



FACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE EDIFICIO DE MEDIANA ALTURA ESTRUCTURADO EN CLT EN ZONAS DE ALTA SISMICIDAD

TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY OF A MID-RISE CLT BUILDING IN HIGH SEISMICITY AREAS

Zurita, Claudio ⁽¹⁾*; Valdivieso, Diego ⁽²⁾ ⁽³⁾

⁽¹⁾ Estudiante Ingeniería Civil. Universidad Andrés Bello. Santiago, Chile

⁽²⁾ Dr. (c) Ing. Civil. Facultad de Ingeniería. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile

⁽³⁾ Ingeniero Estructural. Departamento de Ingeniería. Simpson Strong - Tie. Santiago, Chile

* Contacto: czuritamillon@gmail.com

CÓDIGO: 4619008

Resumen

La utilización de madera en Chile es reducida, considerando el alto nivel de producción de la materia prima en el país. En base a esta línea, este estudio busca promover la utilización de madera contralaminada (CLT), desarrollando un proyecto de vivienda social de mediana altura construido en madera contralaminada cumpliendo los estándares del MINVU, con el objetivo de realizar una factibilidad técnico – económica del edificio. Para el diseño estructural se consideró marco regulatorio nacional e internacional. Como referencia, se utilizó proyecto presentado por grupo CLT Chile (González et al. 2014), asignando emplazamiento en la ciudad de Concepción debido al auge que experimenta la región en estudios del mencionado material. La propuesta se comparó económicamente con una edificación de igual geometría elaborada en hormigón armado, equiparando capacidades térmicas de la envolvente en ambos tipos de estructuración. El análisis estructural, en ambos casos, entregó espesores incapaces de dar cumplimiento a normativa térmica y acústica nacional, por lo que se desarrollaron soluciones de esta índole. Posteriormente, se analizó los tiempos de ejecución, donde la madera contralaminada posee ventaja producto de su modalidad de construcción; a través de rendimientos del mercado nacional en cada material, se desarrolló una estructura de descomposición del trabajo (WBS), analizando obra gruesa y terminaciones. Finalmente, el precio total para hormigón armado es menor en un 10,2% respecto de estructuración mediante CLT, a pesar que este reduce plazos de ejecución en un mes para el proyecto de estudio. Con mayor cantidad de niveles no se logra apreciar una tendencia favorable en el ámbito económico para el CLT.

Palabras claves: Madera Contralaminada; MINVU; Envolvente; WBS.

Abstract

The use of wood in Chile is reduced, considering the high level of production of the raw material in the country. Based on this line, this study seeks to promote the use of cross laminated timber (CLT), developing a CLT mid-rise social housing project to meet the standards of MINVU, with the aim of making a technical-economic feasibility of the building. National and international regulatory framework are considered for the structural design. As reference, the project presented by group CLT Chile (González et al. 2014), was used, locating the building in Concepción city due to the boom experienced by the region in studies of the aforementioned material. The proposal is economically compared with a construction with the same geometry elaborated in reinforced concrete, equating thermal capacities of the envelope in both types of structuring. The structural analysis, in both cases, delivers thicknesses incapable of complying with national thermal and acoustic standards. Due this, solutions was developed for improve this situation. Subsequently, the construction times were analyzed, where the cross laminated timber has advantage for its construction modality; a work breakdown structure (WBS) was developed based in the performance of each material in the national market, analyzing rough work and finishing. Finally, the total price for reinforced concrete is less than 10.2% of respect for structuring by the CLT, despite reducing execution times by one month for the project study. With more levels, a favourable trend in the economic field for the CLT cannot be seen.

Keywords: Cross Laminated Timber; MINVU; Envelope; WBS.



1. INTRODUCCIÓN

La madera contralaminada (CLT) cuenta con alrededor de 20 años de maduración desde su invención en Europa, transcurso en el cual, logra la atención mundial con rápida aceptación en Estados Unidos y Canadá. Prácticamente la totalidad de su utilización se ha ejecutado en zonas de baja sismicidad, pero hoy en día existe una tendencia a desarrollar este tipo de proyectos en zonas de alta sismicidad, por ejemplo, Italia y la costa oeste de Canadá y Estados Unidos.

Este material ha tenido tal nivel de aceptación gracias a sus propiedades, entre las que destacan la baja transmitancia térmica, disminución de la contracción y alabeo, resistencia a cargas transfiriéndolas en todas las direcciones, alta estabilidad dimensional en el plano con hinchazón minimizada, ductilidad y disipación de energía requerida proporcionada por uniones. Además, como es propio de esta materia prima, cuenta con características que aportan una baja huella de carbono. El sistema constructivo, es en “seco”, mediante paneles prefabricados entregando una alta precisión, reducida cantidad de desechos y disminución sustancial en los tiempos de construcción en relación a otros métodos constructivos. Por ejemplo, reducciones del periodo de construcción que van entre 30% y 50% en comparación con misma edificación mediante hormigón armado (Madera 21 2018).

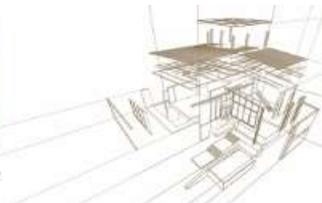
En lo que respecta a CLT en Chile, existe interés por un grupo minoritario considerando la cantidad de profesionales en el rubro de la construcción, producto de las barreras generadas por la inexistente normativa nacional para la madera contralaminada, las restricciones que impone la normativa vigente para edificación NCh 433 (INN 1996) y la escasa disponibilidad de estudios con información técnica realizados en la región. Sin embargo, destacan dos grandes grupos que han desarrollado estudios de CLT para Chile; las universidades y grupos asociados a la industria maderera de la región del Bío-Bío, debido a la gran disponibilidad de materia prima en dicha zona; y por otra parte, proyecto realizado por el grupo CLT Chile financiado por Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), que presenta un extenso estudio de cómo implementar la modalidad CLT, elaborando inclusive, un anteproyecto de norma (González et al. 2014).

En base a lo expuesto, el presente estudio tiene como objetivo un análisis técnico - económico de un edificio de mediana altura ubicado en la ciudad de Concepción, Chile, estructurado en base a paneles de CLT modulado en paneles de dimensiones máximas 1,2 m x 2,4 m. Este es contrastado con edificación de igual geometría en hormigón armado (HA). El desarrollo, se realizó en primera instancia, con modelos estructurales en cada material, luego, soluciones térmicas y acústicas equitativas generando punto de comparación, dando paso a finalización mediante estudio de costos. Todo en base a los requerimientos normativos nacionales e internacionales, según aplique.

2. METODOLOGÍA

2.1. Revisión bibliográfica y normativa

Estudio del concepto de construcción en CLT y sus características, exigencias de las normativas nacionales vigentes, incluyendo requerimientos del Ministerio de Vivienda y Urbanismo a través de Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, OGUC (MINVU 2018). Además, solicitud de cotizaciones y especificaciones técnicas a diferentes empresas, con la finalidad de obtener la mayor cantidad de precios.



2.2. Modelación y análisis estructural

Los modelos estructurales se basan en proyecto de grupo CLT Chile (González et al. 2014). Desde donde se adquieren dos estudios:

- 1) Proyecto de arquitectura; utilizado para definir geometría en la cual se basarán las comparaciones. Dimensiones exteriores 20,64 m x 7,20 m, con una altura hasta la losa de cubierta de 10,08 m.
- 2) Estudios de caracterización mecánica y comportamiento histerético de paneles de CLT contruidos en Chile con Pino Radiata (Pérez et al. 2017). Con la finalidad de obtener caracterización de paneles, por similitud a los que se obtuvo precio.

El análisis estructural de edificio en madera contralaminada es realizado mediante software ETABS y SAFE. Se siguen las disposiciones del manual de diseño en este material (FPInnovation 2013), que se basa en la estandarización americana para madera contralaminada PRG-320 (ANSI/APA 2012) y se complementa en normativa de maderas estadounidense (NDS 2018). Además se aplican requerimientos de la normativa nacional de diseño en maderas NCh 1198 (INN 2014a) y normativa sísmica Chilena NCh 433 (INN 1996), ver Figura 1. El caso de hormigón armado, se determina a través de igual normativa nacional sísmica, caracterizándolo como análisis estructural tipo prediseño, el cual es complementado con experiencias de profesionales consultados.

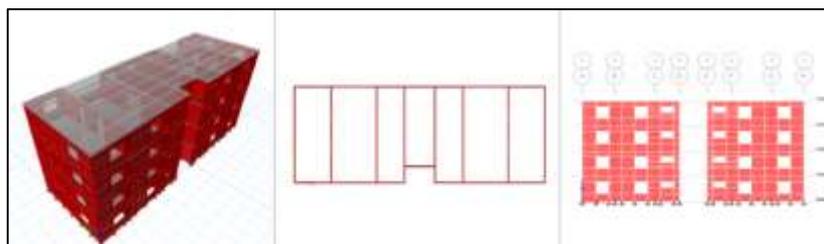


Figura 1: Perspectivas de modelo en madera contralaminada

Las cargas a considerar en la modelación estructural para ambos materiales son, sollicitación sísmica, de viento y sobrecarga de uso. Para la obtención de estas se basa completamente en normativa Chilena.

2.2.1. Edificación CLT

Se utiliza sistema constructivo tipo plataforma. El factor de modificación de la respuesta estructural mediante análisis estático, R , es igual a 2, producto que el material no clasifica en ninguna de las categorías establecidas en normativa sísmica nacional NCh 433 (INN 1996), además esto ha sido sugerido por grupo CLT Chile (Pérez et al. 2017). Las combinaciones de carga se establecen mediante tensiones admisibles.

Los paneles se componen por tres capas de 40 mm de Pino Radiata con espesor de 0,12 m, ancho máximo de 1,20 m para todos los paneles. En muros la longitud máxima es de 2,40 m, mientras en losas es de 3,72 m. Las propiedades mecánicas para muros de CLT se encuentran en Tabla 1.

Tabla 1: Propiedades mecánicas paneles CLT

Peso específico	445	Kgf/m ³
Módulo de Elasticidad (E0)	9920,00	MPa



Módulo de Elasticidad (E90)	330,67	MPa
Módulo de Corte (G0)	661,33	MPa
Módulo de Corte (G90)	66,13	MPa
Rigidez a flexión (EI aparente)*	168,56	Tonf*m2
Módulo de Elasticidad panel (E)	9566,00	MPa

Elemental para la correcta modelación en software, radica en aplicar liberación de los momentos en los extremos de las losas, y representar rigidez fuera del plano de muros y losas con los valores presentados en Tabla 2.

Tabla 2: Rigidez de elementos CLT a cargar en modelación estructural.

Elemento	Rigidez	Unidad
Losas	4135	kN/m
Muros	13233	kN/m

Los periodos para la estructuración se presentan en Tabla 3, Cumpliendo el 90% de la masa movilizada (según normativa sísmica), en ambas direcciones para el modo 6.

Tabla 3: Modos de vibrar para estructuración en CLT.

Dirección	Masa movilizada	Periodo
X	88,06 %	0,235 s.
Y	87,26 %	0,173 s.
Z	87,18 %	0,166 s.

Para sismo X en la misma dirección, se presenta Figura 2 a), mientras que para el sismo Y en esta dirección, resulta la Figura b).

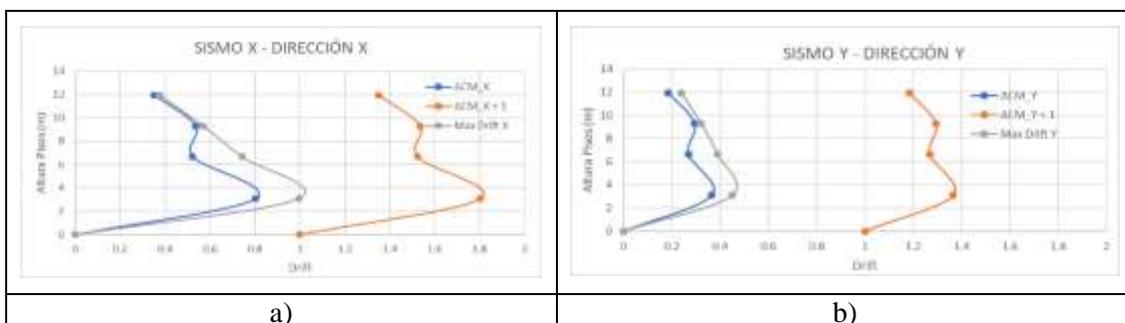


Figura 2: Desplazamientos sísmicos dirección X e Y para CLT

Desde la Figura 2, se puede visualizar que en ambas direcciones, se cumple con los requerimientos por normativa sísmica nacional NCh 433 (INN 1996), puesto que el desplazamiento entre pisos se encuentra por debajo del desplazamiento de centro de masa más la unidad y el centro de masas es menor a 2 para todos los pisos de edificación.

El comportamiento es bastante distinto a una estructuración convencional, por su alto desplazamiento en losa de primer piso, disminuyendo en pisos superiores, por lo que se genera una elevada sollicitación en conectores del nivel con mayor desplazamiento. Lo cual se debe a rigidez que aportan los conectores utilizados.

En software de modelación (SAFE), se verifican las losas en cuanto a la deflexión admisible considerando carga de servicio, siendo el caso más desfavorable 4,43 mm ante una deformación admisible de 7,75 mm.



Las verificaciones a solicitaciones se realizan con paneles dispuestos con fibras longitudinales para capas externas y transversales para capa intermedia, tanto para muros como para losas, puesto que de este modo las capas soportan de mejor manera la compresión, y la flexión, según su disposición. Tablones con mayor módulo elástico son ubicados en capas externas, por su desempeño en flexión respecto a la línea neutra, que provoca la mayor solicitación en tracción o compresión en los bordes del panel. Respecto al análisis estructural, se basa en capítulo 3 de *Handbook USA* (FPIInnovation 2013), verificando el cumplimiento para cada solicitación máxima. El resumen de los datos relevantes para el diseño de losas y muros se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4: Resumen diseño paneles losa y muro CLT

Diseño panel losa CLT			Diseño panel muro CLT		
Flexión	0,141	Cumple; <1	Compresión simple	0,176	Cumple; <1
Corte	0,144	Cumple; <1	Flexocompresión	0,213	Cumple; <1
Def. losa	468,542	Cumple; >300	Corte en el plano	0,391	Cumple; <1
Verif. Creep	7,213	< 7,500			
Comp. Normal	0.24	Cumple; <1			

De este modo se corrobora la correcta admisión de solicitaciones de parte de paneles considerados. Con estado límite que controla el diseño para la verificación por creep.

2.2.2. Conexiones CLT

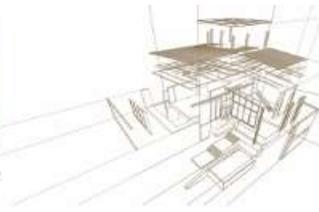
En general las uniones para CLT, son los mismos tipos de conectores empleados para el resto de las construcciones en madera. Siendo una especie de adaptación de los conectores empleados en el entramado ligero. Sin embargo, tiene la gran diferencia del resto de maderas por el comportamiento global, puesto que es bastante más rígido y con menos componentes y zonas de unión, necesitando de parte de los conectores, mayor capacidad en ductilidad y flexibilidad.

Compresiones normales de un panel a otro, se asumen transmitidas directamente mediante contacto de paneles, considerándolo como paneles articulados en cuanto a rotación fuera del plano.

Para encuentros de losa-losa y muro-muro, se utiliza empalme medio traslapado; en losa-muro y muro-muro con encuentro perpendicular, se disponen escuadras reforzadas; y en fundación - muro, se encuentran placa de corte y *holdown*. Tipos y cantidad de conexiones por encuentros entre paneles se exponen en Tabla 5.

Tabla 5: Verificación de deflexión en losas CLT

Conexión	Placa		Tornillos	
	Tipo	Cantidad	Tipo	Unidades panel
Losa-Losa	N/A	N/A	ESCR 8.0x100	9
Muro-Muro	N/A	N/A	ESCR 8.0x100	15
Losa-Muro	ABR105	6	CNA 4.0x40	144
Muro (encuentro)	ABR105	6	CNA 4.0x40	144
Fundación - Muro	ABR255	1	CNA 4.0x40	52
			LMAS M12x185	4
	HTT22	2	CNA 4.0x40	64
			LMAS M16x200	2



2.2.3. Edificación de hormigón armado

Se trata de un prediseño que busca establecer bases donde sustentar comparativa económica. Cabe destacar que se realizó cumpliendo sugerencias y/o requerimientos de normativas y códigos a los que aluden estas; (INN 1996) y (ACI 2014).

Para que un edificio de vivienda social sea rentable en su ejecución, se deben disponer muros con espesor de 15 cm y losas de 14 cm. Se consideran estas dimensiones.

Según normativa nacional sísmica NCh 433 (INN 1996), apartado 5, tabla 5.1, la estructuración para edificio en hormigón armado, entrega un factor de modificación de la respuesta mediante análisis estático, $R = 7$. Mientras que el factor de modificación de la respuesta mediante análisis dinámico (R_0) es 11. Diseño de hormigón armado se realiza por medio de combinaciones de carga para la resistencia última.



Figura 3: Disposición muros resistentes en hormigón armado.

Según la configuración de Figura 3, se obtienen los periodos presentes en Tabla 6. Alcanzando el 90% de la masa movilizada en ambas direcciones en el modo 5.

Tabla 6: Modos de vibrar para estructuración en hormigón armado

Dirección	Masa movilizada	Periodo
X	83,24 %	0,061 s.
Y	81,23 %	0,058 s.
Z	84.86 %	0,045 s.

Dichos periodos demuestran la elevada rigidez de la estructura en hormigón armado, por las dimensiones reducidas de la edificación, acotando la posibilidad de reubicación de muros, por distribución en espacios interiores.

Visualización de desplazamientos producto de solicitación sísmica para dirección X e Y en igual dirección, se presentan en Figura 4 a) y b), respectivamente.

Desde el análisis gráfico, que representa los requerimientos de la normativa sísmica nacional NCh 433 (INN 1996), se puede visualizar que en direcciones analizadas, se cumple con requerimientos.

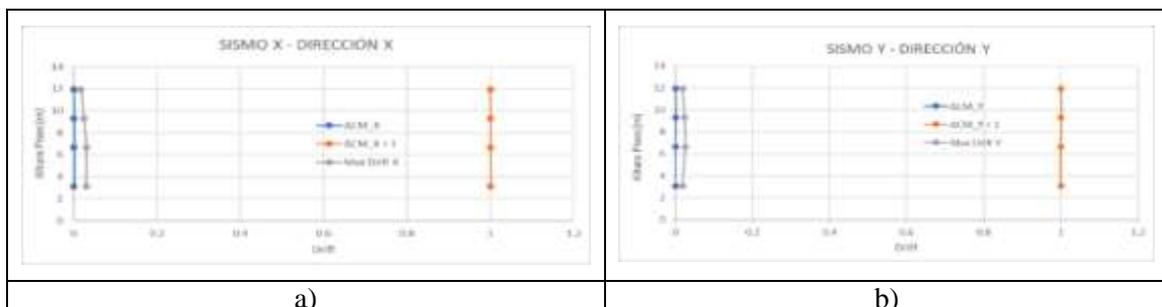
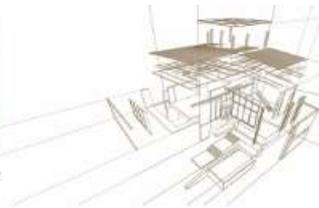


Figura 4: Desplazamientos sísmicos dirección X e Y para hormigón armado

Deformaciones en losas son analizadas de igual forma que en CLT. Dada la elevada rigidez de la estructura, la solicitación en ella es baja. Cumple con requerimiento



normativo holgadamente; máxima deformación de 2,67 mm versus un admisible de 16,67 mm.

En Tabla 7 se establecen las armaduras requeridas para elementos horizontales, losas, y verticales, muros, dinteles, antepecho y escaleras.

Tabla 7: Cuantía elementos verticales y horizontales en hormigón armado

Elementos horizontales			
Tipo Elemento	Cuantías por flexión	Cuantía al corte	Armadura
Losa	Por el mínimo (1,8‰)	No requiere	8@20
Elementos verticales			
Tipo Elemento		Cuantía	Armadura
Muros		2,8‰	DM 8@25
Dinteles y Antepecho		1,0%	N/A
Escalera		1,0%	N/A

2.3. Equiparación

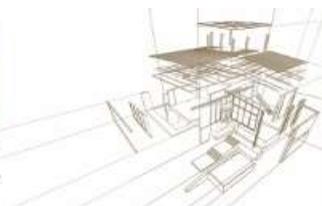
La madera contralaminada posee ventaja térmica en comparación al hormigón armado para un mismo espesor. Aún con esta ventaja el CLT no cumple por si solo con los nuevos requerimientos térmicos a establecer en OGUC, por lo que se disponen soluciones aceptadas por normativa Chilena hasta dar cumplimiento. De modo similar, a la estructuración mediante hormigón armado, se agregan soluciones para establecer el punto de comparación térmico entre ambos materiales. Dado lo perjudicial que resulta la condensación, tanto superficial como intersticial, dentro de las soluciones térmicas, se consideró la determinación del riesgo asociado en base a normativa Chilena de comportamiento higrotérmico NCh 1973 (INN 2014 b).

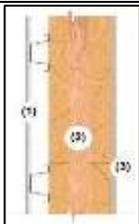
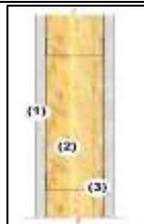
Por otra parte, estas soluciones deben cumplir con los requerimientos acústicos mínimos que establecen las normativas Chilenas. Las soluciones térmicas de la envolvente incluyen estos mínimos; caso que no ocurre para elementos del interior de viviendas para el CLT.

Las soluciones que cumplen tanto térmica como acústicamente, evaluadas al riesgo de condensación, se presentan en la Tabla 8. Incluyen valores característicos respectivos.

Tabla 8: Soluciones térmicas y/o acústicas para ambas estructuraciones

CLT	HA
Muros	
 2,451 ($m^2 * K/W$)	 2,284 ($m^2 * K/W$)
Techumbre	
 3,841 ($m^2 * K/W$)	 3,575 ($m^2 * K/W$)



Entre pisos	
 47 dB(A); 43 dB	 50 dB(A); 75 dB
Muros interiores	
 47 dB(A)	 47 dB(A)

2.4. Costos

Establecida la solución para equiparar capacidades térmicas en cada material, se realizaron las cubicaciones respectivas, asociando rendimientos con que se elaboró la WBS de cada material, obteniendo costos y tiempos de construcción; dicho procedimiento es enfocado a obra gruesa y terminaciones, donde se encuentra la variabilidad entre ambas estructuraciones. El resto de fases de construcción, se consideran iguales. Reuniendo el total de etapas del proyecto se obtienen los costos totales a analizar. Dichos datos son expuestos en Tabla 9.

Tabla 9: Costos totales de edificación analizada para ambas estructuraciones

		CLT	HA
Costos Complementarios		\$ 241.212.342	\$ 241.212.342
Costos Diferenciados		\$ 137.980.653	\$ 99.140.354
Total	Costo	\$ 379.192.995	\$ 340.352.696
	m2	594	594
	UF/m2	23,0	20,6
Diferencias	Monetaria	\$ 38.840.300	
	Porcentaje Diferencias	28,1%	
	Porcentual Total	10,2%	

Basado en discretización de costos por planta, se determinan precios totales en función de la cantidad de pisos. La Tabla 10, expone precios en moneda Chilena (CLP) y Unidad de Fomento (UF) por metro cuadrado, para estructuración mediante CLT versus hormigón armado. Considera área por planta de edificación en cuestión de 148,61 m².

Tabla 10: Variación de costos totales proyectados en mayor cantidad de niveles

Pisos	Precio Total CLT	Precio Total H.A.	UF/m2	UF/m2	Diferencia
4	\$ 379.336.773	\$ 340.383.523	23,0	20,6	2,4
5	\$ 464.303.381	\$ 413.303.117	22,5	20,0	2,5
6	\$ 549.269.989	\$ 486.222.711	22,2	19,6	2,5
7	\$ 634.236.597	\$ 559.142.304	22,0	19,4	2,6
8	\$ 719.203.205	\$ 632.061.898	21,8	19,1	2,6
9	\$ 804.169.814	\$ 704.981.492	21,7	19,0	2,7
10	\$ 889.136.422	\$ 777.901.086	21,6	18,9	2,7



3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Estructura

Con la disposición de muros y losas para CLT, se logra dar cumplimiento a desplazamientos sísmicos impuestos por normativa nacional. Cabe destacar que dichos desplazamientos están cercanos al límite, por lo que agregar una mayor cantidad de pisos, implicaría una nueva disposición de muros resistentes, llegando inclusive a aumentar espesores de paneles.

Si bien se logra determinar el análisis estructural para madera contralaminada, es recomendable seguir realizando mayor cantidad de ensayos similar a lo realizado por grupo CLT Chile (González et al. 2014), en lo posible a escala real, que respalden su buen funcionamiento ante solicitaciones sísmicas. Teniendo importancia en la, determinación del factor de reducción de la respuesta estática que represente el real comportamiento del CLT. Puesto que, por el momento se determina en 2, versus un factor 7 para el hormigón armado. Lo que implica que, las solicitaciones sísmicas para el CLT disminuyen en dos veces, mientras que en hormigón armado se reducen en siete, lo que es determinante para la estructuración implicando un aumento en los costos para la madera contralaminada.

- Costos

La edificación en hormigón armado tiene un menor costo total, siendo 10,20% más económico que la madera contralaminada, esto, a pesar que CLT demora aproximadamente un 50% menos que el hormigón armado para el periodo analizado en detalle (obra gruesa y parte de terminaciones).

Aunque la diferencia en gastos generales al concluir edificación de CLT es favorable en \$18,76 millones (CLP), respecto a hormigón armado, el costo total alcanza una diferencia económica de \$38,84 millones (CLP) en beneficio opuesto. Lo que quiere decir, que los gastos generales considerando la diferencia en los plazos, no son capaces de amortiguar la diferencia en precios de materiales.

El análisis considerando mayor cantidad de pisos, demuestra que aún siendo más rápida la construcción en CLT, esta no alcanza a ser crucial para la disminución del costo total del proyecto, la cual sigue una tendencia lineal entre ambas estructuraciones. Lo que puede radicar en la reducida envergadura de cada nivel.

Como la gran ventaja del CLT, en términos económicos, es el tiempo de ejecución, se utilizó el caso utópico, para este estudio, de aumentar la diferencia en los tiempos de construcción por piso, con lo cual la tendencia creciente tiende a disminuir, pero no es suficiente para notar una menor diferencia que los cuatro pisos con los que se constituye edificación analizada.

No conforme con ello, se indaga en encontrar qué valor o tiempo es el preponderante; resolviendo que la diferencia en valor por piso de cada material es muy elevada evitando que la diferencia en los tiempos de ejecución sea relevante para los costos totales.

4. CONCLUSIONES

Es necesaria la implementación de normativa que regule el diseño de la madera contralaminada para el país, determinando un modo de cálculo. Esto llamaría la



atención de más profesionales del rubro, puesto que no tendrían que realizar una extensa revisión bibliográfica para justificar el análisis estructural.

El CLT, según estos estudios, es un producto que no puede competir a la par del hormigón armado a menos que se desencadene un auge en su demanda, conllevando a la disminución de los precios por metro cúbico del material.

Si se añade en alguna instancia impuestos por desechos o contaminación, sería en directo beneficio a modalidad mediante CLT.

Por lo pronto, existen dos ventajas que pueden aplicar en la actualidad, su rápida ejecución, que en caso de necesitar viviendas prontamente sería una buena opción al considerar el costo de oportunidad; y su baja huella de carbono, que al cambiar el segmento hacia el sector privado, esta característica se presentaría como atrayente.

Como futura línea de investigación, se propone modulación de paneles con mayores dimensiones de las utilizadas en este estudio, lo cual es relevante en ámbito económico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Concrete Institute (2014). Requisitos de reglamento para concreto estructural. ACI 318S - 2014. New York, USA.

American National Standard (2012). Standard for Performance-Rated Cross Laminated Timber. ANSI/APA - PRG 320-2012. USA.

FPInnovation. (2013). Cross Laminated Timber, USA Edition. CLT Handbook. USA.

González, P., et al. (2014). Estudios de Ingeniería para Introducir en Chile un Sistema Constructivo de Rápida Ejecución para Edificios de Mediana Altura, Utilizando Elementos de Madera Contralaminada, Santiago, Chile.

Instituto Nacional de Normalización (1996, Mod. 2009). Diseño sísmico de edificios. NCh 433. Chile.

Instituto Nacional de Normalización (2000). Aislación acústica - Parte 1: Construcciones de uso habitacional - Requerimientos mínimos y ensayos. NCh 352/1. Chile.

Instituto Nacional de Normalización (2007). Acondicionamiento térmico - Envoltura térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas. NCh 853. Chile.

Instituto Nacional de Normalización (2014 a). Madera - Construcciones en madera - Cálculo. NCh 1198. Chile.

Instituto Nacional de Normalización (2014 b). Comportamiento higrotérmico de elementos y componentes de construcción - Temperatura superficial interior para evitar la humedad superficial crítica y la condensación intersticial - Métodos de cálculo. NCh 1973. Chile.

Madera 21. (27 de Septiembre de 2018). Por qué Madera. Obtenido de http://www.madera21.cl/?page_id=2757

MINVU. (2018). Ordenanza general de urbanismo y construcciones. OGUC. Chile.

National Design Specification for Wood Construction. (2018). NDS. USA.

ONDAC. (Junio de 2019). Manual de precios materiales, análisis y presupuestos de obra. Obtenido de <https://manual.ondac.com/cl/>

Pérez, E., et al. (2017). Caracterización mecánica y comportamiento histerético de paneles de CLT elaborados en Chile con pino radiata, Santiago, Chile.

Simpon Strong-Tie (2018). Cross Laminated And Glulam Timber Connectors. England.