

Sistema Ensamble - Madera: Sistema de estructuras portantes prefabricadas en base a madera para viviendas y otras edificaciones de luces menores

Mauricio Vargas

Profesor Asistente, Facultad de Arquitectura y Diseño,
Universidad de Los Andes, Venezuela.

Resumen

Considerando las pocas alternativas existentes en América Latina en cuanto a sistemas constructivos para viviendas que respondan a criterios de racionalización y prefabricación en el marco de la construcción sustentable, se plantea el diseño de un sistema estructural liviano que satisfaga estos requerimientos haciendo uso de materiales en base a madera de amplia comercialización a nivel de la región. La propuesta en sí consiste en estructuras portantes para viviendas configuradas a partir de elementos constructivos prefabricados livianos elaborados en base a tableros contrachapados, OSB y madera maciza.

Abstract

Considering the little existing alternatives in Latin America, in reference to constructive systems for housing that respond to criteria of rationalization, and prefabrication in the setting of the sustainable construction, a desing of the structural system is stated, that would satisfy these requirements by using the materials base on wood, and of wide commercialization at regional level. The proporsal itself, consists of structures for hausing, configured by prefabricated constructive elements of medium dimensions based on plywood, OSB and solid wood.

De acuerdo con las Naciones Unidas, para enero de 2007, en América Latina y el Caribe (ALC) existían 26 millones de unidades de viviendas inadecuadas y se requerían con urgencia 28 millones de unidades adicionales para reducir el hacinamiento y las condiciones inferiores a los estándares (Abhas K. Jha, 2007). Para revertir esta tendencia no solo se hace necesario el planteamiento de nuevas políticas y leyes coherentes con el desarrollo de un hábitat sustentable sino también, desde el punto de vista tecnológico, crear alternativas constructivas efectivas que posibiliten la construcción de viviendas en cantidad y velocidad adecuadas a las urgencias sociales. Aunado a ello se hace necesario el diseño de sistemas que permitan la configuración flexible de espacios arquitectónicos en función de generar soluciones adecuadas a los distintos requerimientos contextuales y funcionales existentes. En este sentido el uso de la madera y sus productos derivados, manejados bajo conceptos de racionalización e industrialización, se ofrecen como una de las mejores opciones.

Con base en estos argumentos, en este trabajo se plantea el diseño de un sistema constructivo de industrialización liviana en madera para la conformación de estructuras para luces menores aplicable principalmente a viviendas.

Descriptores:

Sistema Constructivo en Madera, Prefabricación, Vivienda, Sustentabilidad.

Descriptors:

Constructive System, Wood, Prefabrication, housing, sutainability.

Agradecimientos: A la Universidad del Bio Bio, Chile. Al Magister en Construcción en Madera de la Universidad del Bio Bio. Al Centro de Alta Tecnología en Madera (C.A.T.E.M.) A la ciudad de Concepción, Chile. A la Universidad de Los Andes, Venezuela. Muy especialmente al Prof. Rafael Pérez (Tutor).

TECNOLOGÍA Y CONSTRUCCIÓN | Vol. 26-III | 2010 |
pp. 27-43 | Recibido el 02/02/10 | Aceptado el 27/05/11

Definición del problema de diseño

El problema de diseño surge a partir de la detección de distintas necesidades en la región Latinoamericana. Éstas son:

Necesidades primarias:

- La falta de soluciones que posibiliten la construcción sustentable de viviendas entendida como aquella que hace uso eficiente de los recursos humanos, materiales y energéticos para la construcción sin comprometer el medio ambiente natural.
- La falta de sistemas constructivos industrializados en base a madera que proporcionen una adecuada calidad, eficacia y eficiencia en la construcción de estructuras para viviendas y otras edificaciones de luces menores (menores de 6 m).

Necesidades secundarias:

- Desarrollo de tecnologías apropiadas. La alta demanda de edificación existente hoy en día en Latinoamérica exige soluciones constructivas industrializadas que se adapten efectivamente a los recursos materiales y humanos disponibles, con la finalidad de optimizar la productividad y los costos, además de garantizar la calidad de los componentes constructivos y de la construcción en general.
- Flexibilización en la configuración de espacios para viviendas a nivel tridimensional. La mayoría de los sistemas constructivos prefabricados y/o industrializados existentes se limitan al desarrollo de una única tipología arquitectónica. Se hace necesario el diseño de sistemas que permitan un mayor rango de libertad de diseño y configuración de espacios, posibilitando así el desarrollo de múltiples soluciones arquitectónicas adecuadas a requerimientos funcionales y contextuales específicos.
- Desarrollo de sistemas constructivos que permitan adecuar distintas soluciones de aislamiento acústico y térmico de acuerdo a los requerimientos del entorno de uso.

Requerimientos de diseño

Requerimientos de materialidad

Uso de materiales o productos industrializados en base a madera de fácil adquisición en Latinoamérica: tableros OSB, tableros contrachapados y madera maciza.

Requerimientos funcionales

A nivel espacial. Debe flexibilizar la configuración de espacios para viviendas a nivel tridimensional.

A nivel estructural. Deberá cumplir con la resistencia mínima requerida ante solicitaciones de carga típicas para viviendas de un máximo de 2 pisos y permitir la adaptación de distintas soluciones de techo adecuadas a estructuras de de madera.

A nivel de acondicionamiento térmico y acústico. Deberá permitir la adaptación de distintas soluciones de acondicionamiento térmico y acústico.

Requerimientos de uso

Almacenaje. Se busca que los componentes del sistema permitan su almacenamiento eficiente, tanto en fábrica como a pie de obra.

Transporte. Los componentes del sistema deberán adaptarse en medida máxima a vehículos de carga de un ancho no mayor a 2,40m y un largo de carga máximo de 7m.

Montaje. Debe permitir un armado eficiente y seguro con un mínimo de 2 personas sin requerir de sistemas de carga adicionales. Además, la inteligibilidad del sistema deberá ser clara y fácil permitiendo su uso eficiente con poca capacitación además de minimizar las operaciones de medición para la ubicación y montaje de sus componentes al igual que los procesos de corte y mecanizado en obra para la conformación y adaptación de componentes.

Requerimientos técnico-productivos

- Racionalización de las gestiones de diseño, fabricación y construcción.
- Industrialización de los procesos de fabricación
- Industrialización abierta

Descripción del sistema

De acuerdo con lo definido por M. Cansario (2005) el sistema planteado se enmarca dentro del concepto de prefabricación liviana, siguiendo así mismo, según la clasificación establecida por Alonso del Águila García (2006) para los métodos de industrialización de la construcción, un “método de industrialización abierta” correspondiente a “estructuras industrializadas de paneles resistentes”.

En sí, el sistema está ideado para la construcción de estructuras portantes en base a madera para “luces menores” (Hempel y Poblete 1993), concebido para la conformación de estructuras de hasta dos pisos de altura con aplicaciones principales en viviendas (definitivas y provisionales) a través de componentes prefabricados de fácil montaje.

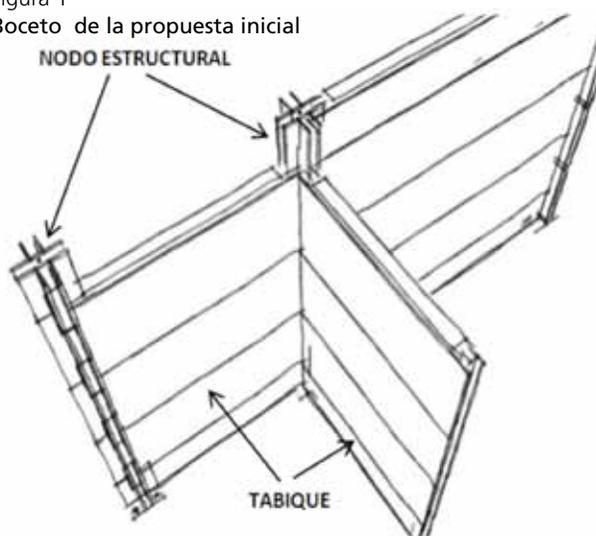
Concepto

El concepto responde a una idea original que surge del análisis y la reinterpretación del sistema constructivo “Tabique Lleno” (Hempel 2008). En sí, el sistema permite la construcción de muros portantes y estructuras de piso y entrepiso.

La configuración de los muros se plantea a través de paneles prefabricados de distintas dimensiones configurados en forma horizontal, siguiendo una coordinación modular definida. Estos son unidos y reforzados en forma vertical a través de un componente adicional denominado “Nodo Estructural” (ver figura 1) que a su vez colaborará en la transmisión de las cargas verticales hacia las fundaciones y en la absorción de cargas horizontales. Este último se define como un elemento compuesto por piezas modulares ensambladas.

Para la conformación de estructuras de entrepiso se idean vigas tipo cajón, de fácil fabricación y montaje, a las cuales se fijan entablados de base de piso y cielo raso en un proceso sencillo y eficiente.

Figura 1
Boceto de la propuesta inicial



Fuente: elaboración propia

El concepto de montaje atiende a la dinámica secuencial de ensamblar y fijar enfocándose en la minimización de la toma de medidas para la ubicación de componentes.

En cuanto al aislamiento acústico, el panel permite la adaptación eficaz, al momento de su fabricación, de distintas soluciones, sin comprometer el comportamiento estructural del sistema.

Coordinación modular y dimensional

Según lo indicado por Alonso del Águila (2006) a nivel internacional se ha considerado conveniente llegar a una convención sobre la definición de un Módulo Base con la finalidad de que pueda ser utilizado por los distintos países en sus normas y documentos de coordinación. Con este objetivo la dimensión del módulo base se fija internacionalmente en diez centímetros (10 cm) y se representa con la letra “M”. Atendiendo esta referencia se toma como módulo base (M) para el sistema constructivo a proponer, la unidad establecida en 10cm. Asimismo, se opta por utilizar un sistema de ejes modulares correspondiente a la “distancia entre ejes” de los elementos estructurales verticales o “sistema lineal central” según lo establecido por Alonso del Águila (2006).

Coordinación dimensional horizontal del sistema

La coordinación modular permite un dimensionamiento escalonado de componentes (véase figura 2) siguiendo una modulación 3M (30 cm) hasta una dimensión máxima de 24M (240 cm), a saber: 6M (60 cm); 9M (90cm) ; 12M (120 cm); 15M (150 cm); 18M (180 cm); 24M (240 cm)

Coordinación dimensional vertical

A nivel vertical se establece igualmente un multimódulo básico de 3 módulos (30cm). Éste permite la configuración de espacios y elementos constructivos cuyas alturas podrían establecerse de la forma siguiente:

Altura mínima de planta: 2,70m

Altura mínima de piso a techo: 2,40m

Alturas de dintel (para puertas y ventanas): 2,06m

Alturas de antepechos: 0,3m; 0,6m; 0,9m; 1,2m; 1,5m; 1,8m; 2,1m.

Subsistema de muros

Componente 1: Panel de muro

Los paneles de muro poseen una configuración horizontal que permite la conformación de muros de distintas alturas al superponerse uno sobre otro (véase figura 3). Su diseño se basa en el concepto de “viga cajón” por lo que se compone de un bastidor interior de listones de madera maciza recubierto lateralmente por tapas de OSB de 11mm (ver figuras 4 y 5).

Con la finalidad de flexibilizar la configuración de las alturas de los espacios, así como en función de permitir una variedad adecuada de alturas de dinteles de puertas y ventanas, se plantean dos tipos de paneles, con alturas de 60 cm y 30 cm; de acuerdo a la coordinación dimensional definida para el sistema.

Las dimensiones horizontales o largo de los paneles, tanto los de 60 cm como los de 30 cm de altura, se definen en 0,6 m ; 0,9 m; 1,2 m; 1,5 m; 1,8 m ; 2,4 m., respondiendo a las dimensiones funcionales básicas establecidas dentro de la coordinación modular.

El alcance de luces mayores para la configuración de espacios se plantea a través de la sumatoria a nivel longitudinal de dos o más paneles unidos a través de “nodos estructurales”.

El acople entre paneles se plantea en forma machihembrada permitiendo el apoyo del larguero inferior del panel superior sobre el larguero superior del panel inferior

(véase figura 6). Los paneles se fijan entre sí en su borde inferior por medio de tornillos colocados en forma alineada cada 10 cm. En los extremos laterales se colocan en forma de zig-zag cada 5 cm respetando una distancia del borde de 1,5 cm.

Acondicionamiento térmico y acústico de panel

La composición hueca del panel tipo cajón permite la instalación de cualquier solución de acondicionamiento térmico y acústico dentro del mismo las cuales pueden ser láminas de poliuretano expandido, poliestireno expandido, lana mineral, lana de vidrio, entre otras. Su instalación no implica una operación compleja dentro del proceso puesto que se plantea justo antes de colocar la última tapa del panel.

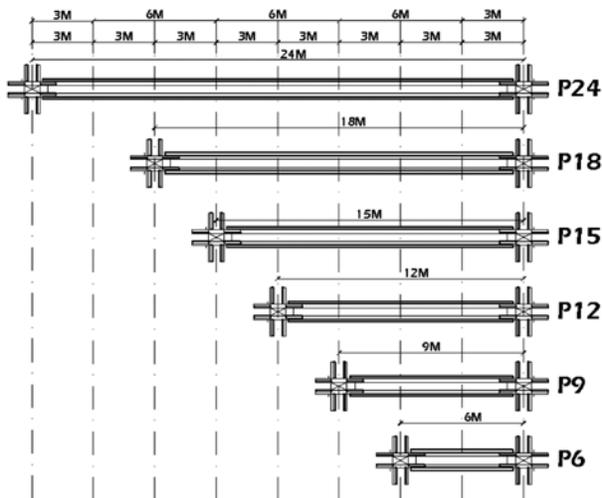
Instalaciones eléctricas en el panel

Todos los paneles tendrán en sus extremos un orificio de 4 cm de diámetro para el paso vertical de tubería de instalaciones eléctricas (véase figura 7). Las aberturas para la ubicación de encendedores y tomacorrientes se harán mediante maquinaria de corte manual luego de montado el muro.

Componente 2: Nodo estructural

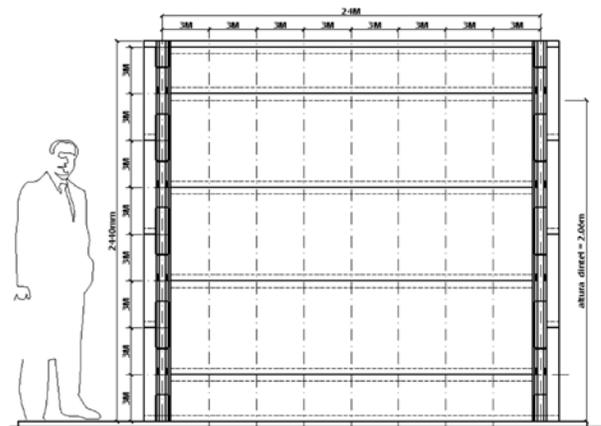
El “Nodo estructural” es un componente de configuración vertical que se ubica en los extremos laterales

Figura 2 Dimensiones horizontales básicas del sistema



Fuente: elaboración propia

Figura 3 Ejemplo de dimensionamiento vertical en muro de 2,40 m, configurado mediante la superposición de paneles



Fuente: elaboración propia

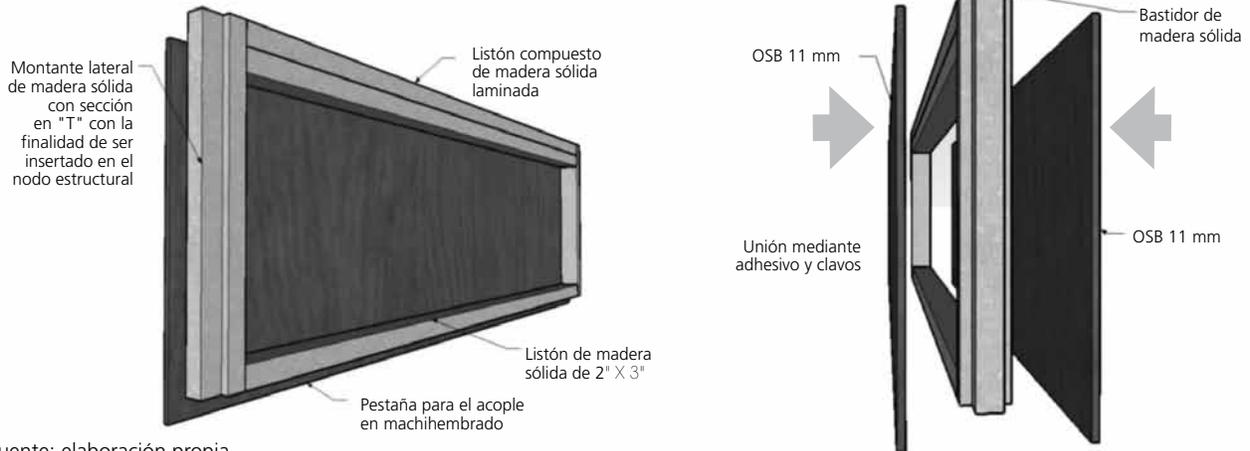
de los muros (ver figuras 8 y 9) que cumple las siguientes funciones:

1. Arriostramiento de paneles de muros absorbiendo cargas horizontales.
2. Colaboración con la transmisión de las cargas verticales a las fundaciones.

3. Vinculación de un máximo de 4 muros en forma ortogonal (véase figura 10).

El nodo estructural se encuentra compuesto por elementos modulares de pequeñas dimensiones denominados "bloques base" los cuales se ensamblan en forma sistemática.

Figura 4
Composición interna del panel de muro



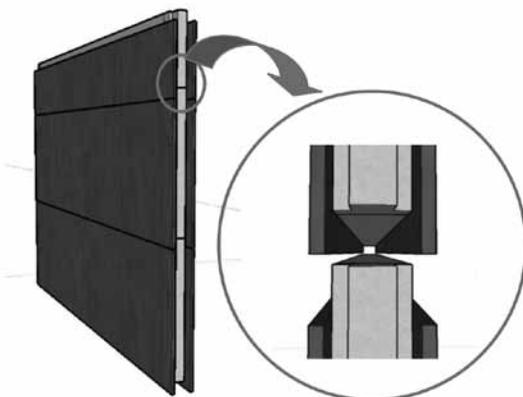
Fuente: elaboración propia

Figura 5
Paneles de muro fabricados



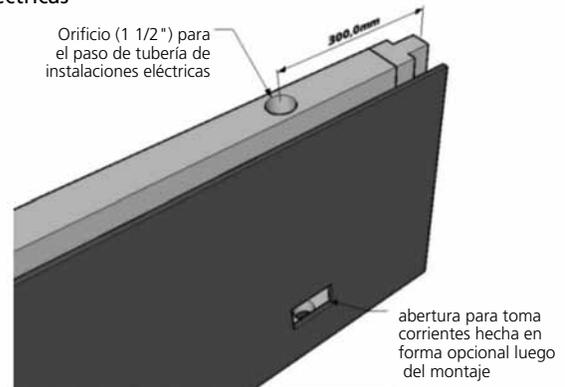
Fuente: elaboración propia

Figura 6
Sistema de acople vertical entre paneles



Fuente: elaboración propia

Figura 7
Detalle de orificio para la colocación de instalaciones eléctricas



Fuente: elaboración propia

Con la finalidad de proteger las aristas de ensamble del Nodo Estructural se idearon tapas compuestas de madera maciza y OSB, las cuales se encajan a estas y luego se fijan con tornillos. Estas pueden servir para reforzar el Nodo Estructural en eventuales usos como pilar (véase figura 11).

Subcomponente 1: Bloque base de nodo estructural (Bb)

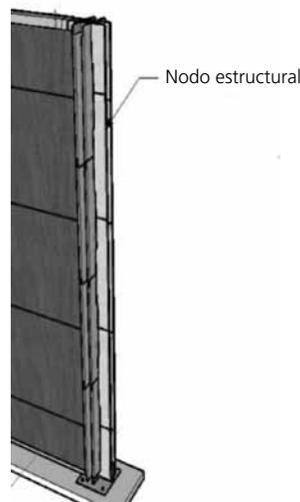
Es el componente principal del nodo estructural. Posee una forma en “H”, que permite el ensamblaje vertical exacto, generando así un elemento compuesto de sección transversal en “cruz” la cual le confiere mayor inercia a las deformaciones por flexión (ver figuras 12 y 13). Estos

bloques se encuentran compuestos por dos tapas con forma de “H”, elaboradas en tablero contrachapado y unidas en su sección central por medio de adhesivo y grapas a un vástago de madera maciza.

Subcomponente 2: Bloque base 1/2 de Nodo Estructural (Bb1/2)

El Bloque base 1/2 corresponde a la mitad del bloque base. Está diseñado para colocarse en los extremos inferior y superior del nodo estructural con la finalidad de servir como arranque y remate en cada caso. Se fabrica con los mismos procesos y materiales que el Bloque base. En el vástago central de madera sólida se le realiza una perforación longitudinal para su anclaje (véase figuras 15 y 16).

Figura 8
Nodo estructural



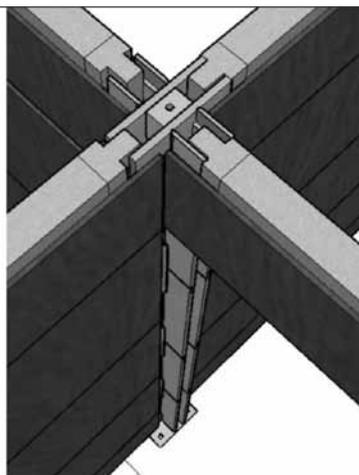
Fuente: elaboración propia

Figura 10
Pruebas de ensamble de
Nodo Estructural



Fuente: elaboración propia

Figura 9
Nodo estructural
trabajando como
vínculo entre muros



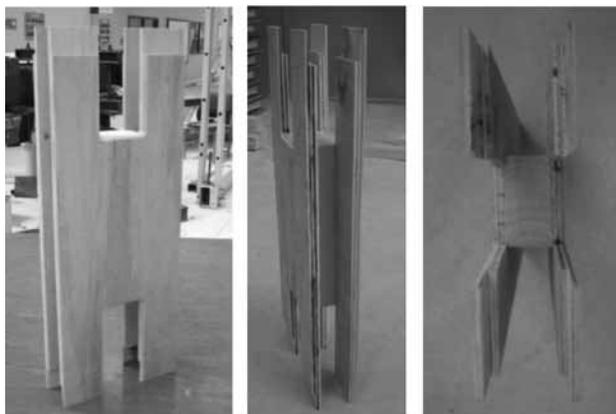
Fuente: elaboración propia

Figura 11
Refuerzo de
Nodo Estructural



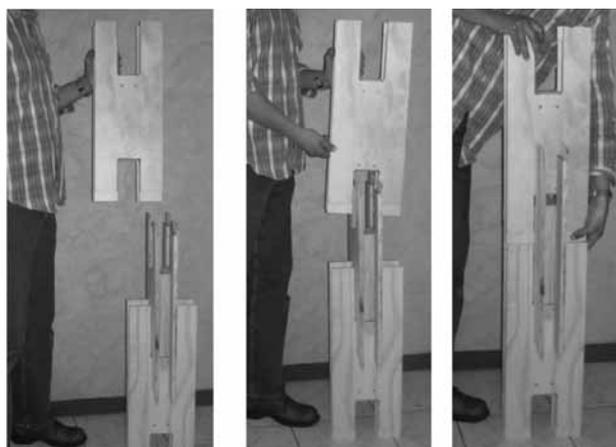
Fuente: elaboración propia

Figura 12
Vistas del Bloque base (Bb) de Nodo Estructural



Fuente: elaboración propia

Figura 13
Secuencia de ensamblaje de Nodo Estructural partiendo del Bloque base



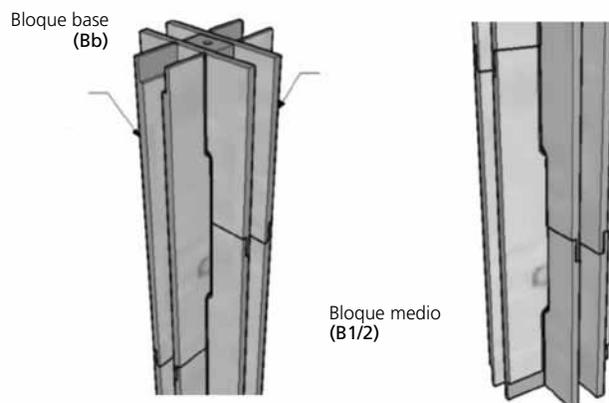
Fuente: elaboración propia

Figura 14
Fabricación seriada de Bloque base de Nodo Estructural



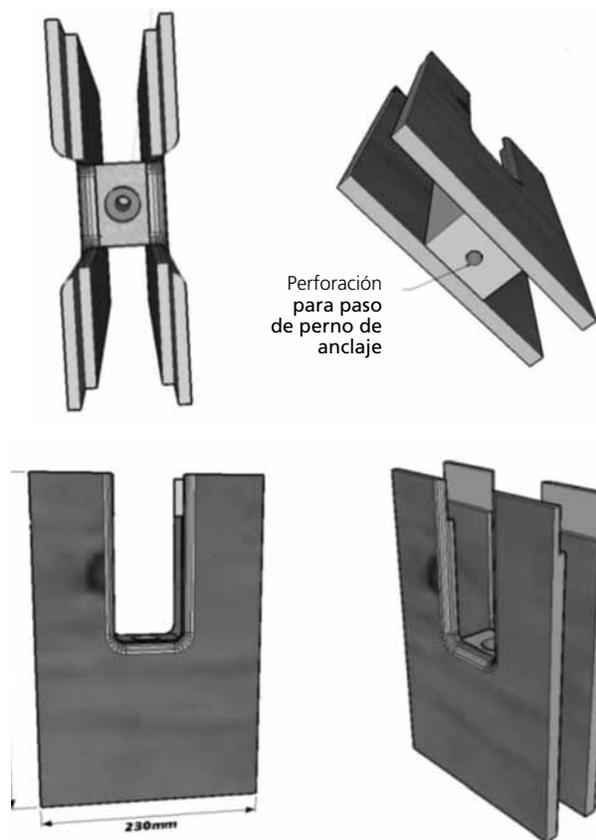
Fuente: elaboración propia

Figura 15
Vistas del componente
Bloque base 1/2 de nodo estructural (Bb1/2)



Fuente: elaboración propia

Figura 16
Uso del Bloque base 1/2 (Bb1/2) como remate y arranque del Nodo Estructural

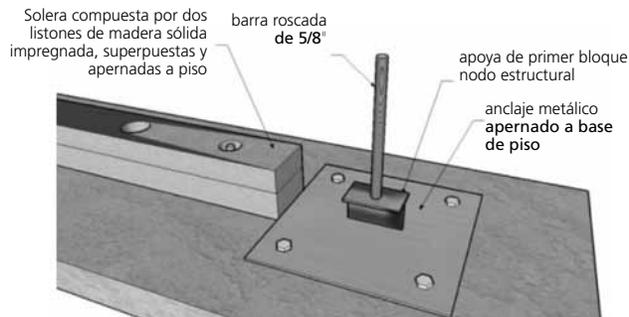


Fuente: elaboración propia

Anclaje del subsistema de muros

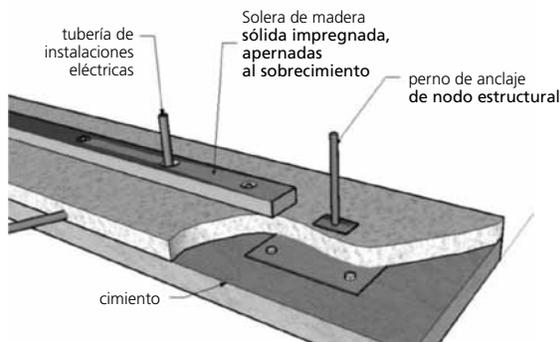
El anclaje del sistema constructivo está diseñado para adaptarse tanto a fundaciones de concreto como a plataformas envidagadas de madera.

Figura 17
Elemento de anclaje de nodo estructural en fundaciones de concreto



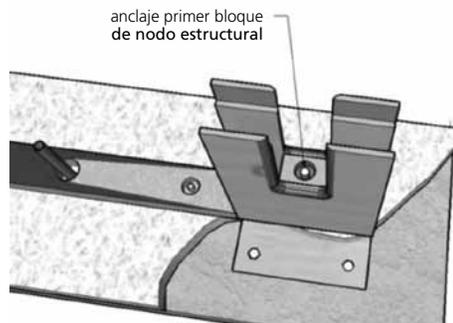
Fuente: elaboración propia

Figura 18
Detalle de elementos de anclaje del sistema en fundaciones de concreto



Fuente: elaboración propia

Figura 19
Detalle de anclaje del bloque de arranque del nodo estructural

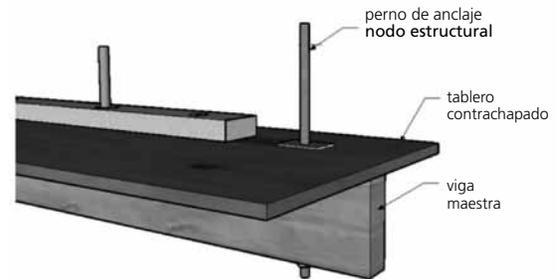


Fuente: elaboración propia

Montaje de muro

El montaje de los muros se hace en forma fácil y sencilla ensamblando componentes uno sobre el otro y reforzando con tornillos.

Figura 20
Detalle de colocación de anclaje en plataformas de madera



Fuente: elaboración propia

Figura 21
Montaje de Muro con Nodo Estructural



Fuente: elaboración propia

Uso del panel 30 como viga

El panel de 30 cm de altura puede ser utilizado como viga con la finalidad de flexibilizar la configuración de los espacios. De esta manera se plantea la generación de espacios libres de paredes o elementos estructurales verticales con una luz máxima de 3,30 m. En este sentido es importante destacar que el sistema estructural no está diseñado como pórtico o marco, por lo que la viga solo deberá usarse en combinación con los tabiques portantes. Asimismo el planteamiento del uso del panel de 30 cm como viga se hace, en esta etapa, en forma conceptual, por lo que el planteamiento requiere de su respectiva validación pudiéndose optar, de ser necesario, por reforzar el panel con una cercha interior.

La fijación de la viga al nodo estructural se plantea mediante pasadores por lo que el nodo deberá reforzarse con un listón interior que servirá adicionalmente de apo-

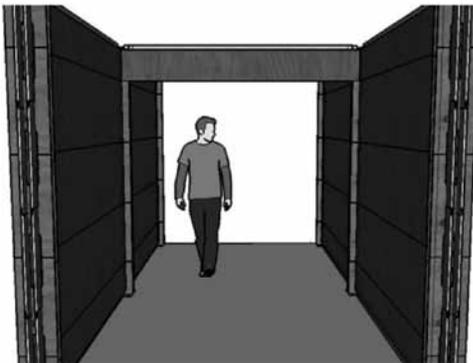
yo a la viga. Una vez ensamblada la viga al nodo estructural se abren las perforaciones y se insertan los pasadores metálicos (véase figuras 22 y 23).

Subsistema de entrepisos

Los entrepisos se conforman de manera fácil y rápida al colocar sobre el muro o la viga viguetas tipo cajón prefabricadas, las cuales son fijadas mediante herrajes simples elaborados con perfiles de acero se sección en "L" (véase figura 24).

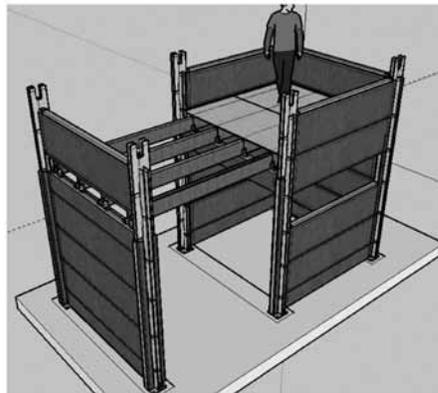
El subsistema de entrepiso está concebido de manera que los muros y los nodos estructurales no pierdan continuidad en lo vertical. Solo los muros de apoyo del envigado serán interrumpidos en su conformación vertical para dar espacio al entrepiso, el cual ocupará una altura correspondiente a un tabique de 30 cm.

Figura 22
Ejemplo del uso del panel de 30 cm. como viga



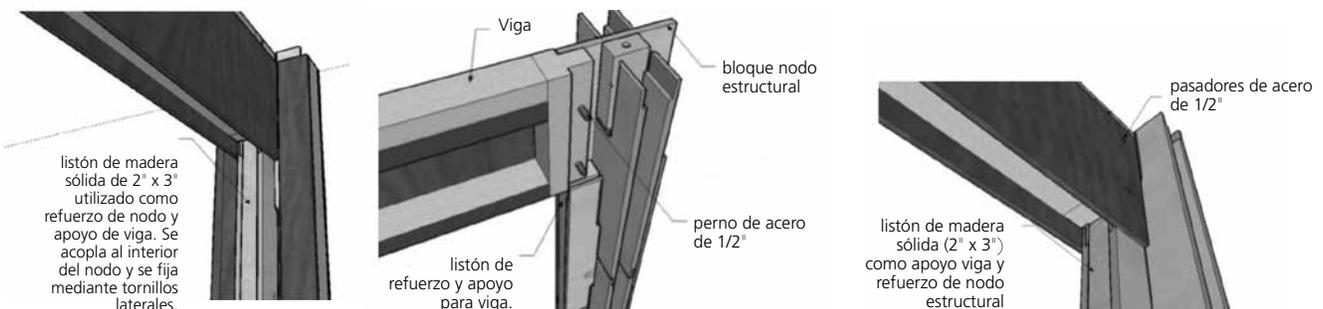
Fuente: elaboración propia

Figura 24
Disposición de viguetas de entrepiso



Fuente: elaboración propia

Figura 23
Detalles de sistemas de fijación viga - nodo estructural

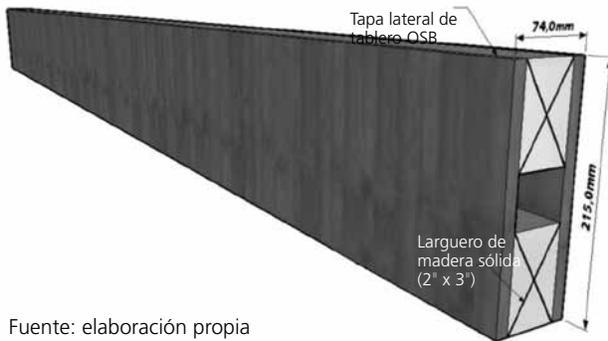


Fuente: elaboración propia

Componente Vigüeta de entrepiso

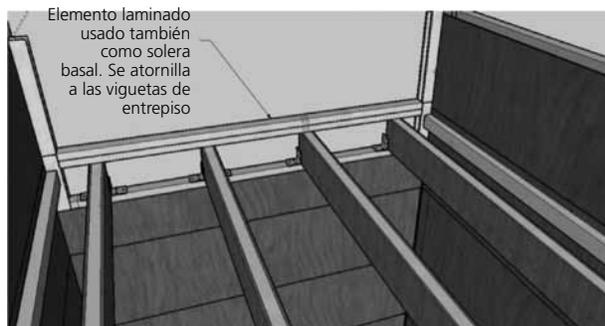
Para la conformación del entrepiso se diseñan vigüetas prefabricadas tipo “cajón” elaboradas con largueros de madera sólida de 2” x 3” y tapas laterales de tablero OSB de 11 mm. La unión entre los elementos se plantea mediante

Figura 25
Vigüeta de entrepiso elaborada como viga cajón con madera sólida y tablero OSB de 12 mm



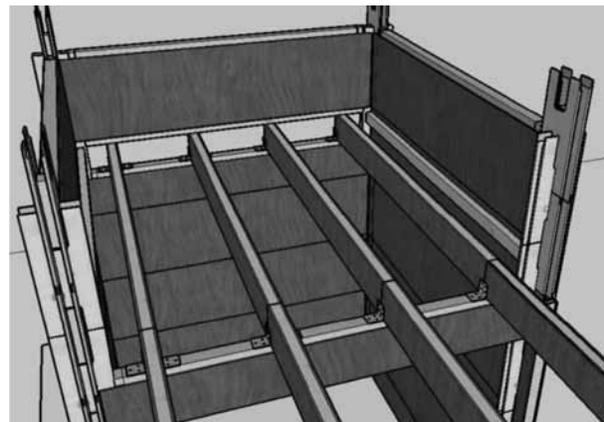
Fuente: elaboración propia

Figura 26
Disposición de vigüetas de entrepiso



Fuente: elaboración propia

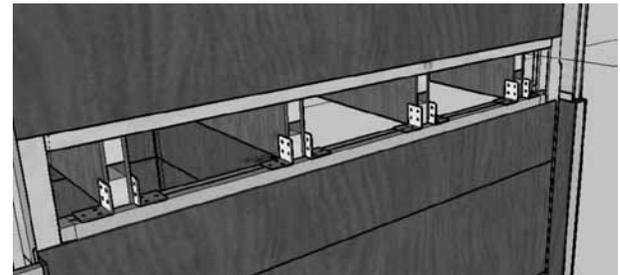
Figura 27
Colocación del primer tabique de continuidad vertical del muro, acoplándolo y fijándolo mediante tornillo a la solera basal fijada a las vigüetas



Fuente: elaboración propia

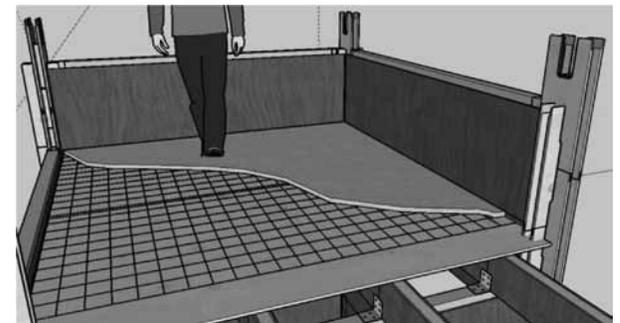
adhesivo reforzado con un clavado en zig-zag cada 10 cm. La vigüeta se plantea con una altura de 21,5 cm y un largo variable, atendiendo la coordinación modular horizontal del sistema (véase figuras 25, 26, 27, 28 y 29).

Figura 28
En las fachadas exteriores se procede a tapan la abertura que produce el entrepiso en el muro mediante tapa de OSB atornillada al marco que genera el sistema para este fin. Previamente se colocan soluciones de aislamiento térmico, acústico e hídrico



Fuente: elaboración propia

Figura 29
Colocación de loseta de concreto sobre base de piso



Fuente: elaboración propia

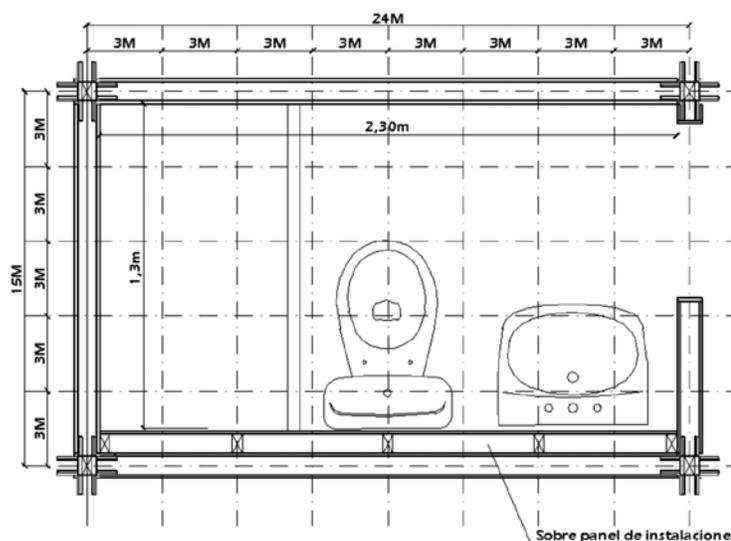
Aplicaciones del sistema

A continuación se presentan los esquemas de aplicación y dimensiones mínimas para sanitarios (figura 30), para habitación individual (figura 31), para habitación matrimonial (figura 32), así como ejemplos de configuraciones de vanos para puertas y ventanas en muro (figura 33).

Otras aplicaciones

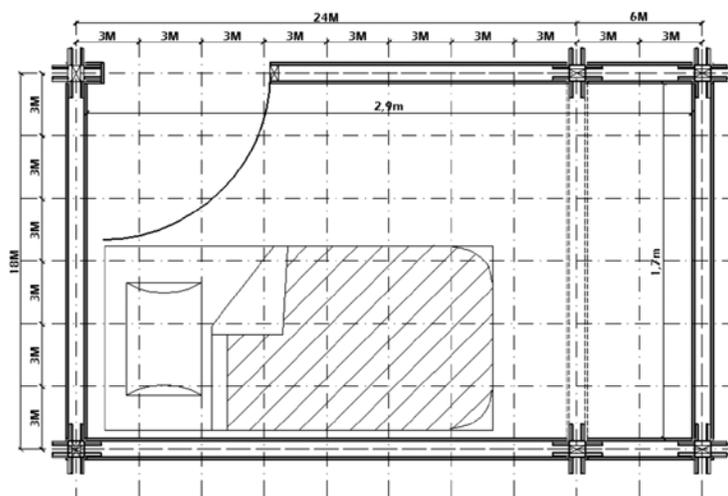
Ejemplo de aplicación del sistema en la configuración de estructuras de 1 piso (figura 34).

Figura 30
Dimensiones mínimas de sanitario



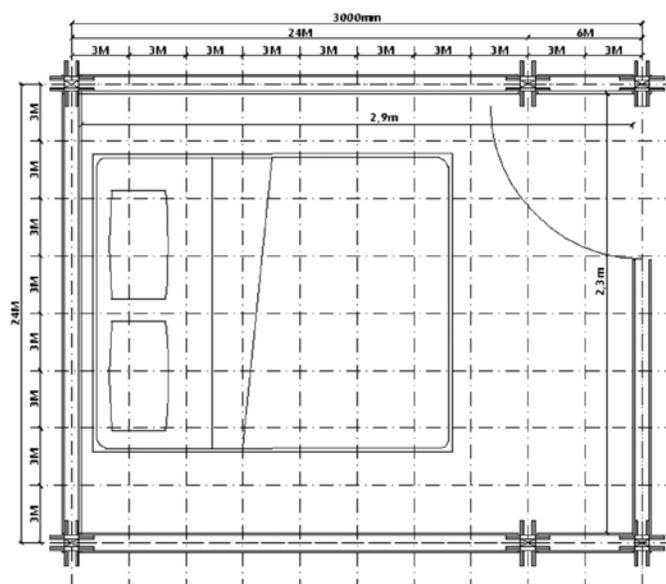
Fuente: elaboración propia

Figura 31
Dimensiones mínimas de habitación individual



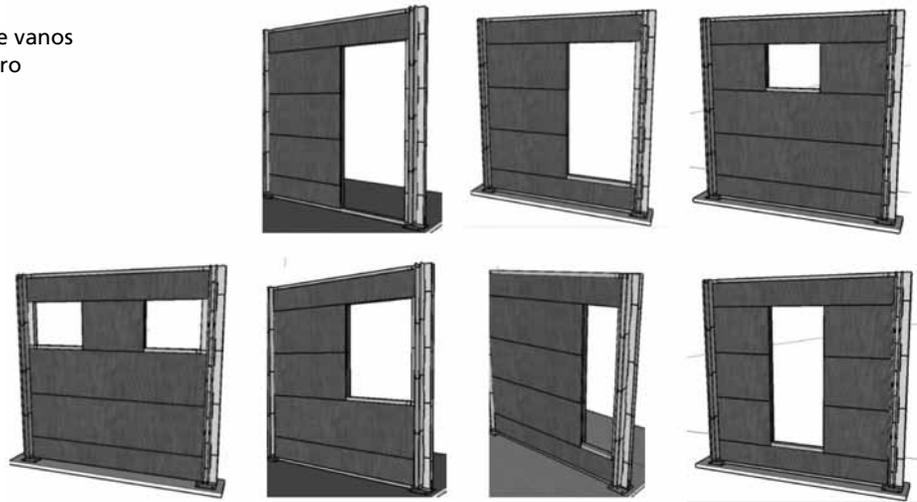
Fuente: elaboración propia

Figura 32
Dimensiones mínimas de habitación matrimonial



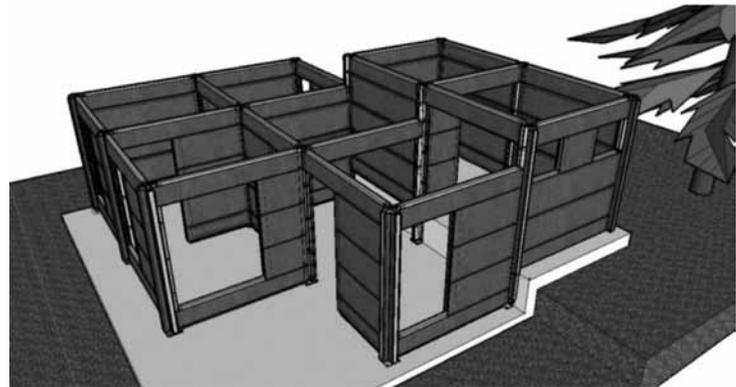
Fuente: elaboración propia

Figura 33
Ejemplos de configuraciones de vanos para puertas y ventanas en muro



Fuente: elaboración propia

Figura 34
Ejemplo de aplicación del sistema en la configuración de estructuras de 1 piso.



Fuente: elaboración propia

La estructura portante compuesta por tabiques horizontales permite su adaptación a distintos niveles de piso respetando la coordinación dimensional vertical del sistema. Asimismo posibilita la adecuación de cerchas para la construcción de múltiples soluciones de techo.

Revestimientos

Dadas sus características los muros permiten ser revestidos tanto en su cara interior como en la exterior con cualquier solución típica para viviendas de madera, incluyendo sistemas de protección como barreras de vapor y humedad. Entre las soluciones de revestimientos posibles se plantean tinglados, entablados, Sidings, o friso, este último colocando previamente una malla metálica hexagonal grapada a la superficie del muro.

Validación del sistema

Como primera etapa del proyecto solo se contempló la validación del subsistema de muro a nivel de montaje y comportamiento estructural de sus componentes principales, a saber: muro y nodo estructural.

Validación del montaje

El montaje se realizó según la secuencia diseñada; intercalando paneles y bloques de nodo estructural, comprobándose que las tolerancias diseñadas para el encaje entre los componentes funcionan en forma óptima. También se comprobó que el montaje puede ser realizado entre dos personas en forma cómoda, eficaz y segura. La fijación y el refuerzo de los paneles mediante tornillos se hizo en forma rápida y eficiente sin requerir de plantillas ni instrumentos de medición.

Figura 35
Refuerzo y fijación de los paneles a través de tornillos



Fuente: elaboración propia

Validación del comportamiento estructural del sistema

Para determinar el comportamiento estructural de los muros se procedió a realizar ensayos de flexión y de compresión tomando como referencia lo establecido en las siguientes normas chilenas:

Nch801.EOf70: “Arquitectura y Construcción. Paneles Prefabricados. Ensayos de Compresión”.

Nch803.EOf70: “Arquitectura y Construcción. Paneles Prefabricados. Ensayo de Flexión”.

Nch806.EOf71: “Arquitectura y Construcción. Paneles Prefabricados. Clasificación y requisitos”.

Ensayos de flexión

Consistió en someter un muro elegido como muestra a la acción de cargas horizontales incrementadas gradualmente midiendo las deformaciones producidas por cada incremento hasta la fluencia del material. Luego, sin medir deformaciones llevar las cargas hasta la ruptura del panel (figura 37).

Resultados ensayo de flexión

Ensayo de compresión

Consistió en someter a un muro elegido como muestra a la acción de cargas verticales que se incrementaron gradualmente midiendo las deformaciones producidas por cada incremento hasta la fluencia del material. Luego sin medir deformaciones llevar las cargas hasta la ruptura del panel.

Figura 36
Montaje de muro y Nudo Estructural



Fuente: elaboración propia

Figura 37
Muro compuesto por paneles horizontales y nodos estructurales laterales colocado en el marco rígido de prueba para ser sometido a ensayos de flexión.



Fuente: elaboración propia

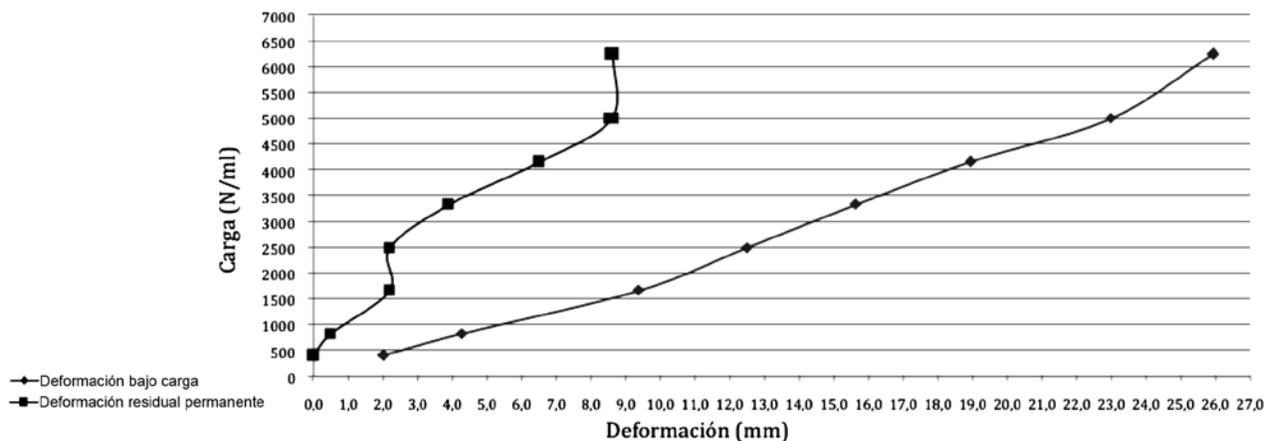
Cuadro 1
Valores resultantes de ensayo de flexión. Promedio Muros A y B

Carga (kn)	Carga/mL (N/mL)	Carga /mL (kg/mL)	Deformación (mm)	Deformación Residual (mm)
1,00	416,67	41,67	2,03	0,00
2,00	833,33	83,33	4,28	0,50
4,00	1666,67	166,67	9,38	2,19
6,00	2500,00	250,00	12,50	2,20
8,00	3333,33	333,33	15,64	3,91
10,00	4166,67	416,67	18,96	6,53
12,00	5000,00	500,00	22,98	8,58
15,00	6250,00	625,00	25,94	8,62

Fuente: elaboración propia

Gráfico 1

Diagrama esfuerzo deformación resultante de ensayo de Flexión. Promedio de muros A y B.



Fuente: elaboración propia

Por razones presupuestarias y de tiempo no se pudo realizar la cantidad de réplicas exigidas por la norma. De igual forma, tampoco pudo realizarse un ensayo piloto para determinar valores aproximados de carga de rotura.

Se realizaron dos réplicas del ensayo en muros denominados A y B. Es importante destacar que el panel A había sido sometido a un ensayo previo de flexión alcanzando la rotura, situación que se refleja en los resultados que se describirán en forma posterior (figura 38).

Figura 38

Muro compuesto de paneles horizontales y nodos estructurales laterales dispuesto en marco rígido de prueba para ser sometido a ensayos de compresión.

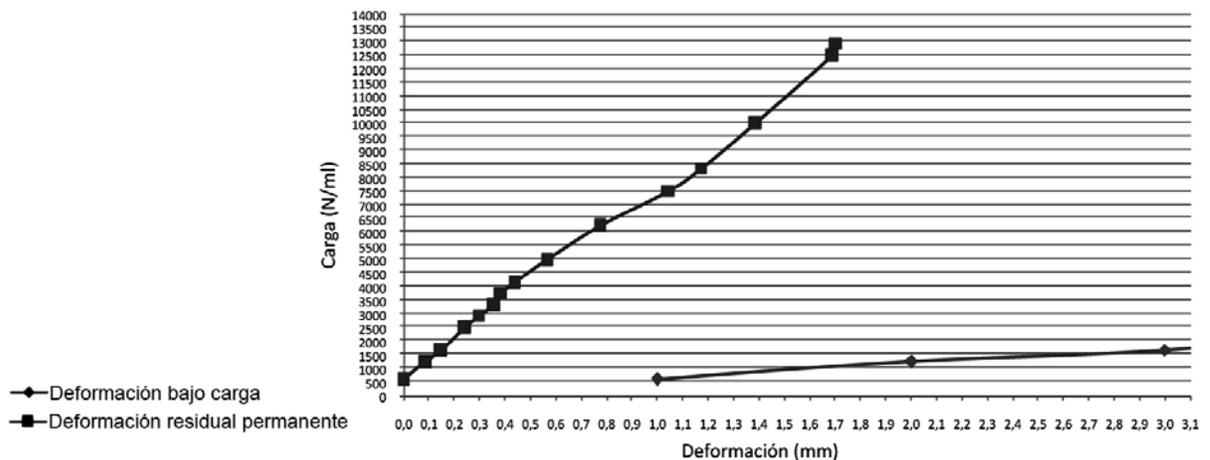


Resultados del ensayo de compresión

Fuente: elaboración propia

Gráfico 2

Diagrama esfuerzo deformación resultante de ensayo de compresión. Promedio de muros A y B.



Fuente: elaboración propia

Cuadro 2
Valores resultantes del ensayo de compresión. Promedio muros A y B.

Carga (kN)	Carga /ml (N/ml)	Carga /ml (Kg/ml)	Deformación bajo carga final promedio (mm)	Deformación Remanente final promedio (mm)	Pandeo (mm)	Carg. /def.
1,50	625,00	62,50	0,05	0,00	0,00	28,57
3,00	1250,00	125,00	0,21	0,09	0,00	14,29
4,00	1666,67	166,67	0,29	0,15	0,00	13,91
6,00	2500,00	250,00	0,53	0,24	0,00	11,32
7,00	2916,67	291,67	0,66	0,30	0,00	10,61
8,00	3333,33	333,33	0,75	0,35	0,00	10,63
9,00	3750,00	375,00	0,87	0,38	0,00	10,34
10,00	4166,67	416,67	0,96	0,44	0,00	10,39
12,00	5000,00	500,00	1,11	0,57	0,00	10,86 L.P.
15,00	6250,00	625,00	1,54	0,78	0,00	9,72
18,00	7500,00	750,00	1,81	1,04	0,00	9,94
20,00	8333,33	833,33	2,05	1,17	0,25	9,76
24,00	10000,00	1000,00	2,29	1,38	0,25	10,49
30,00	12500,00	1250,00	2,84	1,69	1,00	10,55
31,00	12916,67	1291,67	3,00	1,70	1,50	10,33

Fuente: elaboración propia

Conclusiones

Aun cuando los paneles fueron elaborados con listones de madera maciza mediante un proceso de clasificación poco riguroso que se limitó a una selección visual donde solo se descartaron piezas altamente comprometidas con nudos de bordes y arqueaduras, el comportamiento estructural final de los componentes fue altamente satisfactorio.

Para evaluar la resistencia mecánica de los muros se tomó en cuenta la norma Nch606.EOf71: "Arquitectura y construcción: paneles prefabricados. Clasificación y requisitos" obteniéndose el siguiente resultado:

Clasificación resultante según su resistencia a la compresión:

- Clase: C (madera)
- Grado según su resistencia a la compresión (Grado RC): 1
- Subgrado según su resistencia a la compresión (Subgrado RC): b

Es importante destacar que de las dos probetas ensayadas (A y B) la probeta B había sido sometida a ensayos previos de flexión alcanzando falla, lo que seguramente afectó el comportamiento mecánico del panel. Aun así los resultados fueron satisfactorios al cumplir con los requisitos de la norma.

En los resultados promedios se observó una carga de rotura de 1.290 Kg/ml con una deformación bajo carga en el límite de proporcionalidad de 1,11 mm, así como un límite de proporcionalidad ubicado en los 500 Kg/ml.

En ambas probetas ensayadas se observó que la falla al momento del ensayo de compresión se originó en el panel superior del muro, debido a una separación del larguero o cordón superior del panel de las tapas laterales, lo cual se evidenció en un pandeo y hundimiento del cordón al separarse del resto de los componentes del panel. Para evitar esto y mejorar el desempeño de los paneles, se recomienda colocarles montantes intermedios siguiendo la modulación del sistema y en cantidad adecuada de manera que no afecte el costo de los mismos. Estos contribuirán con la transmisión de las cargas verticales. Otra alternativa es el mejoramiento del método de adhesión entre los componentes del panel sustituyendo las grapas por clavos.

Clasificación según su resistencia a la flexión:

- Clase: C (madera)
- Grado según su resistencia a la flexión (Grado RT): 1
- Subgrado según su resistencia a la flexión (Subgrado RT): c

También es importante destacar que de las dos probetas ensayadas (A y B) la probeta A había sido sometida

da ensayos previos de compresión alcanzando falla, lo que seguramente afectó el comportamiento mecánico del panel. Aun así los resultados fueron satisfactorios al cumplir con los requisitos de la norma.

En los resultados promedios se observó una carga de rotura de 625 Kg/ml con una deformación bajo carga en el límite de proporcionalidad de 6,53 mm.

Recomendaciones generales

En esta etapa inicial del proyecto se optó por validar en forma preliminar el subsistema de muros dejando el subsistema de entrepisos para una etapa posterior. Dadas las condiciones de bajo presupuesto solo se ensayaron muros completos, sin embargo, con la finalidad de validar con mayor precisión el sistema, se recomienda evaluar muros provistos de vanos para puertas o ventanas cuyos desempeños se estimen más desfavorables.

Es importante destacar que los elementos constructivos sometidos a ensayo no presentaron falla por rotura de sus componentes sino por separación en las uniones. Aun cuando la resistencia de los muros alcanzó resultados esperados, una optimización de los métodos de adhesión empleados en la fabricación de los paneles podría incrementar el desempeño del sistema. Esto requiere de la realización de mayores investigaciones en función de conseguir un método de fabricación más efectivo, así como de un adhesivo óptimo para este tipo de proceso; el uso de un adhesivo de fraguado a temperatura ambiente y tiempo abierto prolongado, en combinación con clavos de penetración no menor de 12 diámetros podría ser una alternativa a evaluar.

La sustitución de tornillos por clavos en la fijación de los paneles de muro al momento del montaje resultaría una alternativa importante para la agilización del proceso, por lo que se recomienda que ésta sea evaluada mediante los ensayos pertinentes.

En definitiva, el sistema se perfila como una gran alternativa para la construcción de edificaciones de luces menores de hasta dos pisos de altura ya que permite prefabricar y construir eficaces estructuras de fácil y rápido montaje.

Características de los tableros

Tableros de fibras orientadas OSB (Oriented Strand Board)

Tablero con propiedades estructurales formado a partir de partículas denominadas “Strands” (hojuelas, virutas o hebras), que se orientan en forma mecánica o electrostática, formando capas delgadas. De esta manera el producto puede contener tres o cinco capas dispuestas perpendicularmente entre sí. Las virutas son encoladas y prensadas y provienen normalmente de rollizos pulpables.

Dimensiones: Los tableros de OSB están diseñados específicamente para cubiertas de pisos, techos y paredes en construcciones con armazones de madera. Vienen en hojas de 1220 x 2440 mm (4' x 8'). En Canadá y EEUU. se comercializan tableros hasta de 2440 x 7320 mm (8' x 24') para usos industriales, disponibles por pedido. Algunos aserraderos nuevos fabrican tableros maestros hasta de 3660 x 7320 mm (12' x 24') o de otros tamaños especiales.

Capacidad de clavado: Las numerosas capas superpuestas forman un tablero con excelente capacidad para retener los clavos. Los clavos se pueden colocar a una distancia del borde tan pequeña como 6 mm, sin que estos se rajen o rompan. Sin embargo, se recomienda que para los trabajos estructurales, la distancia del borde sea de 10 mm.

Adhesividad: Los tableros de OSB se pueden pegar con cualquier adhesivo recomendado para madera.

Peso: El OSB posee una densidad de 640kg/m³, sin embargo su densidad puede variar según el fabricante y las condiciones de humedad del tablero.

Resistencia térmica

Espesores (mm)	Resistencia térmica (m ² °C/W)
9,5	0.08
11,0	0.09
12,5	0.11
15,5	0.13
18,5	0.16

Fuente: elaboración propia

Emisión de Formaldehído: Los tableros de OSB sin revestir poseen un potencial de emisión menor a 8mg/100g.

Contrachapados (plywood)

Son tableros obtenidos mediante el encolado de chapas de madera superpuestas de modo que sus fibras formen un ángulo determinado (generalmente recto). Normalmente están compuestos por chapas impares, con el fin de equilibrar su estructura y comportamiento higroscópico.

Composición:

- Chapas de madera: láminas finas de madera (chapas) que no sobrepasan los 7 mm de espesor. Si las láminas de madera se unen por sus cantos se obtienen chapas compuestas. Para aplicaciones estructurales se clasifican principalmente por la presencia y frecuencia de nudos, y para aplicaciones decorativas por su estética.
- Alma: en algunos casos, el tablero puede incorporar una capa central constituida por piezas de madera (listones, tablas, tablillas, etc) o láminas de madera adosadas y encoladas o no entre sí; por otros materiales derivados de la madera; por otros materiales en forma de lámina; o por una estructura alveolar.
- Adhesivos: dependiendo de las características y de las propiedades requeridas se pueden utilizar adhesivos de Urea formaldehído (para interiores) o Fenol formaldehído (para exteriores y estructurales).
- Recubrimientos: se pueden utilizar chapas decorativas de madera, revestimientos plásticos, papel impregnado con resinas sintéticas, y pintura.
- Aditivos: se incorporan durante su fabricación para mejorar algunas de sus propiedades (productos ignífugos; productos insecticidas; productos fungicidas, resinas, etc.)

Dimensiones

- Longitud y anchura: 1220 x 2440 mm.
- Espesor: varía entre 4 y 30 mm.
- Generalmente el número de chapas es impar y varía entre 3 y 24.

Propiedades

- Densidad: Depende de las especies de madera utilizadas.
- Estabilidad dimensional: muy estable, la tendencia a contraerse o dilatarse en la dirección perpendicular a la fibra está aminorada por las chapas adyacentes.
- Resistencia a la humedad: Adecuada si se utilizan encolados a base de fenol formaldehído.
- Conductividad térmica: mal conductor de la temperatura, al igual que la madera maciza. Los valores de la conductividad térmica ($Kcal/mh\ ^\circ C = W/(m \times K)$) en función de la densidad del tablero (kg/m^3) son: 0,09 para una densidad de 300, 0,13 para 500, 0,17 para 700 y 0,24 para 1000.
- Aislamiento acústico: depende del tipo de construcción y la forma en que se instalen. Para ruidos aéreos, los valores de los tableros de 30 mm de espesor se sitúan aproximadamente en 27 dbA.
- Comportamiento frente a los agentes biológicos: según la norma europea, en función de las clases de riesgo en que se encuentren pueden ser degradados por hongos xilófagos, insectos xilófagos de ciclo larvario (coleópteros) e insectos xilófagos sociales (termitas). Su comportamiento se puede mejorar mediante su protección superficial, media o profunda.

Bibliografía

- Abhas K. Jha (2007) "La vivienda popular en América Latina y el Caribe", en *En Breve*, Banco Mundial, n° 101, enero. Consultado en junio de 2007 en: siteresources.worldbank.org/.../Jan07_101_LowIncomeHousing_SP.pdf
- Bandel, A. (1995) *Gluing Wood*. Catas Srl. EEUU.
- Cansario P., María (2005) Sistema constructivo de paneles aligerados con poliestireno expandido y malla electrosoldada espacial: estudio estructural y optimización. Tesis doctoral. Antonio Aguado de Cea (Dir.). Universidad Politécnica de Cataluña. Departamento de Ingeniería de la Construcción.
- Del Águila García, A. (2006) *Industrialización de la edificación de viviendas*. Maireia Libros. Madrid.
- Hempel, R. (2008) *Sistemas constructivos de madera sólida*. Ediciones Universidad del Bio Bio. Concepción. Chile.
- Hempel R. y Poblete C. (1994) Cuaderno de la edificación en madera N°7: Sistemas estructurales en madera. Universidad del Bio Bio. Concepción. Chile.
- Instituto Nacional de Normalización. Nch801.EOf70: "Arquitectura y Construcción. Paneles Prefabricados. Ensayos de Compresión". Chile: INN.
- Instituto Nacional de Normalización. Nch803.EOf70: "Arquitectura y Construcción. Paneles Prefabricados. Ensayo de Flexión". Chile: INN.
- Instituto Nacional de Normalización. Nch806.EOf71: "Arquitectura y Construcción. Paneles Prefabricados. Clasificación y requisitos". Chile: INN.
- Pérez Galaz, V. (1991) *Manual de construcciones en madera*. Instituto Forestal. CORFO. Santiago. Chile.
- Poblete, C. y Hempel R. (1992) Cuaderno de la edificación en madera N°8: Vigas. Universidad del Bio Bio. Concepción. Chile.
- SBA-Structural Board Association (2004) *OSB in Wood frame construction*. Canada.