

REVALORIZACIÓN DE BLOQUES DE VIVIENDA SOCIAL EN CHILE POR MEDIO DE PANELES DE MADERA

UPGRADING SOCIAL HOUSING BUILDINGS IN CHILE THROUGH TIMBER PANELS

Cristián Schmitt Rivera ⁽¹⁾ (P)

(1) MSc Prof., Pontificia Universidad Católica de Chile, Escuela de Arquitectura, Santiago, Chile
Dirección de contacto: cschmitt@uc.cl; (P) Presentador

Código de identificación: T7-24

Resumen

Chile es un país con una importante tradición en edificación en madera, sin embargo, en la actualidad la mayoría de las estructuras utilizan albañilería y hormigón armado. El uso de maderas blandas ha influido en que se considere como un material de baja calidad y no logre consolidarse como un sistema constructivo.

Dentro de las estructuras en madera, los sistemas de paneles Midply y Panel Contralaminado (CLT) resultan relevantes para el contexto chileno debido a su comportamiento sismo resistente de muros arriostrantes. Para establecer la factibilidad de estos sistemas en Chile se analizaron aspectos sociales, técnicos y normativos. Se determinó que ambos sistemas son adecuados para el contexto chileno pero con algunas condiciones. Para su implementación es necesario mejorar la percepción negativa de los usuarios e incorporar el desempeño sísmico de la madera en la Norma Chilena.

Para analizar sus posibles aplicaciones arquitectónicas se propone ampliar bloques de 4 pisos de vivienda social en Santiago utilizando dichos sistemas. Estos bloques están siendo demolidos para levantar nuevas edificaciones ante la creciente demanda. Una alternativa más sustentable es la reutilización y mejoramiento de los edificios existentes para densificar la agrupación de viviendas.

La ligereza de los paneles Midply o CLT permite libertad del diseño de los departamentos mientras que su alta resistencia a las cargas laterales otorga un apropiado comportamiento sísmico a la estructura. Su combinación con el edificio de hormigón puede considerarse como una estructura unitaria con el mismo periodo de vibración, evitando su colapso.

Palabras clave: sistemas prefabricados; Midply; CLT; ampliaciones en madera; renovación de vivienda colectiva

Abstract

Chile is a country with a long tradition in wood construction. However, nowadays the majority of structures use masonry and reinforced concrete. The use of softwoods has contributed to the misconception of wood being a low-quality material and has hindered its consolidation as a reliable construction system.

Among timber structures, Midply and CLT (Cross Laminated Timber) panel systems become relevant for the Chilean context due to the seismic resistance of their shearwalls. In order to establish the feasibility of these systems in Chile, social, technical, and regulatory aspects were analyzed. These systems were found to be adequate for the Chilean context but with some conditions. In order to implement these systems, it is necessary to change the users' negative perception and to integrate the seismic performance of timber structures into the Chilean code.

To analyze the possible architectural applications in Santiago, we propose to upgrade four-story social housing buildings using these systems. Due to increasing demand, these buildings are currently being torn down to build new ones. A more sustainable alternative is to re-use and upgrade the existing buildings, thus densifying the housing complex.

The lightness of Midply or CLT panels allows for freedom of design, while its high resistance to lateral loads confers an appropriate seismic behaviour to the whole structure. Its combination with the concrete building can be considered as a unitary structure with the same vibration period, avoiding thus its collapse.

Keywords: prefabricated systems; Midply; CLT; timber expansions; collective dwelling renovation

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia la madera ha demostrado ser un excelente material para aplicaciones estructurales. Tradicionalmente los elementos de madera han sido utilizados con éxito en la construcción, pero a principios del S. XX regulaciones de prevención de incendios limitaron la altura de las edificaciones de madera en Europa, Norte América y Australia. La madera es un material combustible. Sin embargo, el correcto diseño de los edificios de madera permite cumplir con los requerimientos de resistencia al fuego a través de los métodos de carbonización o encapsulamiento¹. Recientes modificaciones a las normas de incendios, investigaciones y la aplicación de tecnologías han permitido el desarrollo de nuevos sistemas prefabricados. El uso de madera ha crecido sostenidamente y su utilización en edificios de mediana altura ha confirmado sus atributos de eficiencia energética, excelente aislación y comportamiento sísmico. En países del hemisferio norte es común ver edificios de 5 pisos estructurados de madera y con la aplicación de nuevos sistemas se amplían las posibilidades a estructuras de mayor altura. Utilizando algunos sistemas de madera masiva es posible desarrollar estructuras de hasta 18 pisos y nuevas propuestas apuntan a edificaciones de más altura como una alternativa a un campo reservado exclusivamente a construcciones de acero y hormigón armado.

Chile es un país con una importante tradición en edificación en madera principalmente en viviendas unifamiliares. Estas técnicas de construcción son parte de la herencia traída al país por inmigrantes en el S. XIX y presentan una fuerte influencia del hemisferio norte. Es posible encontrar destacados ejemplos a lo largo de todo el país y casos singulares como edificios de vivienda de 4 pisos en el campamento minero de Sewell o las iglesias de la Isla de Chiloé. Sin embargo, la vivienda conserva una fuerte influencia de la colonización española. Las casas en adobe son una práctica común en zonas rurales y las edificaciones de altura se estructuran en hormigón y albañilería reforzada. Por ejemplo, en el año 2011, un 66% de los muros construidos en el país fue estructurado en hormigón reforzado y albañilería mientras que solo un 12,8% utilizó madera[1].

Chile posee abundantes recursos forestales. La industria forestal representa la segunda actividad económica del país y ha mostrado un crecimiento sustentable desde los años 70. En la actualidad existen 15.4 millones de hectáreas de bosque que representan el 21% de la superficie nacional con una producción de 21.5 millones de metros cúbicos de madera en bruto[2]. Especies de crecimiento rápido como pino radiata (*Pinus radiata* D. Don) y eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill.) han sido introducidas desde los Estados Unidos y Australia. Estas maderas blandas hoy representan la base de la economía forestal donde el 77% del total de la producción corresponde a pino radiata. El uso masivo de estas maderas blandas ha influido en que sea considerada como un material de construcción de baja calidad.

La madera no ha logrado consolidarse como un material para la construcción. Solo 18% de la vivienda en el país se construye en madera y es principalmente usada en vivienda de 1 o 2 pisos[1]. Esta proporción es baja comparada con los Estados Unidos o Canadá, donde el uso de la madera alcanza a más del 80% de las construcciones. Sin embargo, otros países como el Reino Unido, Austria, Suiza y Alemania presentan un porcentaje de construcción en madera similar al de Chile y nuevos sistemas en madera están siendo utilizados exitosamente en estructuras de 6 y 7 pisos de altura. Esto sienta un precedente importante para la aplicación de esos sistemas en el contexto chileno. Las edificaciones de mediana altura representan una oportunidad única para estas nuevas tecnologías como una alternativa a las estructuras tradicionales.

¹ El método de carbonización se basa en el sobredimensionamiento de los elementos para proveer una capa adicional de madera que se carboniza y aísla al elemento constructivo. El método de encapsulamiento protege los elementos de madera con capas de materiales resistentes al fuego.

2. LOS SISTEMAS DE PANELES DE MADERA MIDPLY Y CLT

Es posible clasificar los sistemas constructivos en madera de acuerdo a sus características generales y comportamiento estructural. Dentro de esta configuración los sistemas de paneles destacan debido a su configuración de muro arriostrante con un comportamiento sismo resistente. Los elementos estructurales logran este comportamiento a través del uso de madera masiva o paneles de marco de madera con placa rígida. Los sistemas de paneles de madera masiva se utilizan íntegramente como muros arriostrantes y diafragmas rígidos que soportan las cargas sísmicas, mientras que los sistemas de marco incluyen planchas de terciado o tableros OSB que actúan en combinación con las soleras y pies derechos para crear el mismo efecto. Hasta la fecha únicamente dos de estos sistemas han sido evaluados sísmicamente en prototipos estructurales de 6 y 7 pisos a escala real con resultados exitosos: los sistemas Midply y Panel Contralaminado (CLT).

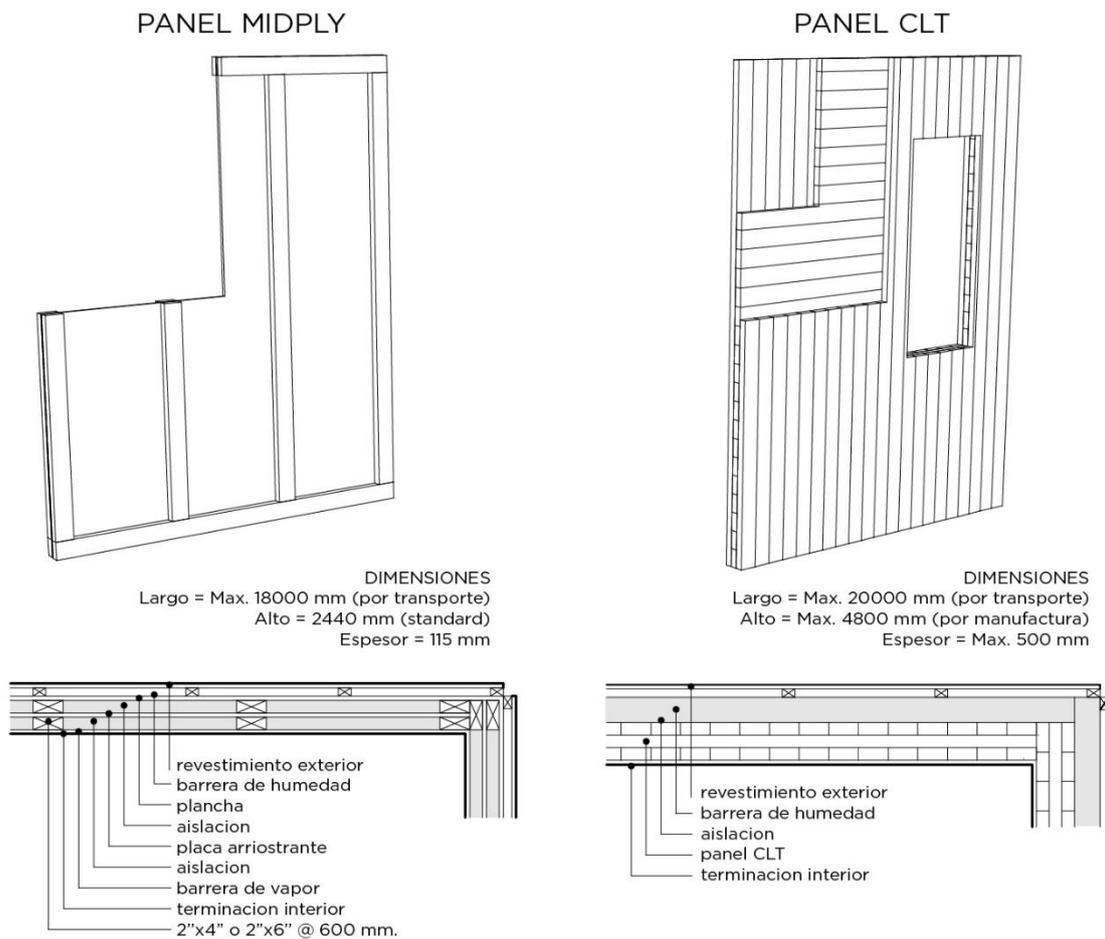


Figura 1: Características generales y detalle constructivo de muro envolvente de paneles Midply y CLT.

El sistema Midply consiste en una variación del sistema de marcos de madera en plataforma² para lograr una mayor resistencia a las cargas laterales. El panel Midply utiliza el mismo principio de los muros arriostrantes convencional pero con un reordenamiento de sus elementos. Este tipo de muro normalmente consiste en un marco de piezas 2" x 4" o 2" x 6" de soleras y pies derechos espaciados a 400 mm. con una placa rígida fija a una cara del panel. En el caso del panel Midply la placa arriostrante se ubica al centro del panel con piezas 2" x 3" o 2" x 4" por ambos lados del panel y un

² El sistema de plataforma se caracteriza por los entramados o paneles de muros que tienen la altura de un piso.

espaciamiento de 600 mm. entre pies derechos. Esto genera conexiones con un doble esfuerzo de corte que proporciona una resistencia lateral adicional al panel[3]. De acuerdo a evaluaciones desarrolladas en Canadá la resistencia a cargas laterales de los paneles Midply es 3 veces mayor que un panel arriostrante convencional[4].

En general, el diseño estructural para los edificios que utilizan el sistema Midply no varía significativamente respecto a un edificio de marcos en plataforma. La capacidad de carga vertical de los paneles es la misma de un panel convencional, pero su alta resistencia a los esfuerzos laterales constituye un mejoramiento del sistema de plataforma para zonas sísmicas. Su aplicación no pretende ser utilizado en la totalidad del edificio, sino que está orientada a zonas con altas cargas laterales o donde la longitud de los muros está restringida por el diseño. La principal restricción del sistema es la continuidad estructural del muro hasta la base del edificio para asegurar el comportamiento arriostrante ante las cargas laterales. Para los paneles de piso se puede considerar envigados de 2" x 8" para luces de hasta 3 metros o vigas I-joist para luces mayores.

En la actualidad los muros Midply están siendo desarrollados en British Columbia, Canadá para lograr estructuras de 6 pisos o 18 metros de altura que no cumplirían con los requerimientos sísmicos utilizando los sistemas tradicionales.

El sistema de madera masiva CLT se compone de capas de piezas de madera encoladas orientadas a 90° para aumentar su rigidez y estabilidad de forma similar a lo que ocurre con el contrachapado en una plancha de terciado. Los muros se componen de 3 a 9 capas de madera cepillada laminada con unión finger-joint. Las capas normalmente se disponen en cantidades impares para mantener la simetría del componente mientras que el espesor de los paneles varía según los estándares de manufactura. Los productores europeos desarrollan capas entre 19mm a 40mm de espesor mientras que los norteamericanos mayormente utilizan listones 2" x 4" con un espesor de 38 mm[5].

El comportamiento estructural de los sistemas de madera masiva es más similar a las estructuras de hormigón que a las de marco de madera debido a la rigidez de sus componentes[6]. Los paneles presentan una alta resistencia a los esfuerzos de corte y buena respuesta a los esfuerzos de flexión. Sin embargo, se precisa de consideraciones especiales en el caso de los conectores para asegurar la correcta relación entre los componentes. En general, las uniones entre paneles se realizan utilizando autoperforantes, pero en el caso de zonas sísmicas es necesario utilizar fijaciones de placa de acero.

En edificios de mediana altura se puede especificar paneles de muro 3 capas para los 3 pisos superiores, mientras que para los pisos inferiores se debe considerar 5 capas. Asimismo, paneles de piso de 5 capas cumplen con los requerimientos para luces de 5 metros. En la mayoría de los casos los paneles de 7 capas no son viables debido al alto costo asociado.

Este sistema se ha desarrollado a partir de los años 90 en Europa y es el caso más importante de paneles de madera masiva en dicho continente. En la actualidad es posible encontrar más de 15 plantas donde Austria es el caso más importante con una producción de más de 76.000 m³ por año como el mayor productor a escala global[7].

3. FACTIBILIDAD EN EL CONTEXTO CHILENO

Para establecer la factibilidad de estos sistemas en Chile se consideran aspectos sociales, técnicos y normativos. Luego de analizar la factibilidad de mercado (percepción de los usuarios), disponibilidad de recursos (industria forestal y recursos de madera), factibilidad de manufactura (fabricación de elementos prefabricados), desempeño estructural (dimensionamiento de muros y losas y comportamiento sísmico) y normas constructivas (NCh433 Diseño sísmico de edificios; NCh1198 Madera-Construcción en Madera-Cálculo; y Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones) se determinó que ambos sistemas son adecuados para el contexto chileno pero con algunas condiciones.

Es necesario desarrollar estrategias para modificar la percepción negativa de los usuarios respecto a la vivienda en madera. De acuerdo a estudios de mercado, los usuarios poseen arraigados prejuicios

en contra del uso de madera en la construcción. A pesar de que destacan su flexibilidad para las renovaciones y ampliaciones, existe una preferencia por los sistemas masivos como la albañilería. Sin embargo, solo 6% de los usuarios argumenta la resistencia de las estructuras de madera como una preocupación. La madera se relaciona con un material combustible (43%) y que es susceptible al ataque de agentes bióticos (36%)[8].

Estos sistemas prefabricados son factibles de manufacturar localmente y su aplicación podría mejorar la calidad de los productos y disminuir costos de construcción. Sin embargo, los paneles prefabricados deben ser ajustados a las posibilidades de manufactura local. Es necesario investigar la aplicación, en los paneles, de pino radiata como principal producto forestal. El pino radiata posee una baja resistencia a la compresión perpendicular a la veta. En los sistemas de marco, las soleras ubicadas en las plantas bajas de los edificios de mediana altura pueden colapsar ante las altas cargas de compresión. Sin embargo, el pino radiata podría ser apto para la construcción de paneles CLT porque estos paneles presentan bajos esfuerzos de flexión³[9]. Para los paneles de madera masiva se recomienda considerar la manufactura según las dimensiones nominales de los listones 2" x 4" (42mm x 90mm) resultando en paneles de 135mm (3 capas) y 210mm (5 capas). Sin embargo, el desarrollo de la producción de paneles Midply requiere una menor inversión inicial ya que el sistema usa los mismos componentes del sistema tradicional de marco de madera. Asimismo, la cantidad de madera utilizada es un tercio de la de los paneles masivos.

La resistencia al fuego de los elementos de construcción detallada en la ordenanza de construcción nacional posee requerimientos similares a los estándares norteamericanos. Sin embargo, difiere en que no distingue entre estructuras combustibles y no combustibles por lo que no exige el uso de sistemas de sprinklers para las estructuras de madera. Según el Listado Oficial de Comportamiento al Fuego de Elementos y componentes de la Construcción del MINVU a un panel CLT de 3 capas se le puede asignar una resistencia al fuego de 60 minutos mientras que uno de 5 capas una resistencia de 90 minutos[10]. Estos valores cumplen para la mayoría de los elementos de un edificio residencial de 5 pisos. En el caso de muros cortafuegos, cajas de escaleras o estructuras de más pisos se puede lograr la resistencia necesaria encapsulando los elementos Midply o CLT con planchas de yeso-cartón o fibrocemento.

Por otra parte, el comportamiento térmico requerido por la norma es notoriamente menos exigente que el especificado por otros códigos del hemisferio norte. En este caso ambos sistemas cumplen con los requerimientos nacionales. La principal diferencia consiste en la ubicación de la aislación en los muros: en los sistemas de marco la aislación se ubica dentro del mismo mientras que en los sistemas de madera masiva normalmente se aplica en la cara exterior del panel. Normalmente los paneles CLT poseen un mejor comportamiento debido a que la masividad y propiedades aislantes de la madera proveen un adecuado comportamiento térmico por lo que no siempre se necesita aislación adicional.

³Los sistemas de paneles CLT poseen un esfuerzo de flexión máximo de alrededor 5 N/mm².

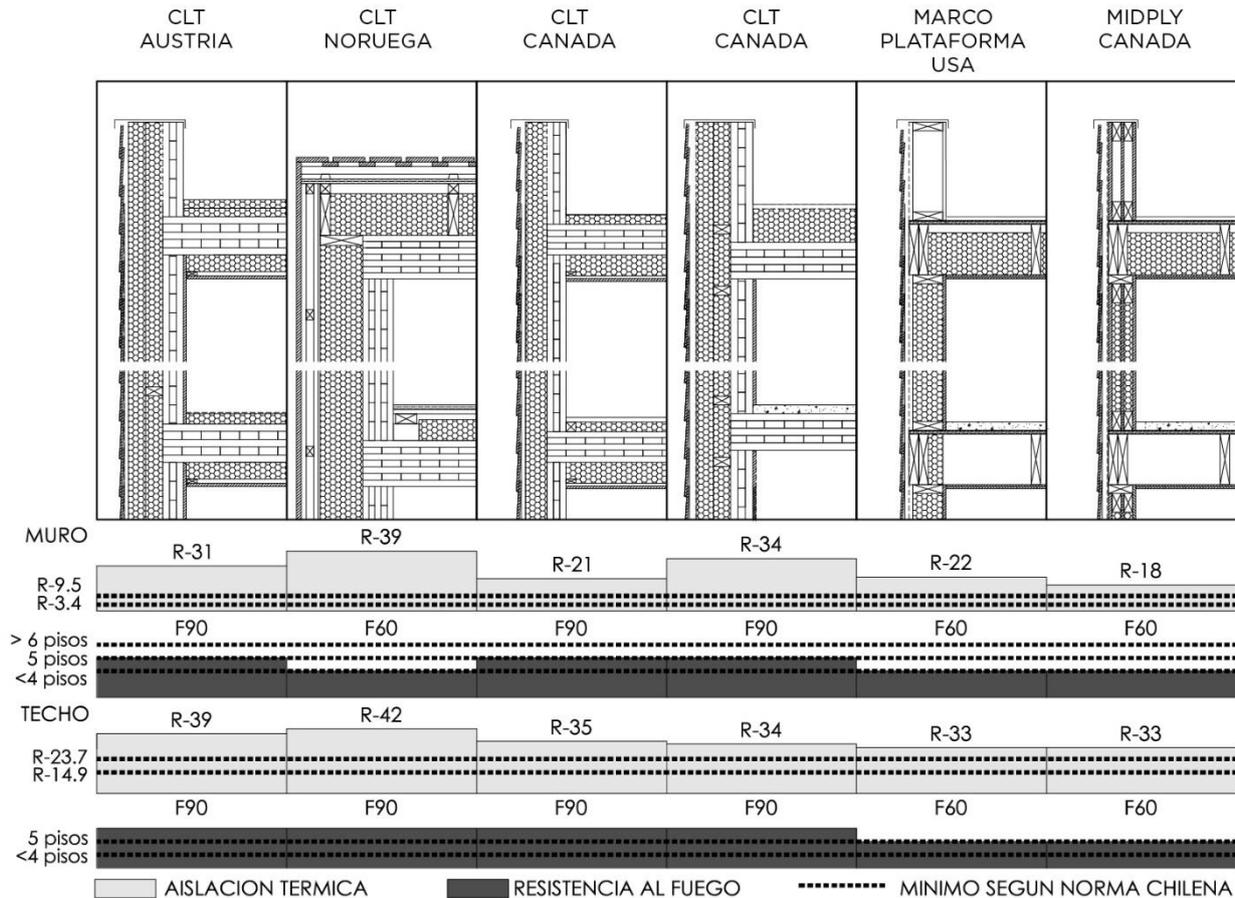


Figura 2: Comparación de cortes de detalle y desempeño de envolvente entre soluciones de paneles CLT, Midply y sistema de marco plataforma. La Resistencia Térmica R ($h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F / Btu$) representa la aislación térmica del elemento constructivo y depende de la conductividad y espesor de los materiales de construcción utilizados. La resistencia al fuego F define el tiempo mínimo en minutos en que el elemento constructivo debe permanecer funcional al ser expuesto al fuego.

A pesar de que estos sistemas han sido implementados en zonas sísmicas, su comportamiento estructural no cumple con los requerimientos de la norma para desplazamientos entre pisos ante cargas sísmicas. Esto se debe a que el principio estructural de la construcción en madera posee una alta resistencia comparada a su peso, por lo tanto, los edificios en madera tienden a ser más livianos que otras tipologías. La ligereza de las estructuras en madera reduce las cargas sísmicas y los edificios poseen más flexibilidad ante los sismos que otras estructuras como hormigón o albañilería. En la actualidad la norma de diseño sísmico está enfocada en estructuras de hormigón y es necesario que se estudie y considere la flexibilidad y disipación de energía propias de las estructuras de madera para permitir la incorporación de sistemas como Midply y CLT.

Estos sistemas de madera también pueden ser utilizados para ampliar estructuras existentes. En el año 2012 se realizó una ampliación de 3 pisos al Hotel Terme Čatež en Eslovenia utilizando paneles de CLT. La estructura existente de 4 pisos consistía en albañilería con refuerzos y losas de hormigón armado. La masa del nuevo edificio solo aumentó en un 10% mientras que las fuerzas originadas por esfuerzos sísmicos aumentaron en un 6% después de la ampliación[11].

A partir de esta obra, se ha estudiado el comportamiento de ampliaciones a estructuras existentes por medio de modelos matemáticos y pruebas en mesas vibratorias de modelos escala 1:2. El análisis demostró que las ampliaciones de marcos de madera y de acero son muy flexibles comparadas con la estructura existente de hormigón y puede ocasionar un “efecto de látigo”. Ante esfuerzos sísmicos se

pueden originar desplazamientos horizontales excesivos en los pisos superiores y la estructura de ampliación parcialmente vibra en sentido opuesto a la estructura existente[12].

Esta deformación no presentó problemas cuando se utilizó paneles de CLT. Este sistema es ligero pero rígido, puede disipar la energía a través de los conectores utilizados y transferir los esfuerzos sísmicos a la estructura original. El desempeño de las ampliaciones en CLT es considerablemente mejor a las de estructuras de acero considerando las transferencias de cargas, diferencias en la rigidez, efecto látigo y velocidad de construcción. Sin embargo se produce un aumento en los esfuerzos sísmicos que debe ser considerado en el diseño[13].



Figura 3: Comportamiento sísmico de ampliaciones utilizando sistema de marco tradicional y sistema de paneles de madera.

4. PROPUESTA ARQUITECTÓNICA

Para analizar las posibles aplicaciones arquitectónicas de estos sistemas se propone ampliar bloques de 4 pisos de vivienda social en Santiago utilizando paneles de madera. Los bloques lineales de viviendas de 4 pisos han sido ampliamente desarrollados en grandes áreas de la ciudad. La densificación de la ciudad, aumento de la demanda y su ubicación privilegiada ha llevado a demoler algunos de estos bloques para levantar nuevas edificaciones. Una práctica sustentable en nuestras ciudades y alternativa a la demolición es la reutilización y mejoramiento de los edificios existentes para adaptarse a nuevos requerimientos.

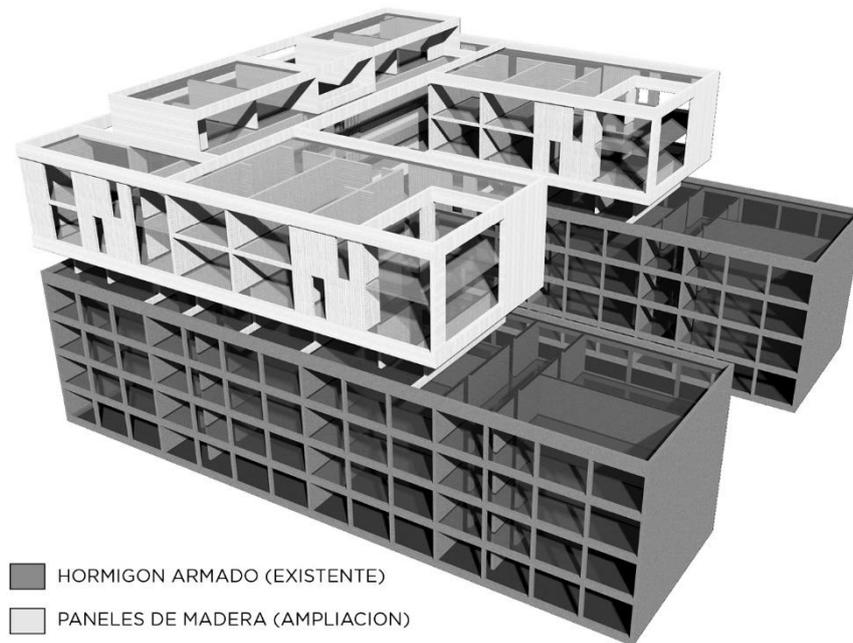


Figura 4: Sistema constructivo y materialidad de la estructura existente y de la ampliación propuesta.

Las condiciones para el mejoramiento de los bloques y su entorno quedan definidas a partir de los problemas de su condición actual. Los bloques lineales de viviendas corresponden a un modelo repetible con una distribución simétrica de departamentos que no responde a su contexto ni orientación solar. Se propone densificar la agrupación de viviendas e incorporar unidades de más dormitorios maximizando las posibilidades del sitio por medio de la conexión de los edificios existentes. Las nuevas fachadas del edificio responden a la orientación solar por medio de celosías fijas y móviles como elementos de control.



Figura 5: La ampliación propuesta en el contexto urbano.

La ligereza de la estructura de madera no requiere replicar exactamente la distribución en planta en los nuevos pisos. Esto permite flexibilidad y diversidad en el diseño de los departamentos. La utilización de un sistema prefabricado de rápida instalación representa un mínimo impacto para los residentes del barrio.

Los paneles Midply y CLT cumplen con estos requerimientos de ligereza a la vez que poseen una alta resistencia a las cargas laterales y una rigidez más cercana a las estructuras de hormigón. El desempeño de ampliaciones sobre estructuras de hormigón armado que utilizan sistemas de paneles de madera Midply y CLT es mejor al de ampliaciones en acero o de marco de madera tradicional. El comportamiento estructural de estos paneles evita desplazamientos horizontales excesivos, la aparición del “efecto látigo” y permite un apropiado comportamiento sísmico del edificio en su totalidad. Estos sistemas estructurales combinados expanden las posibilidades arquitectónicas para el desarrollo de una tipología que reutiliza los edificios existentes y se adapta a la densificación de la ciudad.

CONCLUSIONES

La evaluación de la factibilidad del uso de paneles de madera en Chile requiere de un enfoque multidisciplinar. Por medio de consideraciones sociales, técnicas y normativas se pudo determinar que los sistemas de paneles de madera Midply y CLT son adecuados para el contexto chileno pero con algunas condiciones para que su aplicación sea factible. En términos generales se requiere investigar sobre la utilización de coníferas como pino radiata en sistemas de paneles de madera y buscar mecanismos para mejorar la impresión de los usuarios sobre las viviendas de madera. La condición más relevante para la aplicación de estos sistemas en edificaciones de mediana altura se refiere a la necesidad de normativas específicas para el desempeño sísmico integral de estructuras de madera.

El caso de estudio donde se propone ampliar bloques de 4 pisos de vivienda social en Santiago demostró que el contexto chileno ofrece novedosas oportunidades de diseño de edificios con estructuras de

paneles de madera. Gracias a la flexibilidad, ligereza y alta resistencia al esfuerzo de corte, estos sistemas son adecuados para la alta actividad sísmica de Chile y para la expansión de estructuras existentes. Para continuar con el desarrollo de este proyecto se requiere de investigaciones adicionales que consideren: evaluar la estructura existente y estado de redes de servicio de los bloques de vivienda; estudiar el mejoramiento térmico de estos edificios; evaluar la factibilidad legal y regulatoria del proyecto; desarrollar un modelo de intervención social que permita trabajar este proyecto en conjunto con los vecinos; realizar un análisis detallado de costos y desarrollar un modelo de negocios.

REFERENCIAS

- [1] Instituto Nacional de Estadísticas, “Edificación, Informe Anual 2010,” Instituto Nacional de Estadísticas; Subdirección de Operaciones, Subdepartamento Estadísticas Sectoriales, Santiago, Chile, (2011) 58.
- [2] Fritz, A., “Manual La Construcción de Viviendas en madera”, Centro de Transferencia Tecnológica de la Corporación Chilena de la Madera, Santiago, Chile, (2004) 14.
- [3] Karacabeyli E. Stierner S y Ni C., “Midply Shearwall System,” presentado en 2001 Structures Congress and Exposition, Washington, D.C., U.S.A., (2001), 2-3.
- [4] Ni, C., Popovski M., Karacabeyli, E., Varoglu E. y Stierner S., “Midply Wood Shearwall System: Concept, Performance and Code Implementation,” FPIInnovations, Forintek Division, Vancouver, BC, Canada, (2007) 5.
- [5] FPIInnovations, “CLT - Introduction to Cross-Laminated Timber,” in *CLT Handbook Cross-Laminated Timber*, S. Gagnon and C. Pirvu, Eds. Quebec, QC, Canada: FPIInnovations, (2011) 3.
- [6] Malczyk, R., “Cross-Laminated Timber in British Columbia,” presentado en Cross Laminated Timber Symposium, Vancouver, BC, Canada, (2011).
- [7] Schickhofer, G., “CLT-European Experiences,” presentado en Cross Laminated Timber Symposium, Vancouver, BC, Canada, (2011).
- [8] Collect, “Informe Estudio cualitativo, Madera como material constructivo,” CIDM - PUC (CORMA), Chile, (2008).
- [9] Chapman, J., “John Chapman en la FAU 2011,” Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile, (2011).
- [10] Ministerio de Vivienda y Urbanismo, “Listado Oficial de Comportamiento al Fuego de Elementos y componentes de la Construcción del Ministerio de Vivienda y Urbanismo”. Chile, (2014) 9.
- [11] Sustersic, I., Dujic, B. & Gostic, S. “Timber Upgrade of Structures on Seismically Active Areas”, (2010).
- [12] Jancar, J. & Dujic, B. “Seismic Analysis of Existing Buildings with Different Construction Upgrades”, (2010).
- [13] Jancar, J., Dujic, B. & Premrov, M. “Seismic Response of Buildings Upgraded With The X-Lam Timber Superstructure”, (2012).