



Resistencia al fuego en elementos muro y losa de CLT fabricados con Pino radiata en Chile.

Fire resistance on Cross laminated Timber wall and floors elements manufactured with radiata Pine in Chile.

Víctor Rosales G. ^{1*}, Angela Salinas B. ², Franco Benedetti L. ², Cecilia Poblete A. ³, Alexander Opazo V. ², Alonso Rebolledo A. ⁴

¹Ingeniero Civil en Industrias Forestales. Depto. de Ciencias de la Construcción. FACORDI Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile.

²Ingeniero Civil. Depto. de Ingeniería Civil y Ambiental, Facultad de Ingeniería. Universidad del Bío-Bío, Chile.

³Arquitecto. Depto. de Ciencias de la Construcción. FACORDI. Universidad del Bío-Bío, Chile.

⁴ Diseñador Industrial. Depto. Arte y Tecnología del Diseño, FACORDI. Universidad del Bío-Bío, Chile.

* **Contacto: Víctor Rosales G., vrosaleg@ubiobio.cl**

CÓDIGO: 4619639

Resumen

El sistema constructivo de panel contralaminado (CLT) resulta ser relevante para el contexto Chileno debido a su comportamiento sismo-resistente para edificación en mediana altura. Para establecer la factibilidad del sistema en Chile se analizó su resistencia al fuego en muros y losas. Los elementos de madera que son sometidos a condiciones de fuego, presentan una lenta tasa de carbonización, la cual genera un espesor "protector". La resistencia al fuego se define como el tiempo en minutos en que una estructura puede soportar las condiciones de una prueba de fuego estandarizada.

Las regulaciones Chilenas requieren del uso de un "Listado oficial de comportamiento contra incendios" para elementos constructivos, con el fin de demostrar que se alcanza un nivel aceptable de seguridad. Aquellas soluciones que no estén incluidas en la Lista Oficial de comportamiento contra Incendios, deberán acreditarse mediante un ensayo oficial. El objetivo de este trabajo es obtener la resistencia al fuego de elemento muro y losa fabricados en CLT de Pino radiata, basado en la norma NCh935/1.Of97

Palabras claves:

Panel contralaminado, Protección del fuego, Construcción en madera, Ensayo de fuego.

Abstract

Cross laminated timber (CLT) construction system turns out to be relevant in Chile for medium-height buildings due to its earthquake-resistant behavior. To establish the feasibility of the system in Chile, its fire resistance in walls and slabs was analyzed. The wooden elements that are subjected to fire conditions have a slow rate of carbonization, which generates a "protective" thickness. Fire resistance is defined as the time in minutes in which a structure can withstand the conditions of a standardized fire test.

Chilean regulations require the use of an "Official fire behavior list" for construction elements, in order to demonstrate that an acceptable level of safety is reached. Those solutions that are not included in the Official Fire Behavior List must be accredited through an official test. The objective of this work is to obtain the fire resistance of wall and slab element manufactured in radiata pine CLT, under the requirements of the NCh935 / 1.Of97 standard.

Keywords:

Cross laminated timber, CLT, Fire Protection, Timber Construction, unprotected Fire test.



1. INTRODUCCIÓN

Históricamente, la situación de protección contra el fuego ha sido una de las mayores preocupaciones para la construcción en madera, y mayor aún en la construcción en mediana altura. A pesar de existir distintas experiencias que confirman la resistencia al fuego de construcciones con madera y de poseer tasas de carbonización predecibles para piezas de madera sólida sometidas a situaciones de fuego estándar, el interés creciente en Chile en la edificación en mediana altura y el uso de la madera contralaminada (Cross laminated timber – CLT) motivan investigaciones en esta dirección. En esa dirección diferentes iniciativas, con apoyo de la empresa CMPC Maderas SpA., han permitido conocer de mejor manera el comportamiento de elementos de losas y muros de CLT de Pino radiata fabricados en Chile.

El CLT es un panel de madera sólida construido en base a adhesivos, cuyas caras y cantos son encolados y unidos, y cuya conformación de capas entrecruzada (90° respecto a cada capa adyacente), permite mejorar desempeños como la estabilidad dimensional y algunas propiedades mecánicas (Brandner y Shickhofer 2014). Los paneles de CLT pueden ser utilizados para reemplazar acero y concreto, permitiendo lograr un sistema constructivo para estructuras de varios pisos en altura restringiendo el uso de vigas y columnas.

En diferentes países del mundo las estructuras de madera poseen restricciones en la edificación en altura, a pesar de los datos existentes sobre su resistencia al fuego. Distintos ensayos realizados en Europa, Japón, EEUU y Canadá han demostrado que el CLT es un material aceptable contra el riesgo de incendio (Barber 2015). Otra causa es la falta de pruebas a escala donde se utilice paneles estructurales de CLT con especies y manufactura local.

En Chile, la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (MINVU 2015), en el capítulo 4.3 muestra una clasificación sobre la resistencia al fuego que deben lograr los elementos estructurales que se utilicen en el territorio nacional. Esta clasificación depende del tipo de elemento constructivo (muro, losa, escaleras), el destino que tenga el edificio (oficina, vivienda, industrial), la superficie edificada, la carga combustible, el número de ocupantes y el número de pisos en altura. Aquellos sistemas constructivos no tradicionales deben ser ensayados y cumplir con ciertos estándares para ser aceptados e inscritos en un listado oficial que publica el Ministerio de la vivienda y urbanismo MINVU.

Los ensayos estándar de resistencia al fuego son utilizados como un medio para determinar parámetros particulares de una construcción, que se cumplirán por un mínimo desempeño estipulado por los códigos de construcción o regulaciones, y usualmente se cuantifica como un índice de resistencia al fuego. En países como Canadá el estándar utilizado se encuentra contenido en CAN/ULC-S101 (Underwriters Laboratory of Canada 2007), en EEUU por la ASTM E119, en Chile por la NCh935/1. Of97, e



internacionalmente muchos países han adoptado el estándar ISO 834 directamente, o con algunas modificaciones.

De acuerdo a la NCh935/1.Of97, para establecer el estándar de resistencia al fuego, existen 4 criterios de fallas posibles: Capacidad de soporte de carga, Aislamiento térmico, Estanquidad y emisión de gases. El criterio de capacidad de soporte de carga se consigue cuando el elemento sometido a ensayo, logra mantener la carga aplicada durante el tiempo especificado. La carga debe ser aplicada en el elemento con 30 minutos de anticipación al ensayo. El criterio aislamiento térmico se considera para que el lado no expuesto no presente una temperatura media superior a los 140° C, o en forma puntual no más de 180° C, y en ningún caso superior a los 220 ° C, cualquiera sea la temperatura inicial. El criterio de estanquidad, para elementos que separen ambientes no podrán ocurrir grietas, fisuras u otras aperturas por donde las llamas o gases puedan pasar. A su vez, la estanquidad habrá fallado si se observa una llama sostenida por más de 10 segundos en la cara no expuesta, o cuando se detecte la emisión de gases inflamables; se consideran inflamables si arden al aproximar una llama cualquiera y continúan espontáneamente ardiendo al menos durante 20 segundos de retirada la llama.

La resistencia al fuego de un elemento será considerada como la medida en minutos, desde que comienza a desarrollarse la prueba, hasta que alguno de los criterios de falla aparece, y el factor de resistencia al fuego será dado por el tiempo redondeado hacia abajo, de acuerdo a los siguientes índices: 15, 30, 60, 90, 120 o 240 minutos, clasificándose en función de su resistencia como: F0, F15, F30, F60, F90, F120, F150, F180 y F240 (NCh935/1:1997)

El laboratorio de fuegos del IDIEM de la Universidad de Chile, posee un horno horizontal cuya boca mide 3 m. de ancho x 4 m. de largo., y uno vertical con un porta muestras de 2,2 m. de ancho x 2,4 m. de largo. El sistema de carga permite aplicar hasta 300 kg/m² sobre el elemento de ensayo, mediante el uso de pesos muertos. Para el monitoreo de la temperatura el horno es controlado para cumplir con el estándar de la curva tiempo – temperatura especificado por la normativa, respetando las tolerancias contenidas en la NCh935/1, para ello se utiliza control automático en los quemadores, retroalimentándose con las termocuplas blindadas en tubos sellados de porcelana insertas en el horno.

La curva tiempo – temperatura a lograr durante el ensayo, está definida para un incendio estandarizado de acuerdo a la ecuación N° 1.

$$T(t) - T_0 = 345 \log_{10} (8t + 1)$$

Ecuación N°1.



2. METODOLOGÍA

Las probetas de CLT fueron construidas utilizando las instalaciones del Laboratorio de Diseño y tecnología en madera, de la Universidad del Bío-Bío, campus Concepción. Luego los elementos son armados y montados por personal calificado en instalaciones del Laboratorio de Incendios del IDIEM – Santiago. Los elementos son apoyados en la boca del horno, fijándose mecánicamente en cada uno de sus extremos para el caso del muro, y simplemente apoyado para el caso de la losa. El sello perimetral se logra utilizando lana de vidrio y pasta en base a yeso para ambos casos.

Las muestras de muro son cargadas con un peso muerto, consistente en un elemento metálico de gran envergadura, que otorga una carga de 120 kg/m. Las muestras de losas son cargadas con un peso muerto, en base a bloques distribuidos uniformemente, que otorga una carga de 100 kg/m², tal como se muestran en la Figura N° 1.



Figura N° 1: Sistema de aplicación de carga para muros y losas.

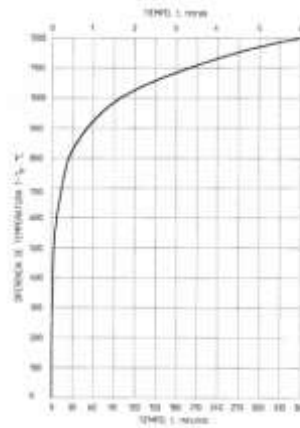
Metodológicamente los ensayos se realizan exponiendo a los elementos, por su cara declarada como “expuesta”, al calor de un horno de manera de lograr una exposición de temperatura, de acuerdo a la curva normalizada tiempo – temperatura, contenida en la NCh935/1.Of97, la que se rige de acuerdo a la ecuación N° 1, con la idea de lograr un programa térmico para el horno, de acuerdo a la tabla N° 1.

Durante la realización del ensayo se debe registrar la temperatura del horno, la temperatura de la cara no expuesta, observaciones del comportamiento de la probeta, de acuerdo a los criterios de resistencia al fuego establecidos en la NCh935/1.



Tabla N°1: Programa térmico para el horno de ensayo.

Tiempo t (min)	T(t)-T ₀ (°C)
0	0
1	329
2	425
3	482
4	525
5	556
15	719
30	822
60	925
90	986
120	1029
150	1062
180	1090



Fuente: NCh 935/1 Of1997.

Para el registro de las temperaturas, se mide la temperatura ambiente, y las del horno, mediante la utilización de 5 y 8 termocuplas dispuestas simétricamente en el horno de ensayo vertical y horizontal, respectivamente. Para el registro de la temperatura promedio y puntual máxima de la cara no expuesta del elemento, se utilizó un termómetro infrarrojo tipo pistola. Para la detección de gases inflamables, se utiliza una garrocha con algodón en llama, la que se acerca a las distintas zonas del elemento, de manera de detectar gases inflamables.

La sobrepresión interior del horno es medida mediante el uso de un manómetro diferencial de columna de agua, manteniéndose en un valor de 10 ± 2 Pa.

La resistencia al fuego del elemento se expresa como el tiempo en minutos, desde el comienzo del ensayo, hasta que se dejan de cumplir las condiciones relativas a capacidad de soporte de carga, aislamiento, estanquidad y no emisión de gases inflamables. Y de acuerdo al tiempo alcanzado se clasifican en función de su resistencia al fuego, de acuerdo a la tabla N° 2, siguiente.

Tabla N° 2: Clasificación de resistencia al fuego

Clase resistente (F)	Tiempo alcanzado (min)	
F0	0	< 15
F15	≥ 15	< 30
F30	≥ 30	< 60
F60	≥ 60	< 90
F90	≥ 90	< 120
F120	≥ 120	< 150
F150	≥ 150	< 180
F180	≥ 180	< 240
F240	≥ 240	

Fuente: NCh 935/1 Of1997.

Complementariamente, en los ensayos sin placa de protección contra el fuego, se realizó la medición de la tasa de carbonización, mediante la medición de la capa no quemada en



2 probetas de cada muestra extraídas después de los ensayos. Para ello, se utilizó la medición de la sección residual, la que se mide desde una muestra obtenida, una vez terminado el ensayo, comparando la sección residual con las dimensiones iniciales y obteniendo la profundidad de carbonización en la cara expuesta al fuego. En las muestras se retira la capa quemada con uso de escobillas y formón, se cortan 3 sub muestras de 50 x 250 mm. de distintos sectores y se realizan 10 mediciones por cada submuestra. La tasa de carbonización fue calculada al dividir la profundidad de la capa quemada por el tiempo de duración del ensayo, desestimándose el uso del método de regresión lineal y la disminución de tiempo al lograr los 288 °C recomendado por Gardner & Syme, o los 300 °C de acuerdo a Frangi et al. (Frangi et al. 2008).

2.1 MATERIALES

Se construyeron paneles de madera en base a Pino radiata seco en cámara al 12% de contenido de humedad, las maderas fueron clasificadas mecánicamente como G1 o C16 de acuerdo a norma NCh1207 Of2017 o EN338:2016, cuyas características mecánicas son mostradas en la Tabla N° 3, luego las piezas fueron cepilladas a espesores de 30 y 33 mm., encoladas de canto y cara con adhesivo del tipo Poliuretano PU – 1 K, y prensadas utilizándose para ello una prensa hidráulica.

Tabla N°3: Características mecánicas de las piezas de madera de Pino radiata utilizadas.

Clasificación	Grado	F_f (MPa)	F_{cp} (MPa)	F_{tp} (MPa)	F_{cn} (MPa)	F_{cz} (MPa)	E_f (MPa)
Mecánica	C16	5,2	7,5	3,5	2,5	1,1	7.900
Visual	G1	7,5	7,5	5,0	2,5	1,1	10.000

Fuente: NCh1198 Of2014

Considerando la cara expuesta al fuego, las muestras de muros fueron codificadas como MP2012, para un muro protegido con doble capa de yeso cartón, y MN2018, para un muro no protegido. En el caso de las Losas, estas fueron codificadas como LP2012, para la losa protegida con una capa de yeso cartón, y LN2018, para una losa sin protección, de acuerdo a los antecedentes entregados en la Tabla N° 4.

Tabla N°4: Configuración de muestras para ensayo.

Código	Dimensiones elemento (mm)	Protección	Dimensiones pieza (mm)	Grado estructural	Tipo de Adhesivo
MP2012	90 x 2200 x 2400	(2) Yeso cartón RF 12,5 mm.	30 x 130	G1	PUR – 1K
MN2018	99 x 2200 x 2400	Sin protección	33 x 130	C16	PUR – 1K
LP2012	150 x 3500 x 4500	Yeso cartón 12,5 mm	30 x 140	G1	PUR – 1K
LN2018	99 x 3500 x 4500	Sin protección	33 x 120	C16	PUR – 1K



3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Muros

Los elementos de muro sometidos a la prueba de resistencia al fuego, bajo un incendio estándar, cumplieron con la capacidad de soporte de carga, logrando mantener en todo momento los 120 kg/m conjuntamente a la estabilidad mecánica hasta el final del ensayo. Respecto a la estanquidad y aislamiento térmico, las muestras se mantuvieron estancas a las llamas y no presentaron problemas de temperatura promedio y puntual, de acuerdo a lo indicado en el gráfico N°1, no superando los límites establecidos. La síntesis de los resultados se encuentra contenida en la Tabla N°6.

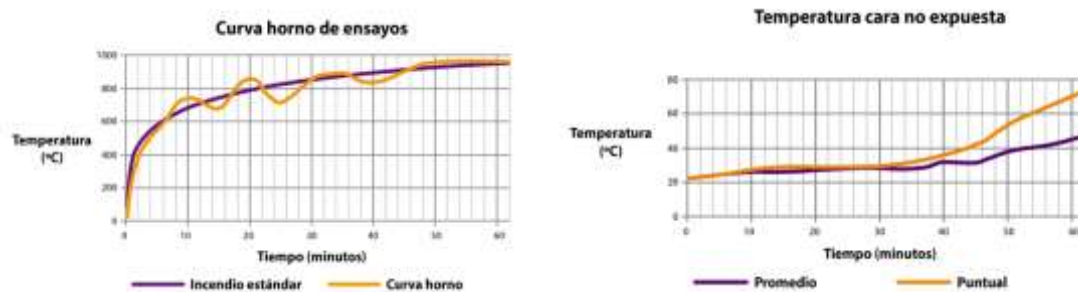


Gráfico N° 1: Antecedentes de temperaturas en horno y probeta para muro MN2018 (IDIEM 2018)

Tabla N° 6: Resultados de ensayo de resistencia al fuego para Muros en base a CLT.

Código	Capacidad de carga	Aislamiento térmico	Estanquidad	Gases inflamables	Clase F
MP2012	Estable	41 °C/ 43 °C	80 minutos	Sin emisión	F60
MN2018	Estable	45 °C / 70 °C	62 minutos	Sin emisión	F60

Respecto a la tasa de carbonización del muro MN2018 sometidos a un ensayo estándar, los resultados son mostrados en la Tabla N°7, y dado que las dimensiones de la capa carbonizada son utilizadas para estimar el área de la sección residual, tal como se muestra en la Figura N° 8, se ha considerado esta evaluación para conocer la superficie que contribuye al cálculo del momento residual y al módulo de la sección, a una cierta resistencia al fuego.

Tabla N° 7: Tasa de carbonización promedio de las muestras MN2018

Indicador	1A	2A	3A	1B	2B	3B	Promedio
Profundidad de la capa carbonizada (mm)	61,42	55,99	56,12	60,21	59,74	58,70	58,70
Tasa de carbonización (mm/min)	0,93		0,96		0,95		



Figura N° 8: Medición de la capa carbonizada y resistente para MN2018.

3.2 Losas

Los elementos de losa sometidos a la prueba de resistencia al fuego, cumplieron con la capacidad de soporte de carga, soportando en todo momento los 100 kg/m², y mantuvieron la estabilidad mecánica hasta el final del ensayo. Respecto a la estanquidad y aislamiento térmico, los resultados son variados, dado que la probeta LP2012 falla por temperatura en la cara no expuesta, mientras que la probeta LN2018 no presenta esta falla, tal como se muestra en el gráfico N°2. La síntesis de los resultados se encuentran contenidos en la Tabla N°8.

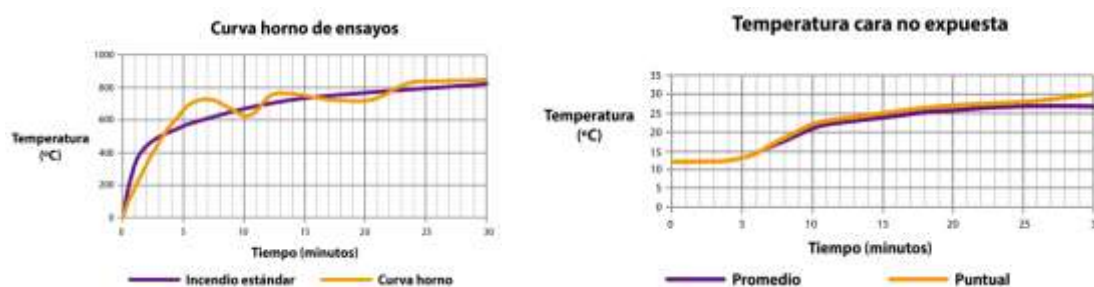


Gráfico N° 2: Antecedentes de temperatura en horno y probeta para losa LN2018 (IDIEM 2018).

Tabla N° 8: Resultados de ensayo de resistencia al fuego para Losas en base a CLT

Código	Capacidad de carga	Aislamiento térmico	Estanquidad	Gases inflamables	Clase F
LP2012	Estable	152 °C / 210 °C	Estanco	Sin emisión	F90
LN2018	Estable	45 °C / 70 °C	27 minutos	Con emisión	F15

Respecto a la tasa de carbonización de la losa LN2018, sometidos a un ensayo estándar, los resultados son mostrados en la Tabla N° 9, para ello se utilizó la medición de la sección residual, tal como se muestra en la Figura N° 9, la que se mide desde una muestra (A y B) obtenida de 1 misma probeta, una vez terminado el ensayo.



Tabla N° 9: Tasa de carbonización de la muestra LN2018

Indicador	1A	2A	3A	1B	2B	3B	Promedio
Profundidad de la capa carbonizada (mm)	30,69	29,23	28,15	29,99	31,30	31,09	30,08
Tasa de carbonización (mm/min)	0,89			0,93			0,91



Figura N° 9: Medición de la capa carbonizada y resistente para LN2018

4. CONCLUSIONES

Los muros construidos con paneles de CLT de Pino radiata logran resistencia al fuego F60, con y sin protección de yeso cartón, y la falla se genera por problemas de estanquidad, considerando una carga de 100 kg/m., contrariamente a los resultados encontrados por Frangi (Frangi et al 2008), donde se consideraron cargas para edificios de mediana altura, y la falla se produce por problemas de estabilidad mecánica.

Una alta resistencia al fuego es observada para losas que poseen un elemento protector, como el caso del uso de placa de yeso cartón, lográndose una resistencia al fuego F90. Para el caso de superficies descubiertas sin protección, se requerirá de un diseño de unión entre paneles que otorgue estanquidad al elemento, cuidando los detalles constructivos.

Comparativamente con lo desarrollado por Frangi (Frangi et al. 2008), no fueron observados efectos de laminación en los ensayos utilizando un adhesivo del tipo PUR – 1k. no observándose caídas significativas de las capas carbonizadas.

Por el método del área residual, se logró establecer una tasa de carbonización de 0,95 y 0,91 (mm/min) para muro y losa, respectivamente, valores mayores a los indicados por Ramírez en Chile para la especie Pino radiata de 0,87 (mm/min) (Ramirez 2001). Además, este valor supera a lo señalado por el Euro Código que indica para madera laminada encolada de coníferas, tasas de 0,65 y 0,80 (mm/min).



4º CONGRESO
LATINOAMERICANO
DE ESTRUCTURAS
DE MADERAS

5. AGRADECIMIENTOS

A la empresa CMPC SpA., por su valioso aporte a la actividad de I+D en el desarrollo del CLT de Pino radiata en Chile, especialmente las personas que trabajan en esta organización: Sr. José Pablo Jordan M., Sra. Gina Cerda P. y Sr. Rodrigo Rebolledo C.

A los técnicos del Laboratorio de Diseño y tecnología en Madera y CITEC – Universidad del Bío-Bío, especialmente a los Sres. Robinson Aguayo G., Hugo Uribe P., Raúl Crisosto J. y Gerardo Montecinos H.

Al personal de IDIEM – Universidad de Chile, quienes brindaron el apoyo en todos los ensayos realizados en sus instalaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM (2016). Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials. ASTM E119-16a. West Conshohocken, PA, USA.

Barber, D. (2015). Fire safe Design of exposed Timber Mass Wood Buildings. Mass Timber (CLT) Research Workshop.

Brandner, R., Schickhofer, G. (2014). Production and Technology of Cross Laminated Timber (CLT): A state-of-the-art Report. CLT Training Course in the frame of COST Action FP1004, Trento, Italy.

EN (2016). Structural timber - Strength classes. EN 338:2016.

FPInnovations (2011). Fire Performance of Cross-Laminated Timber Assemblies in CLT Handbook, Vancouver, Canadá.

Frangi, A., Fontana M., Knobloch, M. and Bochicchio, G. (2008). Fire behavior of Cross-laminated solid timber panels. In fire Safety Science – Proceedings of ninth international Symposium. P.1279-1290.

IDIEM (2018), informe de ensayo Resistencia al fuego, Universidad de Chile 2018.

INN (1997). Prevención de incendio en edificios - Ensayo de resistencia al fuego - Parte 1: Elementos de construcción en general. NCh935/1:1997. Chile.

INN (2014). Madera – Construcciones en madera – Cálculo. NCh1198. Of 2014. Chile.

INN (2017). Pino radiata, Pino oregón, Pino ponderosa - Clasificación visual para uso estructural - Especificaciones de los grados de calidad. NCh1207. Of 2017. Chile.

ISO (1999). Fire-resistance tests — Elements of building construction — Part 1: General requirements. ISO 834-1:1999.

MINVU. (2015). Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones. Santiago, Chile.

RAMÍREZ, A. (2001). Comportamiento de la madera frente al fuego y su protección. Tesis (Ingeniero Civil). Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.

Underwriters Laboratories of Canada (2007). Standard Methods of Fire Endurance Tests of Building Construction and Materials in National Standard of Canada - CAN/ULCS101-07, vol. Fourth Edition, Ottawa.