

DISEÑO INTERDISCIPLINARIO PARA EL SISTEMA CONSTRUCTIVO MARCO Y PLATAFORMA, RECOMENDACIONES PARA UNA BUENA ESTRUCTURACIÓN

INTERDISCIPLINARY DESIGN FOR THE LIGHT TIMBER FRAME SYSTEM: RECOMMENDATION FOR A GOOD STRUCTURATION

Sebastián I. Cárcamo Chávez ⁽¹⁾ (P), **José L. Caamaño González** ⁽²⁾, **Allan A. Cid Olivares** ⁽³⁾

(1) Ing. Civil Universidad Técnica Federico Santa María – Casa Central, Investigador Centro UC de Innovación en Madera, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.

(2) Mg. Arq. Sustentable y Energía, Pontificia Universidad Católica de Chile, Investigador Centro UC de Innovación en Madera, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.

(3) Mg. Ing. Civil de Industrias, Subdirector de Investigación Centro UC de Innovación en Madera, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

Dirección de contacto: secarcamo@uc.cl; (P) Presentador

Código de identificación: T7-18

Resumen

Este trabajo muestra los frutos de una colaboración entre arquitecto e ingeniero para proponer parámetros de diseño que verifiquen una estructuración segura de edificios prefabricados de mediana altura construidos mediante el sistema Marco Plataforma. Contextualizados en un proyecto que pretende cambiar la normativa sísmica chilena vigente y a partir de un estudio del estado del arte, el que incluye edificios de vanguardia y ensayos a escala en mesas vibratorias, donde se recopilieron y analizaron un grupo de parámetros en los más de 10 casos analizados. Esto surge ante la necesidad de tener referentes y guías concretas para el diseño de edificios de madera en Chile, para así poder fomentar su uso. El trabajo evidencia cómo, a través de una dinámica complementaria entre arquitectura e ingeniería que inicia desde la concepción del proyecto, se pueden satisfacer demandas arquitectónicas como fachadas permeables y discontinuas, demandas por luminosidad propias de edificios residenciales, diferentes usabilidades y grandes luces, entre otras, sin comprometer la integridad estructural de éste.

Palabras clave: construcción en madera, pre-diseño en madera, recomendaciones estructurales, sistema Marco y Plataforma

Abstract

This project shows the results of a collaborative work between architect and engineer to propose design parameters that verifies a safe structuration of mid-rise prefabricated buildings with the light timber frame system. Contextualized in a project that aims to change the Chilean seismic code and taking as the main reference a state of the art study that includes residential buildings and real scale test, where several proposed parameters were calculated and analyzed for more than 10 cases. These parameters respond to a necessity of a design guide and references for timber buildings in Chile to increase its construction. This work shows how, throughout a complementary work between architect and engineer that begins since the conception of the project, the architectural demands like: permeable and discontinues facades, lighting demands, different functions and big joist or beam spans without compromising its structural stability.

Keywords: timber construction, timber pre design, structural recommendation, light timber frame

1. INTRODUCCIÓN

La madera ha sufrido su redescubrimiento dentro de la construcción, sin duda los avances tecnológicos en materias de: prefabricación, durabilidad, protección, conexiones y uniones han permitido un gran desarrollo, además, el gran potencial en materia de desarrollo sustentable que presenta la madera evidentemente ha motivado e impulsado a que los mercados nacionales inviertan e innoven en la construcción con madera. (CORFO, 2016)

El sistema constructivo de marco y plataforma consiste en la estructuración de paneles (muros y losas) mediante la unión de piezas de madera con secciones pequeñas. Los paneles de muro se componen de pies derechos separados entre 40 y 60 cm. Siendo arriostrados por una placa estructural. Las losas se estructuran mediante vigas principales y secundarias, siendo arriostrado por placas, generando un diafragma rígido.

Las principales ventajas del sistema de marco y plataforma son: el menor tiempo en obra y uso eficiente de recursos; el ahorro de energía en la utilización del edificio, por características térmicas del material; la liviandad de la construcción, una casa de este tipo puede llegar a pesar el 25% de una tradicional, lo que se traduce en fundaciones más pequeñas, y menores costos asociados al transporte de materiales; finalmente también permite una fácil combinación con otros materiales, como aislación térmica o cualquier tipo de placas (INFOR, 2015). De esta forma, la característica principal de este sistema constructivo consiste en que la capacidad estructural de muros y losas se logra mediante la sumatoria de cada pieza de madera, generando grandes resistencias a partir de pequeñas piezas de madera. Esto, sumado al potencial en materia de desarrollo sustentable de la construcción ha llevado a las edificaciones de madera a encontrarse en un momento de apogeo en el viejo continente.

El gran desarrollo a nivel tecnológico e industrial (Alvarez, et al. 2011) ha permitido que la construcción en madera evolucione, y avance desde la escala doméstica, de una tradicional casa de uno o dos pisos, a una escala mayor, abarcando inmensos condominios de mediana altura de 5 o 6 pisos, hasta torres de 18 pisos de altura. (Cotter, 2014)

En un esfuerzo para potenciar la construcción en madera, la Pontificia Universidad Católica de Chile se encuentra desarrollando un proyecto para cambiar la normativa sísmica y así regular la construcción de edificios de madera. Parte de este proyecto fue el levantamiento de un documento sobre el estado del arte del sistema marco plataforma, del cual se pudiesen reconocer configuraciones representativas, buenas prácticas y detalles de diseño. A partir de este documento, se registraron distintos parámetros, los que se presentan en este artículo. Estos parámetros se desarrollan pensando en el desarrollo íntegro del proyecto, donde la dinámica entre arquitectura e ingeniería deben colaborar desde la concepción del proyecto.

2. DENSIDAD DE MUROS EN PLANTA

La madera es un material resistente y flexible, por lo que las mayores limitaciones en su diseño están asociadas a las deformaciones en que esta incurre. Este parámetro debe ser verificado mediante expresiones teóricas detalladas, en el caso del sistema marco plataforma la deformación se calculara según: Conectores, Escuadría, Cantidad de pies derechos de borde, Espaciamiento de pies derechos, Tipo y cantidad de planchas arriostrante y Tipo y espaciamiento de clavos. Sin embargo, las instancias de trabajo conjunto entre ingeniero y arquitecto se desarrollan idealmente en la etapa de anteproyecto, donde el detalle de los elementos estructurales no se ha definido. Para poder tener un avance eficiente en esta etapa resulta de gran utilidad poder determinar, de manera aproximada, si la distribución y cantidad de muros será la suficiente para poder cumplir con los parámetros de flexibilidad establecido por las normativas.

En Chile, las oficinas de ingeniería han adoptado como práctica común verificar que la densidad de muros para edificios de hormigón armado no sea menor al 2% del área total en planta. Este valor

fue establecido a partir de un análisis histórico de los edificios construidos versus su comportamiento sísmico y ha sido recientemente validada tras el análisis de los daños ocurridos el terremoto del Maule 2010 (C. Alarcon) (R. Junemann).

En esta investigación se calculó la densidad de muros de los edificios analizados en el estado del arte (CIM UC, 2016) , bajo el criterio que la relación alto/largo de los muros fuese menor a 0.5. Es decir, no se consideraron los muros de una longitud menor a 1,2 [m]. La decisión de discriminar los muros menores a 1,2 [m] se basa en que la resistencia de diseño de los muros con una relación alto/largo mayor a 0.5 se ve considerablemente reducida (SPDWS). Estableciendo así un criterio conservador para proponer un parámetro que ayude al pre diseño de edificios construidos en con el sistema Marco Plataforma.

En base al estudio del estado del arte, como se muestra en la figura 1, se observó que los edificios construidos en base al sistema Marco Plataforma tienen, de manera aproximada, una densidad de muros entre un 3% y un 6% por dirección.

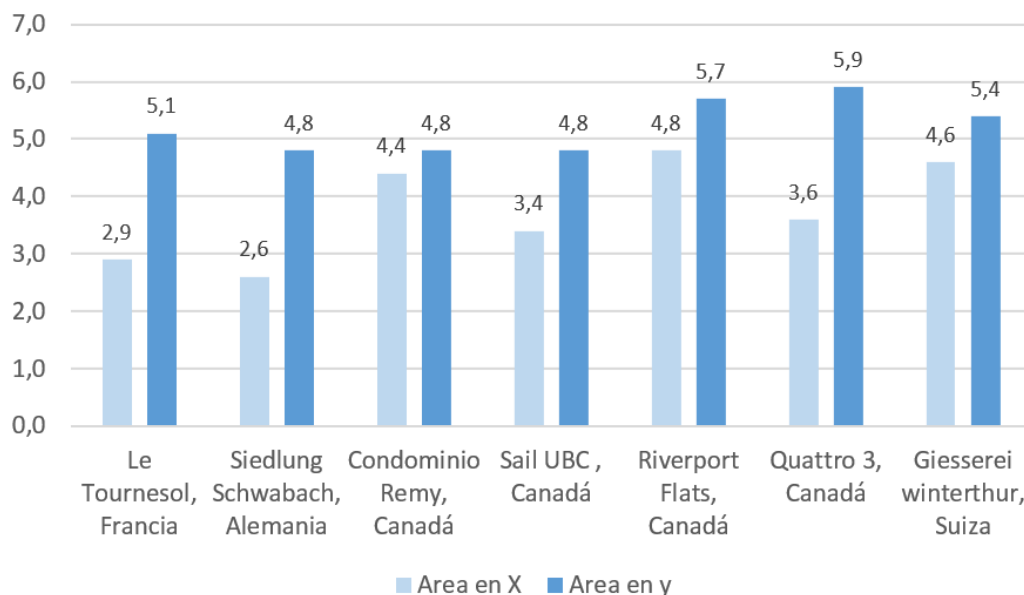


Figura 1: Porcentaje de muros por ejes en edificios estudiados

Las deformaciones en las que incurre un muro de Marco Plataforma están definidas en gran parte por las deformaciones asociadas al conector que los ancle a la fundación y entre ellos. Dentro de la información recopilada, todos los edificios de mediana altura utilizan el sistema *Anchorage Tiedown System* (ATS) los que corresponden a anclajes continuos en cada extremo del muro, como se ve en la figura 2.

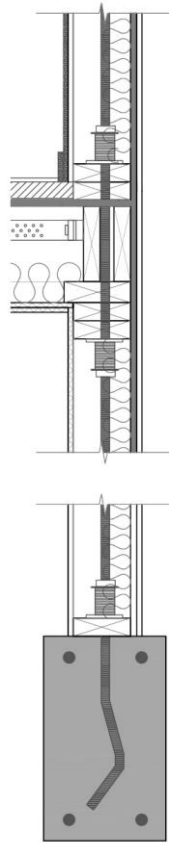


Figura 2: Sistema de anclaje ATS

En base a lo analizado, se propone como referencia para el pre diseño de edificios estructurados con el sistema Marco Plataforma, verificar que la densidad de muros por dirección no sea menor a un 4%, siempre y cuando estos utilicen conectores continuos en sus extremos.

3. DENSIDAD DE MUROS EN FACHADA

Como se vio en el punto anterior, la densidad de muros dentro de un edificio es un parámetro muy relevante en el comportamiento de este. Un punto importante en la habitabilidad de cualquier vivienda corresponde al confort lumínico, el cual puede relacionarse con la densidad de muros en fachada, ya que se traduce directamente al porcentaje de área opaca y translúcida de un edificio.

La importancia de este parámetro en un edificio de Marco Plataforma radica en que este tipo de edificaciones presenta altos niveles de opacidad en sus fachadas. Para poder pre diseñar edificaciones de Marco Plataforma con un nivel de luminosidad adecuado resulta atractiva la propuesta de un parámetro que pre dimensione la repercusión lumínica de la distribución de elementos estructurales sobre el edificio.

En la oferta inmobiliaria actual de Santiago el promedio del área vidriada supera el 80%. Ofertando así, viviendas con altos niveles de luminosidad. Lo cual representa un desafío para introducir el sistema Marco Plataforma como competidor al mercado.



Figura 3: Distribución de muros en un departamento de 1, 2 y 3 dormitorios

De acuerdo al estudio del arte, el porcentaje de área ventilada promedio en los edificios analizados es cercana a un 40%. Será este parámetro el que se propone como una verificación a nivel de pre diseño para corroborar que el área ventilada sea suficiente para establecer un confort lumínico adecuado.

De acuerdo a los parámetros recomendados en la norma UNE 12464.1 el confort lumínico en una vivienda se puede verificar según los valores señalados en la tabla 1.

Tabla 1: Recomendación para el confort lumínico en viviendas

ZONAS DE LA VIVIENDA		ILUMINANCIA (lux)
Dormitorios	General	50
	En la cabecera de la cama	200
Cuartos de Aseo	General	100
	Afeitado, maquillado	500
Cuarto de Estar	General	100
	Lectura, costura	500
Cocina	General	300
	Zona de trabajo	500
Comedor	General	100
	Comida	300
Escalera		100
Cuarto de trabajo o estudio		300
Cuartos de niños		150

3.1 Análisis de iluminación mediante software Ecotect analysis (Lighting Analysis)

Con el fin de analizar el parámetro propuesto se realizó un análisis lumínico (Lighting Analysis) con el programa *Ecotect*, el cual mide los niveles de iluminación natural o artificial en un punto específico del modelo. Para este estudio se analizó una planta representativa dentro de la oferta inmobiliaria de Santiago, donde el área de fachada vidriada corresponde a un 40% de la fachada total, este modelo fue sometido a iluminación natural, representando un día nublado donde la iluminancia del cielo corresponde a 8500 lux.

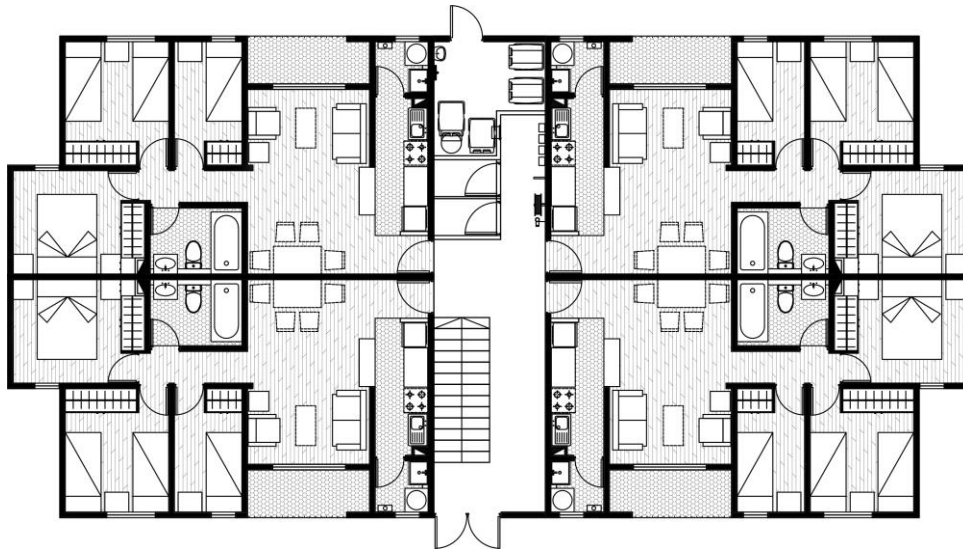


Figura 3: Planta tipo edificio representativo de la oferta inmobiliaria (CIM UC, 2016)

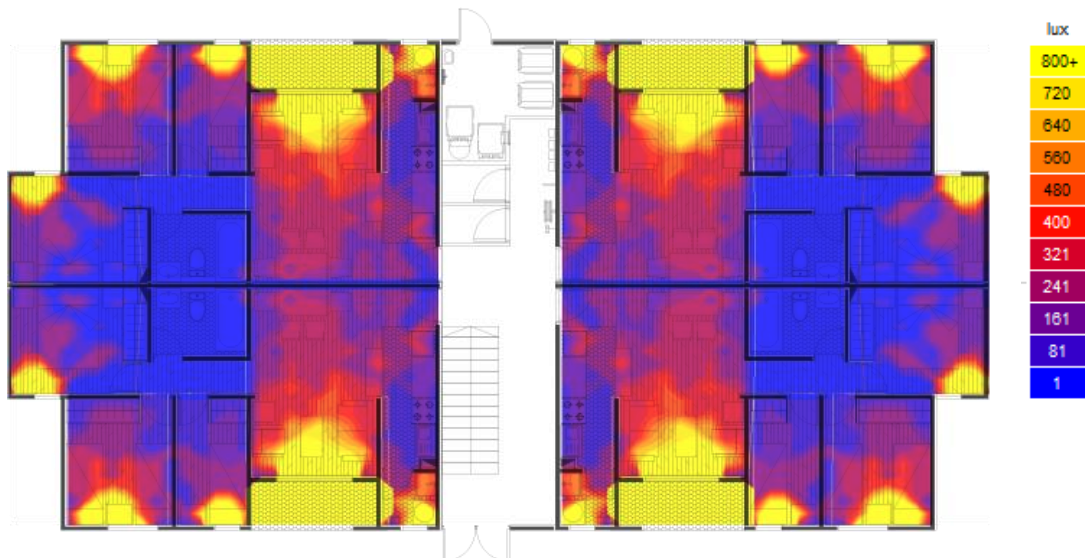


Figura 4: Análisis lumínico sobre planta de edificio tipo.

Como se puede apreciar en las figuras 3 y 4 todos los espacios comunes, de acuerdo a la UNE 12464.1(AENOR, 2012), alcanzan un nivel aceptable de luminosidad al tener una fachada vidriada de un 40%. Si bien, este valor no habla de la distribución del espacio ventilado a lo largo de la fachada, el trabajo de diseño debiese contemplar esta distribución de manera tasita.

Estos resultados nos muestran dos tipos de oportunidades. Por una parte, nos permite validar que edificaciones con menores porcentajes de transparencia en sus fachadas satisfacen de buena manera estándares internacionales de confort lumínico. Por otra parte, nos permite el desarrollo de edificios con un mayor desempeño térmico, ya que al considerar menor cantidad de vidrio en su envoltente, la eficiencia en el consumo energético de estas viviendas aumenta.

4. FLEXIBILIDAD EN EL DISEÑO

Los parámetros presentados, entregan de manera general una acotada flexibilidad arquitectónica alcanzada en estructuras de marco plataforma por su elevada densidad de muro por dirección y fachada. Dentro de los casos analizados se han desarrollado distintas alternativas para otorgar mayor flexibilidad a los edificios. Del estudio del estado del arte, reconocemos tres características

que permiten elevar la flexibilidad del edificio: madera de ingeniería (vigas I-joist), núcleos rígidos (CLT y H.A.), y un primer nivel solido (Albañilería, H.A.).

4.1 Madera de ingeniería

Dentro de los casos analizados, la madera de ingeniería logra salvar, en promedio, luces de hasta 9 metros, a diferencia de los 2.8 metros que en promedio permiten los perfiles aserrados comerciales utilizados en Chile. Como caso particular, el condominio Remy (Canadá), donde mediante la utilización de vigas I-Joist, permiten salvar grandes luces de hasta 9 metros y así dotar de un alto estándar y flexibilidad a la vivienda.

4.2 Núcleos rígidos

Debido a la característica flexible de la madera, y las limitaciones asociadas a la cantidad de muros, una solución característica dentro de los casos analizados es utilizar núcleos rígidos dentro del edificio. Este es aprovechado normalmente en las cajas de ascensores, donde se requiere una mayor rigidez por temas de servicio. Esto permite disminuir la densidad de muros por dirección, debido a la alta rigidez relativa que posee un muro de hormigón armado en comparación a uno de marco plataforma.

La inclusión del CLT ha permitido que la construcción en madera pueda solucionar este problema sin recurrir al hormigón, lo que hace que la construcción del edificio se mantenga prefabricada y que sea una construcción en seco. Si bien, el CLT tiene una rigidez relativa con el sistema marco plataforma menos que el hormigón, permite entregar la rigidez necesaria para solucionar la estructuración de la caja de ascensor.

4.3 Primer piso de diferente material

La utilización de distintos fines en el primer piso es común, sobre todo en áreas muy transitadas. La disposición de espacios comerciales suele requerir umbrales amplios y luces grandes, esto sumado a las posibilidades de solicitudes de alto impacto, como accidentes automovilísticos, hace que la utilización de materialidades más rígidas en el primer piso sea de gran utilidad.

La inclusión de un primer piso de hormigón se puede entender, debido a la rigidez relativa con el sistema marco plataforma, como parte de su fundación. Esta estructura será la que reciba los conectores y el corte acumulado de los pisos superiores. El diseño debe tener en cuenta el empalme de los conectores y la transferencia de carga axial de los muros, transfiriéndola de la mejor manera hacia el suelo.

5. CONCLUSIONES

A partir de un trabajo de recopilación de información y el análisis de este, se pudo determinar un número de factores comunes respecto a la estructuración de edificios de mediana altura estructurados con el sistema Marco Plataforma. Estos parámetros se ven traducidos en parámetros que ayudan a balancear las distintas demandas con los requisitos propuestos por diseño arquitectónico.

Lo expuesto en este artículo no pretende simplificar el cálculo o la propuesta arquitectónica de un edificio, sino establecer herramientas para un trabajo en conjunto, aterrizando variables que se abordan de manera distinta entre ambas disciplinas, optimizando la comunicación desde el comienzo y a lo largo de todo el proyecto.

Específicamente tratamos la problemática y los desafíos que se plantean dentro del mercado inmobiliario, con el fin de desarrollar proyectos residenciales de mediana altura mediante un sistema constructivo ligero en madera, económicamente viables y que brinden un buen confort ambiental.

Las verificaciones de estos parámetros no son bajo ningún punto de vista una validación de las demandas expuestas, corresponden a una serie de criterios para poder acercarse, desde las distintas áreas de diseño y mediante un trabajo interdisciplinario, a un ante proyecto que requiera la menor cantidad de correcciones al momento de validar dichas demandas.

6. REFERENCIAS

- [1] Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), Programa estratégico de la madera, 2016
- [2] Instituto Forestal (INFOR), Ministerio de Agricultura, La Industria del Aserrío 2015. Boletín Estadístico 151, Chile, 2015.
- [3] Verónica Álvarez, Pablo del Campo, Verónica Fuentes, Janina Gysling, Evaristo Pardo, Daniel Soto, «El Mercado de la Madera Aserrada de Pino Radiata para la construcción Habitacional en Chile» 2011.
- [4] Six Storey Wood Framed Buildings, Presented by Patrick Cotter ARCHITECT AIBC, OAA, AIA, 2014.
- [5] C Alarcon · M. A. Hube · R. Jünemann · J. C. de la Llera. Characteristics and displacement capacity of reinforced concrete walls in damaged buildings during 2010 Chile earthquake, 2015.
- [6] Jünemann, de la Llera, Hube, Kausel. A statistical analysis of reinforced concrete wall buildings damaged during the 2010, Chile earthquake, 2014
- [7] Centro de Innovación de la Madera UC (CIM UC), Estado del Arte de Edificios de Madera en Marco y Plataforma, 2016
 - Casos de análisis edificios residenciales
 - Edificio Le Tournesol, Francia
 - Edificio Siedlung Schwabach, Alemania
 - Condominio Remy, Canadá
 - Edificio Sail UBC, Canadá
 - Edificio Riverport Flats, Canadá
 - Edificio Quattro 3, Canadá
 - Edificio Giesserei Winterthur, Suiza
 - Casos de análisis diseño estructural
 - Capstone NEESWood
 - Five-Story Wood-Frame, WoodWorks
 - Experimental Seismic Collapse Study of a Full-Scale
 - Timber Frame 2000
 - Guía sobre el diseño de edificios de 5 o 6 pisos de Madera en Marco y Plataforma CECOBois
- [8] American Wood Council, Special design provisions for wind and seismic, 2008
- [9] AENOR, Norma Europea sobre iluminación para interiores, 2012.