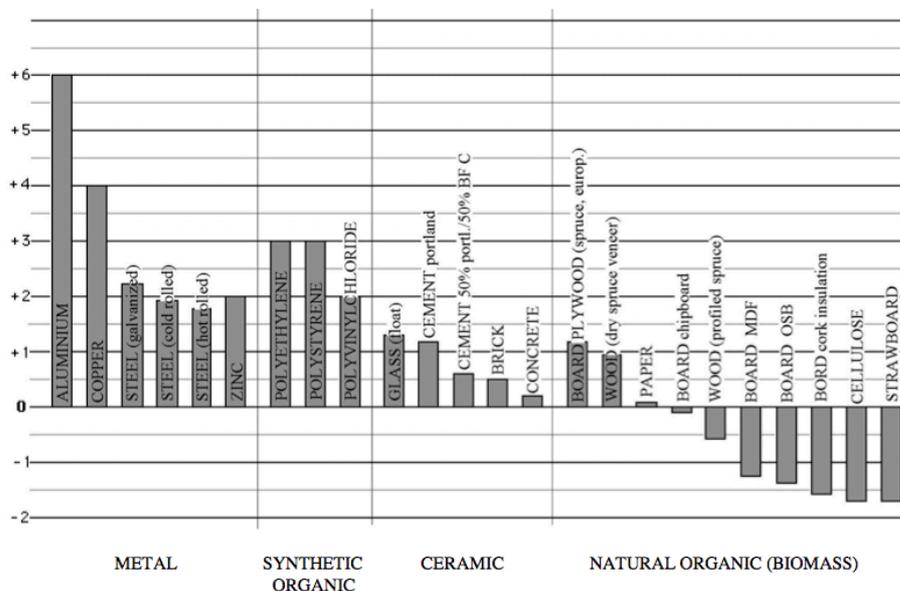


Figura 1. Tabla comparativa de materiales para la construcción (MacMath, Fisk, 1999)

Se intenta validar un sistema constructivo en Chile que posea los atributos ambientales que tienen los fardos de paja y las referencias al patrimonio constructivo que representa el uso de tierra, con este objetivo se realizaron los estudios mínimos para validar un sistema constructivo establecidos en la actual regulación constructiva en Chile, patente en la Ley General de Urbanismo y Construcción (LGUC) y su Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC) y Normas Chilenas de Construcción (NCh).

## 2. MÉTODO

### 2.1 Definición del sistema constructivo a ensayar

Para el presente estudio se definió un sistema constructivo el cual es un elemento estructural destinado a uso como muro divisorio o perimetral de edificios, formado por fardos de paja confinados en una estructura de madera, dispuestos en aparejo tipo "pandereta". Los fardos poseen una densidad aproximada de  $90 \text{ kg/m}^3$  y dimensiones de  $1 \text{ m} \times 0,45 \text{ m} \times 0,35 \text{ m}$ , aproximadamente. La estructura confinante se compone en su totalidad por madera de pino con impregnación por vacío (IPV) de  $2'' \times 3''$  ( $45 \text{ mm} \times 69 \text{ mm}$ ), más placa de OSB de  $15 \text{ mm}$ . Los elementos verticales se distancian al ancho de dos fardos de paja y se componen de dos pies derecho distanciados a  $0,30 \text{ metros}$  a eje en sentido perpendicular al muro, con travesaños de  $0,25 \text{ m}$ . Los elementos horizontales se configuran de manera similar, incorporando travesaños de  $0,25 \text{ metros}$  cada  $0,43 \text{ metros}$  a eje. Por la cara interna de los componentes verticales y horizontales, se refuerza con placa de OSB de  $15 \text{ mm}$ . Sobre las caras de muro se aplica un primer revoque de imprimación en base a tierra arcillosa de alta plasticidad (TAAP) y arena de río, en proporción  $1:1$ , el cual debe penetrar  $3 \text{ cm}$  dentro del fardo de paja. Posteriormente, una vez seco la capa anterior, se aplica un segundo revoque en base a TAAP, arena y paja de trigo picada en proporción de  $1:2:1$ , con un espesor de  $3 \text{ cm}$  interior y  $4 \text{ cm}$  exterior. Se completa el muro con un último revoque en base a TAAP y arena en proporción de  $1:3$  al cual se le agrega  $10\%$  de cal hidratada a la mezcla, con un espesor de  $1 \text{ cm}$  interior y exterior. El ancho total del muro es de  $44 \text{ cm}$  (figura 2).

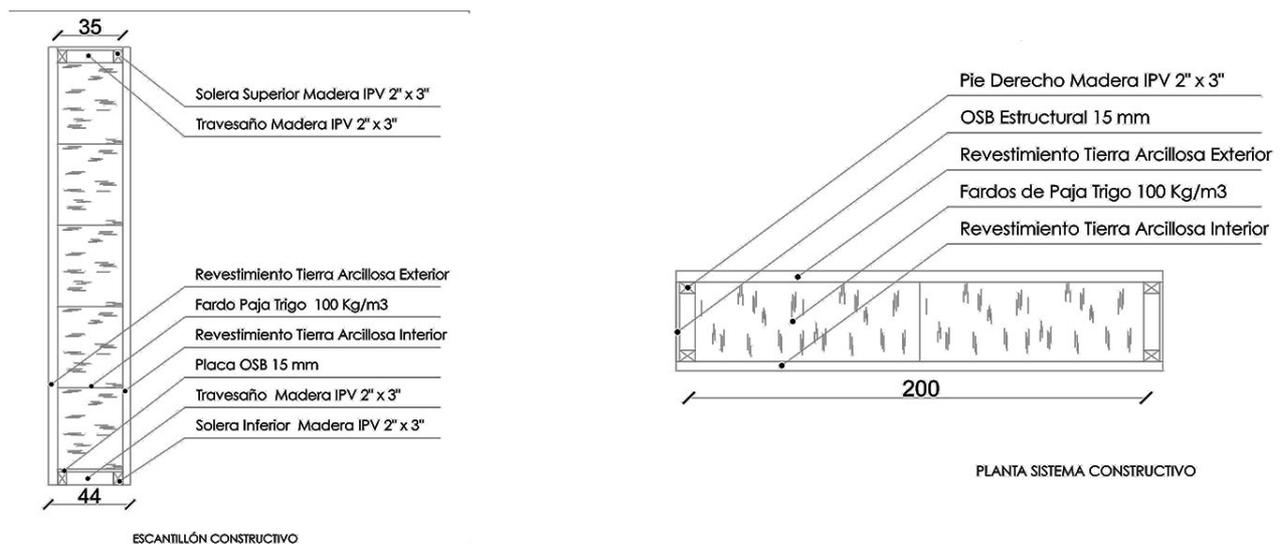


Figura 2. Escantillón constructivo y planta del sistema constructivo

### 2.2 Estudios según normativa vigente

La actual normativa de construcción en Chile exige la comprobación técnica de las cualidades físicas de los elementos que conforman el muro para permitir su uso en todo el país, de esta forma se construyeron 8 probetas para los 4 ensayos mínimos para validar un nuevo sistema constructivo en Chile

#### 2.2.1. Estudio de transmitancia térmica (NCh851:2008)

Estudio realizado en los Laboratorios del Centro de Investigación de Tecnológicas de la Construcción (CITEC) de la Universidad del Bio-Bio y tiene el objetivo de precisar la resistencia térmica del sistema constructivo, de tal forma poder cumplir con las exigencias de las 7 zonas térmicas en las cuales esta dividido Chile según la normativa actual. El muro de prueba se construye dentro de un bastidor determinado de  $1,38 \times 1,54 \text{ metros}$  el cual después se introduce dentro de una termocúpula que registra la transmitancia térmica (U) la

que a su vez permite conocer la resistencia térmica ( $R_t$ ) de una solución constructiva al dividir el número 1 por el U. La solución ensayada sólo fue a partir de un fragmento de muro, lo cual no incluyo elementos de madera ni placas, sólo los fardos de paja y los revoques en tierra cruda (figura 2).

#### 2.2.2. Estudios de carga horizontal (NCh802:1971)

El Estudio fue realizado en los Laboratorios de CITEC de la Universidad del Bio-Bio y buscó calcular la máxima carga horizontal que puede soportar el muro. Se construyeron 3 probetas de ensayo de un ancho de 2 metros de largo x 2,4 metros de alto x 0,35 metros de ancho, sin revestimientos en tierra. Las probetas fueron sometidas a esfuerzos en la parte lateral del muro por medio de un pistón que le aplica cargas en un intervalo de 5 minutos, aumentando gradualmente la fuerza hasta el colapso estructural del muro de ensayo. Los resultados se promediaron entre todas las probetas ensayadas (figura 2).

#### 2.2.3. Estudios de compresión vertical (NCh801:2003)

Realizado también en laboratorios de CITEC de la Universidad del Bio-Bio y tuvo como objetivo calcular cuanto carga soporta un muro aplicada en la parte superior de la probeta de un ancho de 2 m de largo x 2,4 m de alto x 0,35 de ancho, sin revestimientos en tierra. El estudio también requirió la construcción de 3 muros los cuales se sometieron a un peso controlado en la parte superior del muro por medio de un pistón que le aplica cargas en un intervalo de 5 minutos, aumentando gradualmente la fuerza hasta el colapso estructural del muro de ensayo. Los resultados se promediaron entre todas las probetas ensayadas (figura 2).

#### 2.2.4. Estudio comportamiento al fuego (Nch935/1:1997)

Estudio llevado a cabo en laboratorio IDIEM de la Universidad de Chile y tiene como finalidad determinar el retardo al fuego en minutos de un muro de construcción. Se construyó un muro de ensayo de medidas 2,2 m de ancho, 2,4 m de alto y 0,42 m de ancho. La solución ensayada incluyó todos los elementos constituyentes del muro: madera aserrada, placas de madera y terminación en tierra. El muro se introduce para su ensayo dentro de un bastidor, cuya cara interna queda dentro de un horno, el cual quema de forma controlada la probeta. El ensayo se detiene en el momento que la llama de fuego traspasa el muro o cuando la emisión de gases o temperatura supera los límites establecidos por la norma o en último caso cuando se sobrepasa el tiempo contratado para el ensayo (figura 3).



Figura 3: Descripción de ensayos de transmitancia térmica, carga horizontal, carga vertical y comportamiento al fuego

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Estudio comportamiento al fuego

El ensayo realizado en el IDIEM constato un retardo de 120 minutos a la acción del fuego (F-120), lo cual significo el máximo del estudio contratado, pudiendo haber logrado resultados superiores, sin embargo F-120 se considera la resistencia de un muro cortafuego, lo cual permite construir cualquier tipo de muro, considerando las exigencias es F-30 para casas sobre 140 m<sup>2</sup> y solo F-15 para viviendas de menor metraje.

#### 3.2 Estudio estructural de corte (carga horizontal)

El sistema constructivo soporta en su alto de 2,4 metros un total de 400 kg aplicado lateralmente, lo cual no fue tan positivo ya que se estimaba pudiera soportar 700 kg; sin embargo la solución es colocar diagonales metálicas o de madera que puedan soportar los esfuerzos horizontales.

#### 3.3 Estudio estructural de compresión (carga vertical)

El sistema constructivo soporta en su largo de 2 metros de un total aproximado de 18.000 kg fuerza, lo cual es muy positivo cuando se calcule el peso de una vivienda. El resultado significará que el calculista del proyecto podrá suponer una construcción de hasta 2 pisos y una techumbre tan pesada como de arcilla cocida.

#### 3.4 Estudio de transmitancia térmica

Los resultados del estudio térmico fueron de una resistencia térmica (Rt) de 6,67 m<sup>2</sup>k/W y una transmitancia (U) de 0,151 W/m<sup>2</sup>k; resultados que sobrepasan con creces el requerimiento de la zona térmica 7 de Chile el cual debe ser mayor a una Rt de 1,67 m<sup>2</sup>k/W y menor a un U de 0,59 W/m<sup>2</sup>k

<b>ESTUDIOS</b>			
	<b>Térmico</b>	<b>Estructural</b>	<b>Al Fuego</b>
<b>NORMATIVA VIGENTE</b>	<b>Artículo 4.1.10 O.G.U.C. NCh. 853/2007</b>	<b>NCh. 801 y NCh 802</b>	<b>Artículo 4.3.2, 4.3.3 4.3.4 de la O.G.U.C. NCh 935 Of.97</b>
<b>DESCRIPCIÓN DE LA NORMATIVA</b>	Fija Resistencias Térmicas mínimas según Zona Térmica; y formas de calculo de Resistencia Térmica de Materiales para la Construcción	Determina exigencias, resistencia a la Compresión y Corte de Paneles Estructurales.	Establece Resistencias mínimas a la Acción del fuego dependiendo del tipo de Muro; y Norma la resistencia al Fuego de Soluciones Constructivas
<b>EXIGENCIA NORMATIVA</b>	Zona Térmica N° 4 (Concepción, Chillán, Los Angeles) Resistencia Térmica (Rt) de Muros debe ser superior a 0,58 M2k/W	Depende de cada proyecto específico.	F-15: Muros Perimetrales vivienda menor a 140 m2. F-30: Muros perimetrales viviendas mayores a 140 m2. F-60: Muros Medianeros. F-120: Muros Cortafuego
<b>LABORATORIO ACREDITADOR</b>	CITEC UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO	CITEC UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO	IDIEM UNIVERSIDAD DE CHILE
<b>RESULTADO ESTUDIO</b>	Rt: 6,67 M2k/W	Ensayo a la Compresión: superior a 20.000 Kgf. Ensayo al Corte: 267 Kgf	Resistencia superior a 120 minutos (F-120)
<b>EVALUACIÓN RESULTADO</b>	Superior en 1.100% exigencia Zona Térmica 4 y superior en 400% a la Zona Térmica 7 (zonas más heladas del país)	A la compresión da la posibilidad de construir en 2 pisos. Al corte exige incorporar diagonales metálicas o de madera según calculo estructural específico	Implica que todos los muros construidos con Fardos de Paja y Revestimiento de Tierra son considerados Muros Cortafuego

Tabla 1: Tabla de resumen de resultados del sistema constructivo validado

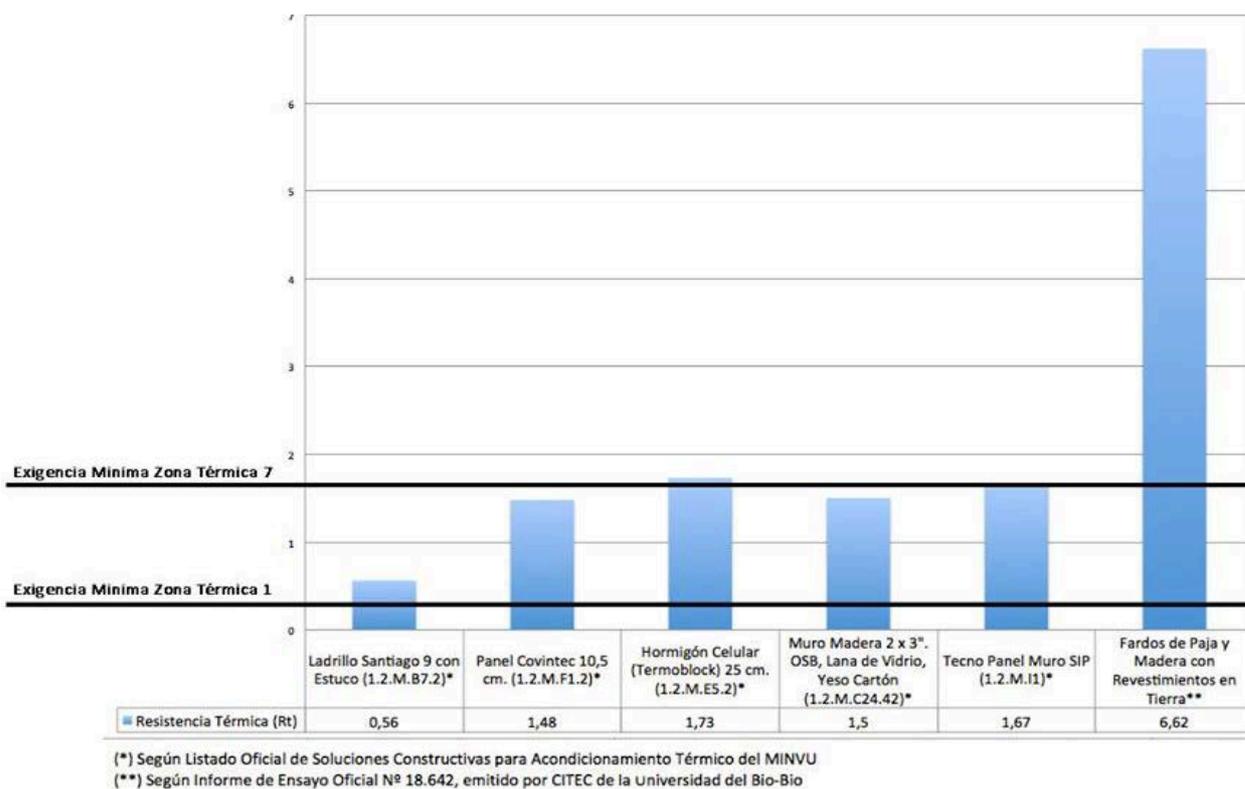


Figura 4: Tabla comparativa de resultados de resistencia térmica de sistemas constructivos de amplio uso en el mercado de la construcción en Chile y sistema constructivo estudiado

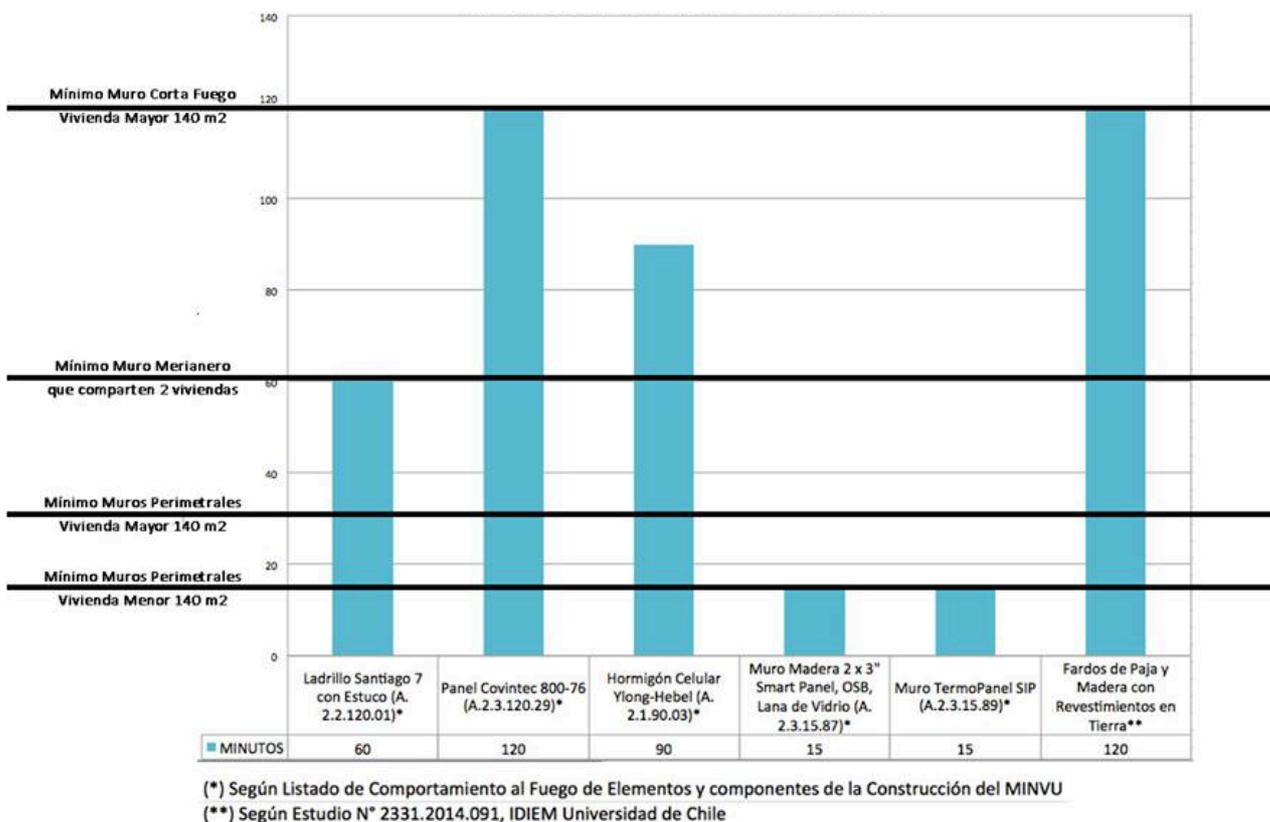


Figura 5: Tabla comparativa de resultados de resistencia al fuego de sistemas constructivos de amplio uso en el mercado de la construcción en Chile y sistema constructivo estudiado

## 4 CONCLUSIÓN

Se trabajó en la validación de un sistema constructivo atípico, que no se encuentra en ferreterías o empresas dedicadas a la construcción de forma habitual, lo cual presenta una dificultad en la masificación de este sistema constructivo y otros que usen bio-materiales que han demostrado tener parámetros para ser considerado un material de alta sustentabilidad.

Por un lado el desempeño a la acción del fuego significa que es posible construir viviendas con muros con un retardo superior en 4 veces a lo exigido para muros perimetrales; por otro lado, su también excelente desempeño térmico implican que se puede construir muros que necesitan mínimos gastos en calefacción, superior en 11 veces a lo exigido por la normativa actual; por último, desde el punto de vista estructural, se ha podido determinar que la estructura soportante ante sismos debe ser sólo calculada a través del uso de madera y la inclusión de elementos metálicos depende el caso, lo cual puede ser demostrada sólo a través de calculo estructural.

El estudio no contempló ensayos acústicos, por tal razón no es posible construir viviendas de agrupación pareada ni continua, donde es necesaria la determinación de la reducción acústica para cumplir con los estándares normativos actuales en Chile.

La construcción con fardos de paja y tierra cruda en Chile necesita más estudios técnicos y de procesos para ser competitiva en el mercado de la construcción, sin embargo los resultados abren un camino importante para la construcción con materiales locales tradicionales sustentable.

Los resultados permiten el ingreso de proyectos de arquitectura que usen estos sistemas constructivos en cualquier dirección de obras municipales del país, además de proporcionar los informes exigidos por el Servicio de Vivienda y Urbanización de Chile (SERVIU) para construir vivienda social subsidiada con estos materiales; por último, facilita la obtención de créditos bancarios para la construcción de inmuebles que usen este sistema constructivo. Esta información se encuentra abierta y disponible<sup>1</sup> para todos los arquitectos, constructores y maestros que se interesan en realizar proyectos con este sistema constructivo; adicionalmente facilita la regularización de un tipo de construcción que representa una forma ecológica, simple y económica de construir nuevas ciudades, con foco en la sustentabilidad y la cultura local.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Heringer, A; Lepik, A. (2014). Laufen Manifiesto, for a humane desing culture. AV proyectos 061 2014
- Jorquera, N. (2014). Culturas constructivas que conforman el patrimonio chileno construido en tierra. Revista AUS, Edición 16-2014
- Ley Nº 19.300, sobre Bases generales del medio ambiente (2011). Ley Orgánica de la Superintendencia del Medio Ambiente. Santiago, Chile: Ministerio del Medio Ambiente. Disponible en: [http://www.sinia.cl/1292/articles-51743\\_Ley19300\\_12\\_2011.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-51743_Ley19300_12_2011.pdf)
- MacMath, R.; Fisk, Pliny (1999). Carbon dioxide intensive ratios: a method of evaluating the upstream global warming impact of long-life building materials. Disponible en: <http://goo.gl/e22hHH> (17 de septiembre de 2015)
- May, J; Reid, A. (2010). Casas hechas a mano y otros edificios tradicionales. Ediciones Blume
- NCh 802:1971. Arquitectura y construcción - Paneles prefabricados - Ensayo de carga horizontal. Santiago, Chile: Instituto Nacional de Normalización
- NCh801:2003. Elementos de construcción - Paneles - Ensayo de compresión. Santiago, Chile: Instituto Nacional de Normalización
- NCh851:2008. Aislación térmica -Determinación de propiedades de transmisión térmica en estado estacionario y propiedades relacionadas - Cámara térmica calibrada y de guarda. Santiago, Chile: Instituto Nacional de Normalización

---

<sup>1</sup> [www.manzanaverde.org](http://www.manzanaverde.org)

NCh853:2014 Componentes y elementos para la edificación - Resistencia térmica y transmitancia térmica - Método de cálculo. Santiago, Chile: Instituto Nacional de Normalización

NCh935/1:1997. Prevención de incendio en edificios - Ensayo de resistencia al fuego - Parte 1: Elementos de construcción en general. Santiago, Chile: Instituto Nacional de Normalización

Rodríguez Larain, S (2013). Aportes de la enseñanza de la arquitectura en tierra a la mitigación de riesgos. Lima, Perú: Ediciones Pontificia Universidad Católica del Perú

## **AGRADECIMIENTO**

La realización de todos los estudios fueron posibles gracias a los aportes de fondos de Innovación de “Innova Biobio” de CORFO y la colaboración de la Red Chilena de Construcción con Fardos de Paja, la Universidad del Bio-Bio, IDIEM de la Universidad de Chile, al arquitecto Juan José García, al Ingeniero Calculista Oscar Gutiérrez y un gran equipo de Voluntarios que permitió la construcción de los 8 muros de ensayo para los 4 estudios.

## **AUTORES**

Romina Acevedo Oliva, Arquitecto Universidad del Bio-Bio. © Magister en Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética en Universidad del Bio-Bio. Diplomado Construcción en Tierra “Tradición e Innovación” PUC. Ha desarrollado y construido diversos proyectos en técnicas mixtas en Tierra. Co-fundadora de la ONG Manzana Verde y Estudio Tribal, ejecutando proyectos de los Ministerios de Medioambiente, Desarrollo Social y Vivienda y Urbanismo; Embajada de Canadá, Unión Europea; y Fondos de Innovación e investigación de CORFO e Innova Bio-Bio.

Oscar Carrillo Z., Arquitecto Universidad del Bio-Bio. Diplomado en Gestión del Patrimonio Cultural de la Universidad de Concepción. Se ha desempeñado en la SEREMI MINVU y SERVIU Región del Bio-Bio; en programas de Rehabilitación del Patrimonio en Tierra. Co-fundador de la ONG Manzana Verde y Estudio Tribal, ejecutando proyectos estatales; Embajada de Canadá, Unión Europea; y Fondos de Innovación e investigación de CORFO e Innova Bio-Bio.