

MANUAL DE SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS

DE ENTRAMADO LIGERO EN MADERA
MARCO PLATAFORMA

INDICE

Listado de Figuras	4
Listado de Tablas.....	7
I. Introducción	9
II. Definiciones y generalidades	11
a. Normas generales para el uso de madera en la construcción	11
b. Soluciones constructivas en madera	13
c. Sistemas constructivos en madera	14
d. Terminologías utilizadas en la construcción con madera	15
Rotulado para el uso de madera aserrada en la construcción	18
III. Normativa chilena para la edificación en madera	20
a. Normativa estructural.....	21
b. Requerimientos higrotérmico y de hermeticidad.....	22
i. Definiciones y generalidades.....	23
ii. Ensayos de la solución constructiva.....	24
iii. Aplicación de normativa OGUC	25
iv. Planes de descontaminación atmosférica (PDA).....	27
v. Condensación superficial e intersticial	31
vi. Sellos y barreras.....	34
vii. ¿Cómo lograr un buen desempeño térmico?.....	38
c. Requerimientos frente al fuego	38
i. Definiciones y generalidades.....	39
ii. Ensayos de la solución constructiva.....	39
iii. Aplicación normativa OGUC	41
iv. ¿Cómo lograr un buen desempeño de resistencia al fuego?	43
d. Requerimiento Acústico	45
i. Definiciones, generalidades y aplicación de la norma	47
ii. Ensayos de la solución constructiva.....	49
iii. Aplicación normativa OGUC	53
iv. ¿Cómo lograr un buen desempeño acústico?	55
e. Estándares de construcción en madera sustentable para viviendas	57
IV. Consideraciones para el uso de la madera en sistemas constructivos	59
a. Tipos de madera y durabilidad	59

b. Exposición de la madera	61
c. Mantención y preservación	62
d. Consideraciones estructurales	67
V. Sistema constructivo marco y plataforma	69
a. Descripción del sistema	69
b. Componentes estructurales	71
c. Consideraciones constructivas	72
VI. Análisis de casos: Aplicación del sistema constructivo en madera de marco y plataforma para viviendas de 1 a 6 pisos	73
a. Caso vivienda de 1 a 2 pisos	75
i. Requerimiento normativo estructural.....	79
ii. Normativa higrotérmica y de hermeticidad aplicada	81
iii. Requerimiento especial de PDAO	82
iv. Normativa de fuego aplicada	86
v. Normativa acústica aplicada	88
b. Caso vivienda de 3 a 4 pisos	90
i. Normativa estructural aplicada.....	94
ii. Normativa higrotérmica y de hermeticidad aplicada	95
iii. Normativa de fuego aplicada	97
iv. Normativa acústica aplicada.....	99
c. Caso vivienda de 5 a 6 pisos	101
i. Normativa estructural aplicada.....	105
ii. Normativa higrotérmica y de hermeticidad aplicada	105
iii. Requerimientos frente al fuego.....	107
iv. Normativa acústica aplicada.....	108
d. Conclusiones generales de los 3 casos.....	110
BIBLIOGRAFÍA.....	111
ANEXOS.....	112
ANEXO A: Actualización de normas técnicas NCh asociadas a la construcción en madera.....	112
Anexo B: Fichas de soluciones constructivas	117

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1:	Soluciones constructivas en madera. (a) entrepiso (b) muro (c) techumbre. Fuente: elaboración propia.	13
Figura 2:	Sistemas constructivos en madera. (a) Sistema constructivo de marco plataforma (b) Sistema masivo (CLT) (c) Sistema de postes y vigas. Fuente: elaboración propia.	14
Figura 3:	Términos relativos a la geometría de una pieza. Fuente: elaboración propia.	15
Figura 4:	Escuadrías y dimensión nominal de las piezas. Fuente: NCh 2824.	16
Figura 5:	Partes del tronco del árbol. Fuente: elaboración propia.	17
Figura 6:	Ejemplo de rotulado de madera. Fuente: intervenido de requisitos de rotulado de la madera aserrada para construcción.	19
Figura 7:	Composición de elementos constructivos multicapa. Fuente: elaboración propia.	24
Figura 8:	Esquema del método de ensayo de resistencia y transmitancia térmica de elementos constructivos.	24
Figura 9:	Fotografía de ensayo en laboratorio para medir transmitancia térmica de un muro.	25
Figura 10:	Zona térmica de ejemplo. Fuente: Manual de la aplicación de la reglamentación térmica.	26
Figura 11:	Comparación de normativa térmica aplicada por PDAO. Fuente: modificado de www.pdao.cl	30
Figura 12:	Permeabilidad al aire de elementos constructivos y singularidades. Fuente: (CitecUBB & Decon UC, 2014).	36
Figura 13:	Reducción de la permeabilidad del aire mediante la aplicación de técnicas de sellado por unidad de superficie.	37
Figura 14:	Barreras	38
Figura 15:	Laboratorio IDIEM. Ensayo de probetas de soluciones constructivas de horno horizontal y vertical.	40
Figura 16:	Anexo A de la NCh935/1, clasificación de resistencia frente al fuego.	40
Figura 17:	Resistencia al fuego y clasificación: ejemplo de informe de fuego del laboratorio IDIEM.	41
Figura 18:	Resistencia al fuego requerida para los elementos de construcción de edificios. Fuente: Artículo 433, de la arquitectura, OGUC.	42
Figura 19:	Ruido aéreo. Fuente: elaboración propia.	47
Figura 20:	Ruido de impacto. Fuente: elaboración propia.	48
Figura 21:	Resultados de índice de reducción acústica - Ejemplo de Informe de ensayo Acústico del laboratorio CPIA.	50
Figura 22:	Ensayo aéreo de un muro divisorio realizado en laboratorio acústico CPIA.	51

Figura 23:	Resultados de presión acústica de impacto normalizado - Ejemplo de Informe de ensayo Acústico del laboratorio CPIA	52
Figura 24:	Ensayo de impacto de una solución de entrepiso realizado en laboratorio acústico CPIA (fuente CPIA)	53
Figura 25:	Resultado del nivel de presión acústica de impacto normalizado - Ejemplo de Informe de ensayo Acústico del laboratorio CPIA.....	54
Figura 26:	Resultado del índice de reducción acústica - Ejemplo de Informe de ensayo Acústico del laboratorio CPIA.....	54
Figura 27:	Bosques plantados efectuados durante el año 2018. Fuente: elaboración propia en base a datos CONAF pág. 33 y 42.	59
Figura 28:	Penetración de los preservantes. Fuente: intervenido de NCh819.....	65
Figura 29:	Amarre con anclaje roscado (HD) y anclaje con varilla roscada (ATS). Fuente: Simpson Strong-Tie, 2018.	68
Figura 30:	Sistema de anclaje roscado ATS. Fuente: Simpson Strong-Tie, 2018.	68
Figura 31:	Composición de un muro del sistema constructivo marco y plataforma. Fuente: elaboración propia.	69
Figura 32:	Detalle de elementos constructivos. Fuente: elaboración propia.....	71
Figura 33:	Axonométrica vivienda 2 pisos ubicada en Osorno. Fuente: elaboración propia.	75
Infografía 1:	Soluciones constructivas de muros del proyecto de vivienda de 2 pisos	77
Infografía 2:	Soluciones constructivas de techumbre y entrepiso del proyecto de vivienda de 2 pisos	78
Figura 34:	Zona térmica de la ciudad de Osorno. Imagen intervenida de “Manual de la aplicación de la reglamentación térmica”.....	81
Figura 35:	Aporte de transmitancia por material de la solución constructiva.	81
Figura 36:	Comparación de transmitancia térmica de las soluciones constructivas PDAO 2018.	82
Figura 37:	Cálculo transmitancia térmica ponderada de muro perimetral.....	83
Figura 38:	Materiales y dimensiones para calcular la transmitancia térmica ponderada de muro perimetral.....	83
Figura 39:	Transmitancia térmica ponderada techo.....	85
Figura 40:	Tipo de edificación según uso y cantidad de pisos, según tabla 1 del artículo 4.3.4 OGUC (intervenida).	87
Figura 41:	Resistencia al fuego según elemento constructivo, según Art. 4.3.3 OGUC (intervenida).	87
Figura 42:	Planta segundo piso arquitectura proyecto vivienda dos pisos, Osorno. Fuente: elaboración propia.....	89
Figura 43:	Elementos constructivos que deben cumplir con la regulación acústica, en primer piso. Fuente: elaboración propia.	89

Figura 44:	Muro acústico con estructura desvinculada. Fuente: elaboración propia.	90
Figura 45:	Axonométrica vivienda 3 pisos.....	91
Infografía 3:	Soluciones constructivas de muros del proyecto de vivienda de 3 pisos	92
Infografía 4:	Soluciones constructivas de techumbre y entrepiso del proyecto de vivienda de 3 pisos.....	93
Figura 46:	Zona térmica de la ciudad de Chañaral. Imagen intervenida de “Manual de la aplicación de la reglamentación térmica”.....	95
Figura 47:	Soluciones constructivas caso estudio vivienda 3 pisos.....	96
Figura 48:	Tipo de edificación según uso y cantidad de pisos, según tabla 1 del artículo 4.3.4 OGUC (intervenida).	98
Figura 49:	Resistencia al fuego según elemento constructivo, según Art. 4.3.3 OGUC (intervenida).....	98
Figura 50:	Planta tercer nivel de la vivienda en estudio de 3 pisos. Fuente: elaboración propia.....	99
Figura 51:	Elementos constructivos que deben cumplir con la exigencia acústica en viviendas estudio 3 pisos. Fuente: elaboración propia.	100
Figura 52:	Muro acústico con estructura desvinculada. Fuente: elaboración propia.	100
Figura 53:	Axonométrica de edificio de viviendas de 6 pisos. Fuente: elaboración propia.....	101
Infografía 5:	Soluciones constructivas de muros del proyecto de vivienda de 6 pisos	103
Infografía 6:	Soluciones constructivas de techumbre y entrepiso del proyecto de vivienda de 6 pisos.....	104
Figura 54:	Zona térmica de la ciudad de Rancagua. Imagen intervenida de “Manual de la aplicación de la reglamentación térmica”.	105
Figura 55:	Tipo de edificación según uso y cantidad de pisos, según tabla 1 del artículo 4.3.4 OGUC (intervenida).	107
Figura 56:	Resistencia al fuego según elemento constructivo, según Art. 4.3.3 OGUC (intervenida).....	108
Figura 57:	Elementos constructivos que deben cumplir con los requerimientos acústicos. Fuente: elaboración propia.	109
Figura 58:	Planta tipo edificio 6 pisos. Fuente: elaboración propia.....	109

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1:	Normativa atiniente a la construcción en madera.....	12
Tabla 2:	Síntesis de normativa aplicada a soluciones constructivas según OGUC.....	20
Tabla 3:	Normativa para requerimientos estructurales	21
Tabla 4:	Normativa higrotérmica y de hermeticidad.....	22
Tabla 5:	Exigencias de acondicionamiento térmico Art. 4.1.10 OGUC.....	25
Tabla 6:	Rotulado R100 según norma técnica NCh 2251.....	26
Tabla 7:	Comparación de requerimientos térmicos en distintas ciudades con PDA.....	29
Tabla 8:	Estándar térmico basado en la NCh 1079. Fuente: Elaboración propia en base a NCh 1079	31
Tabla 9:	Normativa para la reglamentación frente al fuego	39
Tabla 10:	Normas relevantes para requerimientos acústicos	46
Tabla 11:	Categorías de durabilidad de la madera. Fuente: OGUC pág. 347	60
Tabla 12:	Información relativa al tipo de riesgo en función del uso y agente biológico de deterioro. Fuente: intervención de Tabla 1 del artículo 4.1 de la NCh819	63
Tabla 13:	Retención mínima de ingredientes activos del preservante según nivel de riesgo de deterioro de la madera. Fuente: tabla 3 artículo 5.1.3 de la NCh819	64
Tabla 14:	Normativa general aplicada a vivienda de 1 a 2 pisos.....	76
Tabla 15:	Tensiones admisibles y clasificación estructural según grado.....	80
Tabla 16:	Resumen de requerimientos normativos para vivienda de 3 y 4 pisos.....	91
Tabla 17:	Tensiones admisibles y clasificación estructural según grado. Caso de estudio 3 a 4 pisos.....	94
Tabla 18:	Resumen de requerimientos normativos que debe cumplir un edificio de viviendas de 6 pisos de altura. Fuente: elaboración propia	102

AGRADECIMIENTOS

Este Manual de Soluciones Constructivas, se realizó gracias a la participación del MINVU en especial a Susana Jara y su equipo conformado por, Ignacio González, Cristina Barría, Camilo Lanata, Xavier Irazoqui y Marcelo Soto.

Agradecemos a los profesionales CIM UC, José Luis Caamaño y Daniela Méndez por liderar el desarrollo del documento, y al equipo de transferencias CIM UC Felipe Victorero, Javiera De La Barra, Diego Maige y Clara Codrón quienes aportaron al desarrollo técnico de este manual, y finalmente al equipo de comunicaciones CIM UC, Romina Rubio y Francisco López.

NOTA INFORMATIVA

Este manual no es de naturaleza obligatoria ni reglamentaria, está diseñado para facilitar el acceso a la información disponible en diferentes fuentes y principalmente en la normativa chilena vigente.

Las entidades que elaboraron este documento no se hacen responsables por las pérdidas, daños y otras consecuencias que puedan surgir dado el mal uso de este manual de manera directa o indirecta.

Este Manual no reemplaza por ninguna manera los documentos, ni normativas legales citadas. Además, no garantiza la aceptación o acreditación de un diseño, material o solución constructiva por cualquier entidad autorizada para ello por cualquier ley. De la misma forma, este documento no reemplaza la asesoría de un profesional competente, el usuario debe buscar este tipo de asesoría en caso de requerirla.



I. INTRODUCCIÓN

El siguiente manual tiene como objetivo introducir al lector en el diseño arquitectónico, y específicamente en el sistema constructivo marco plataforma en madera. El documento desarrolla en detalle algunas de las diferentes soluciones constructivas en madera que existen hoy en día. Para profundizar en lo anterior, se explicarán los conceptos básicos de los sistemas constructivos en madera, se abordarán temas normativos actuales para la construcción en Chile, y se propondrán algunas recomendaciones para la construcción sustentable de edificaciones. Asimismo, se entregarán consideraciones constructivas, estructurales y de mantención de edificaciones con madera.

Este manual de soluciones constructivas del sistema marco plataforma en madera, se enfocará en entregar los lineamientos imprescindibles al momento de diseñar y edificar con madera. Además, se tendrá en cuenta la importancia que tiene cada material dentro de las soluciones constructivas a tratar.

El presente manual se enfocará en el análisis de distintos casos de estudio, teniendo como referencia 3 tipologías de vivienda: de 1 a 2 pisos; de 3 a 4 pisos; y de 5 a 6 pisos de altura. También se presentarán algunas fichas de soluciones constructivas desarrolladas en el proyecto de Bien Público, apoyado por CORFO: Diseña Madera, que se inició en el año 2018 como un trabajo de la Pontificia Universidad Católica de Chile y el Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Este proyecto consiste en una plataforma online gratuita que permite al

usuario realizar una búsqueda de soluciones constructivas en madera, las que están amparadas en las normativas vigentes de desempeño acústico, térmico y de resistencia al fuego. Posteriormente, se entregarán recomendaciones de diseño estructural y la oferta actual del mercado para el tipo de productos utilizados. Cabe destacar que esta plataforma está pensada para entregar información valiosa a través de informes de desempeño, fichas técnicas y librerías de objetos en formato CAD y BIM, tal y como se puede observar en el anexo B.

En el presente documento se desarrollará un análisis de los distintos casos de estudio, y se entregarán ejemplos del uso de las soluciones constructivas específicas utilizadas en cada uno de ellos. También se tendrán en cuenta los principales requerimientos normativos en cuanto a resistencia al fuego, comportamiento acústico, requerimientos higrotérmicos y de hermeticidad, y estructurales, siguiendo los criterios normativos actualmente utilizados en Chile. Estos ejemplos, permitirán visualizar de manera precisa y sencilla las distintas consideraciones al momento de diseñar y construir viviendas de 1 a 6 pisos de altura, mediante el sistema de marco plataforma en madera.

El manual está orientado a la toma de decisiones certeras y eficientes al momento de diseñar y ejecutar obras de construcción en madera, para evitar así problemas asociados a hongos, humedad, fuego, infiltraciones de aire, problemas térmicos y acústicos en su vivienda o edificación.

Es preciso recalcar que la construcción en madera se abordará desde un punto de vista especializado, que tomará en consideración el universo de las soluciones constructivas certificadas y aprobadas por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Por

consiguiente, este manual va dirigido especialmente a constructores, arquitectos, ingenieros y diseñadores que quieran adentrarse en el diseño con madera, mediante el sistema constructivo de entramado ligero marco y plataforma.



II. DEFINICIONES Y GENERALIDADES

A continuación, se definirán los conceptos fundamentales para comprender la construcción en madera, teniendo en consideración las soluciones constructivas aprobadas por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), y en especial el sistema marco y plataforma en madera. Para esto se abordarán los siguientes temas: las soluciones constructivas para

estructuras de madera junto a sus principales normativas; los distintos sistemas constructivos que existen en madera y las terminologías importantes de conocer al momento de trabajar con madera en edificaciones. Además, se presentará el programa de construcción sustentable impulsado por MINVU.

A. NORMAS GENERALES PARA EL USO DE MADERA EN LA CONSTRUCCIÓN

Las normas más relevantes respecto a las características propias del material tienen que ver con varios factores importantes a considerar al edificar con madera, tales como: el manejo forestal; el uso de la materia prima; normativas aplicadas a la producción de subproducto; terminologías; entre otras. Por otro lado, temas específicos con respecto a la clasificación de especies,

sus características y comportamiento estructural, preservantes que se deben utilizar, y otros temas importantes a considerar. A continuación, se hace una selección de las normas más utilizadas en este manual, y en la construcción de viviendas en madera, para ver el listado completo, ir al anexo A del presente documento.



Tabla 1: Normativa atingente a la construcción en madera

PROPIEDADES MADERA	TÍTULO DE LA NORMATIVA
NCh 2824	Maderas - Pino radiata - unidades, dimensiones y tolerancias
NCh 173	Madera - Terminología general
NCh 819	Madera preservada - Pino radiata - Clasificación según riesgo de deterioro en servicio y muestreo
NCh 176/1	Madera Parte 1: Determinación del contenido de humedad
NCh 1198	Madera – Construcciones en madera - Cálculo
NCh354	Maderas – Hojas de puertas lisas de madera – Requisitos generales
NCh355	Maderas – Ventanas de madera – Requisitos generales
NCh723	Maderas – Hojas de puertas lisas de madera – Métodos de ensayo
NCh174	Maderas – Unidades, dimensiones nominales, tolerancias y especificaciones
NCh630	Madera – Preservación – Terminología
NCh631	Madera preservada – Extracción de muestras
NCh755	Madera – Preservación – Medición de la penetración de preservantes en la madera
NCh790	Madera – Preservación – Clasificación, composición y requisitos de los preservantes para madera
NCh762	Planchas y tableros a base de madera – Determinación del contenido de humedad
NCh3028	Madera estructural – Determinación de propiedades físicas y mecánicas de la madera clasificada por su resistencia – Parte 2: Muestreo y evaluación de los valores característicos de piezas en tamaño estructural
NCh177	Madera – Planchas de fibra de madera – Especificaciones.

B. SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS EN MADERA

Una solución o elemento constructivo, como menciona la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) en el “art. 1.1.2. Definiciones”, es un conjunto de materiales que debidamente dimensionados cumplen una función definida, ya sea como muros, tabiques, techumbres, etc.

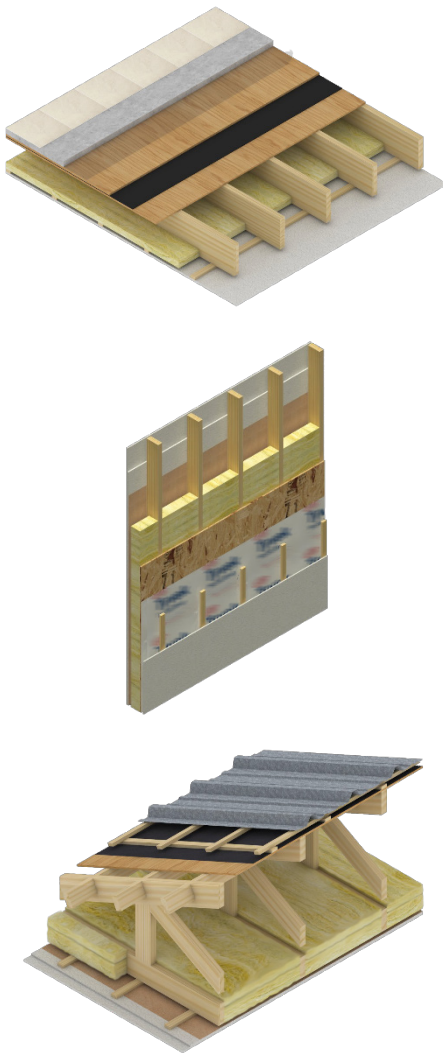


Figura 1: Soluciones constructivas en madera. (a) entrepiso (b) muro (c) techumbre.
Fuente: elaboración propia.

Cada solución constructiva, en función a su uso y características, tendrá un desempeño determinado. Para conocer su desempeño en detalle, se deben revisar los distintos requerimientos otorgados por la OGUC a través de informes específicos en temas acústicos, térmicos, estructurales y de resistencia al fuego. Para ejecutar estos requerimientos específicos son importante primero comprender de qué se compone y cuáles son los conceptos importantes al definir una solución constructiva.

Cuando se habla de una solución constructiva se hace referencia a los elementos principales que definen y dan forma a una edificación. Estos elementos constructivos, ya sean muros, pisos o techos, describen aspectos tan importantes como la estructura, acabado y características especiales para cada elemento constructivo según los requerimientos específicos de cualquier edificio. Por ejemplo, los muros para diferenciar espacios exteriores de interiores, o elementos constructivos expuestos a zonas húmedas, constituyen dos tipos de soluciones constructivas diferentes que se adaptan a requerimientos específicos del proyecto. De ahí la importancia de conocer y aplicar de una forma correcta cada solución constructiva, ya que esto determinará las condiciones de habitabilidad de cada edificación, con el objetivo de que sean las óptimas en cuanto a las condiciones acústicas, higrotérmicas, de hermeticidad y la vida útil que tendrá la edificación.

C. SISTEMAS CONSTRUCTIVOS EN MADERA

Es sabido que existen diversos sistemas constructivos, entre los más comunes destacan el hormigón armado, sistemas de albañilería y entramados en madera. A estos se los califica como sistemas tradicionales, los que se reconocen por la amplia trayectoria constructiva y su presencia a lo largo del país. Por otra parte, se encuentran los sistemas constructivos no tradicionales (SCNT), los que corresponden a sistemas en los que:

- Sus condiciones estructurales no pueden determinarse total o parcialmente por métodos tradicionales de cálculo, en base a la normativa vigente.
- Sus montajes en obras se efectúan por medio de procedimientos especialmente diseñados.
- Se emplean nuevos materiales o estos se combinan en forma diferente a la consultada en el D.S. N° 47 y fijados en la OGUC.

En el caso de generarse proyectos en base a SCNT destinados a obras con financiamiento del estado, por medio de subsidios habitacionales MINVU, estos sistemas deben contar previamente con un certificado de

aprobación, emitido por el Departamento de Tecnologías de la construcción de la División técnica del MINVU (DITEC), generado por medio del proceso de aprobación regulado por la Resolución 1369/2016 (V. y U.)¹, el cual puede ser emitido para ejecutar estructuras de un máximo de 2 niveles y abarcar tanto sistemas estructurales compuestos con elementos verticales, como horizontales y de techo.

Actualmente, DITEC cuenta con variados tipos de SCNT aprobados, entre los que se encuentra el uso de madera contra laminada (CLT, por si sigla en inglés), diversas tipologías de paneles SIP, que son algunos de los más utilizados al hablar de edificaciones con madera.

Dentro de los sistemas basados en madera, pueden reconocerse tres grandes categorías.

- Sistemas de entramados ligero (marco plataforma – panel SIP – balloon frame)
- Sistemas Postes y Vigas (madera laminada)
- Sistemas Masivos (CLT)

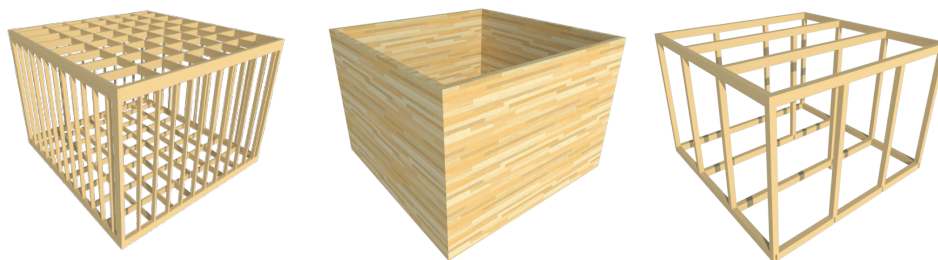


Figura 2: Sistemas constructivos en madera. (a) Sistema constructivo de marco plataforma (b) Sistema masivo (CLT) (c) Sistema de postes y vigas. Fuente: elaboración propia.

¹ MINVU (2016). Resolución exenta N° 01369.

Con el pasar de los años cada una de estas categorías se ha desarrollado incorporando la tecnología, y se encuentran diversas soluciones constructivas innovadoras en el uso de la madera, como el sistema CLT, la madera laminada, el panel SIP, o el sistema marco plataforma.

Cada una de estas soluciones forma parte de un sistema constructivo determinado, que se entiende como un conjunto de elementos, materiales, técnicas y procedimientos característicos para un tipo de edificación en particular.

D. TERMINOLOGÍAS UTILIZADAS EN LA CONSTRUCCIÓN CON MADERA

El significado de los términos mayormente utilizados por la industria, el comercio y el uso de los distintos productos provenientes de la madera, se detallan especialmente en las normas chilenas: NCh173 of73, actualizada el año 2019², NCh724³, NCh992⁴ y NCh789⁵, como se mencionan a continuación:

1. *Madera aserrada*: pieza de madera obtenida de procesos de transformación primarios, y definidas por un espesor, ancho y largo.
2. *Cabeza*: sección transversal de cada extremo de una pieza.
3. *Canto*: superficie plana menor paralela al eje longitudinal de una pieza.
4. *Cara*: superficie plana mayor paralela al eje longitudinal de una pieza, o cada una de las superficies planas de una pieza de sección cuadrada.

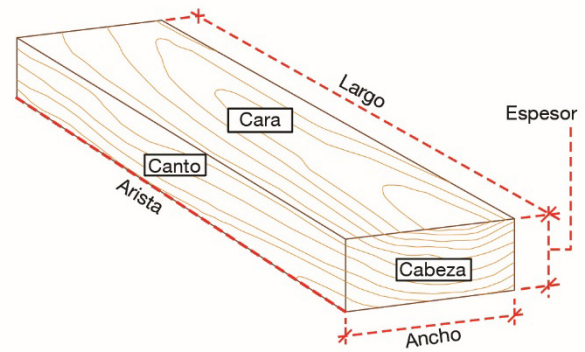


Figura 3: Términos relativos a la geometría de una pieza. Fuente: elaboración propia.

- *Largo*: longitud comercial de una pieza.
- *Escuadría*: expresión numérica de las dimensiones de la sección transversal de una pieza. Esta se expresa en milímetros y pulgadas

² Instituto Nacional de Normalización INN (2019). NCh173:2019 Madera – Terminología general

³ Instituto Nacional de Normalización INN (2019). NCh724:1979 Paneles a base de madera – Tableros – Vocabulario.

⁴ Instituto Nacional de Normalización INN (2019). NCh922 Madera – Defectos a considerar en la clasificación, terminología y métodos de medición.

⁵ Instituto Nacional de Normalización INN (1987). Maderas - Parte 1: Clasificación de maderas comerciales por su durabilidad natural.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS								
DENOMINACIÓN	ESCUADRÍAS			TOLERANCIAS			PAQUETE	PESO PIEZA
	espesor mm	ancho mm	largo mm	espesor mm	ancho mm	largo mm	unidades	kg
1x2	19	41	3.2	0/+2	0/+2	0/+10	624	1.86
1x3	19	65	3.2	0/+2	0/+2	0/+10	384	2.79
1x4	19	90	3.2	0/+2	0/+2	0/+10	288	3.72
1x5	19	115	3.2	0/+2	0/+2	0/+10	216	4.65
1x6	19	138	3.2	0/+2	0/+2	0/+10	192	5.57
1x8	19	185	3.2	0/+2	0/+2	0/+10	144	6.69
1x10	19	230	3.2	0/+2	0/+2	0/+10	96	7.80
2x2	41	41	3.2	0/+2	0/+2	0/+10	312	3.72
2x3	41	65	3.2	0/+2	0/+2	0/+10	192	5.57
2x4	41	90	3.2	0/+2	0/+2	0/+10	144	7.43
2x5	41	115	3.2	0/+2	0/+2	0/+10	108	9.29
2x6	41	138	3.2	0/+2	0/+2	0/+10	96	11.14
2x8	41	185	3.2	0/+2	0/+2	0/+10	72	13.19
2x10	41	230	3.2	0/+2	0/+2	0/+10	48	14.17

Figura 4: escuadrías y dimensión nominal de las piezas. Fuente: NCh 2824.

- **Milímetros:** las dimensiones de una pieza de madera se expresan en milímetros en el siguiente orden, espesor y ancho.
 - *Espesor:* Dimensión menor de la sección transversal de una pieza.
 - *Ancho:* Dimensión mayor de la sección transversal de una pieza.
- **Pulgadas o denominación comercial (DC):** corresponde a una designación adimensional de las dimensiones nominales de las piezas de madera.
- El grado de acabado que tiene la superficie de la madera aserrada tiene dos opciones:
 - *Dimensionado:* corresponde a madera que solo ha sido sometida a un proceso de aserrado.
 - *Cepillado:* corresponde a la madera que ha sido sometida a un proceso de cepillado, posterior al aserrado.
- **Clasificación:** separación y ordenamiento de piezas de madera en grupos que cumplan con requisitos de calidad definidos como grados (visual o mecánico)
- **Grado estructural de la madera:** esta clasificación se realiza según la norma BSEN-519 y se basa en limitaciones mensurables visuales o mecánicas que afectan las características de la madera y permite agruparlas en determinadas categorías considerando su resistencia y esfuerzos mecánicos de acuerdo al uso que se le destine.

- *Clasificación estructural mecánica:* agrupamiento de piezas de madera a partir de la medición experimental de su rigidez. Se usa un proceso normalizado para obtener su resistencia.
- *Clasificación estructural visual:* agrupamiento de piezas de madera, basado en la inspección ocular, en sus caras y cantos, de las características reductoras de la resistencia de la pieza (nudos).
- *Conductividad de la madera:* capacidad de la madera para transmitir las diferentes formas de energía.
- *Resistencia:* capacidad de soportar esfuerzos de solicitaciones externas y/o su propio peso. Los diferentes tipos de resistencia deben ser evaluados según las normas correspondientes.
- *Conector:* clavo, perno, tornillo, placa ranurada, placa dentada, corchete u otros, o combinación de estos, usados para fijar piezas y realizar una unión.
- *Contenido de humedad:* cantidad de agua contenida en la madera. Se expresa como porcentaje de su peso anhidro.
- *Contraflecha:* deflexión especificada por diseño para un elemento estructural de madera a fin de contrarrestar la deformación posterior ocasionada por las cargas y/o su peso propio.
- *Duramen; corazón:* parte central del tronco del árbol, constituida por células fisiológicamente inactivas y en las que los materiales de reserva han sido eliminados o convertidos. En la madera, generalmente, es de color más oscuro que la albura.

- *Albura:* parte intermedia del tronco del árbol entre la corteza y el duramen, la cual posee una mayor proporción de savia, y que con el tiempo se transforma en duramen.

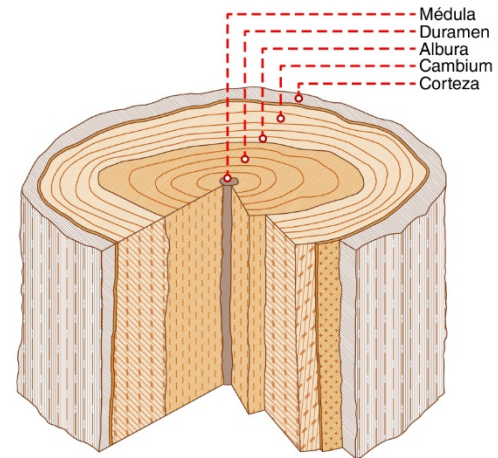


Figura 5: partes del tronco del árbol.

Fuente: elaboración propia.

- *Durabilidad natural:* capacidad que posee la madera para resistir el ataque de los diferentes agentes biológicos de destrucción, una vez que se pone en servicio sin ningún tratamiento preservador. La albura sin tratamiento preservante debe considerarse como susceptible a sufrir daño por la acción de hongos de pudrición, insectos, y horadores marinos, etc. En cambio, el duramen según la especie considerada mostrará un mayor rango de durabilidad, siendo en las especies más durables más resistente al ataque de insectos u hongos, y en las especies menos durables, un rango similar al de la albura.
- *Vida útil:* durabilidad natural, expresada en años, que alcanza una determinada madera puesta en servicio.

- Categorías de maderas de acuerdo con su durabilidad natural:
 - *Muy durable*: madera cuya vida útil esperada es superior a los 20 años.
 - *Durable*: madera cuya vida útil esperada es superior a los 15 años.
 - *Moderadamente durable*: madera cuya vida útil esperada es superior a los 10 años.
 - *Poco durable*: madera cuya vida útil esperada es superior a los 5 años.
 - *No durable*: madera cuya vida útil esperada es inferior a los 5 años.

ROTULADO PARA EL USO DE MADERA ASERRADA EN LA CONSTRUCCIÓN

En la línea del programa “Construcción Sustentable” del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, en alianza con el Ministerio de Economía, se ha impulsado un proyecto que busca mejorar la calidad de los materiales en las edificaciones, en específico las de madera. El proyecto consiste, a grandes rasgos, en la elaboración de un decreto de rotulado para este material, en el que se informe al consumidor sobre las propiedades de la madera, su estándar de calidad y el cumplimiento de las exigencias normativas vigentes en el país. Esta nueva forma de catalogar la madera pretende mejorar la calidad de las edificaciones, facilitando la identificación de las características específicas señaladas en la Ordenanza General.

Como menciona el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, el rotulado, además de permitir a los consumidores y usuarios verificar que las piezas de madera adquiridas cumplan con los requisitos de calidad que exigen las normas chilenas de construcción, les proporcionará información para discriminar entre la diversidad de productos que ofrece el mercado y efectuar una elección informada, de acuerdo con los requerimientos específicos del proyecto. Este rotulado se presenta de 3 formas distintas: impresión, etiqueta adherida o timbre.

El rotulado clasifica a la madera de uso estructural de acuerdo con los siguientes parámetros:

1. Identificación del proveedor: nombre o razón social.
2. País de Origen.
3. Especie.
4. Terminación: dimensionado o cepillado.
5. Dimensión NCh2824 o NCh174, acompañada por su dimensión en milímetros y su largo en metros. La declaración de la dimensión debe corresponder a la madera seca.
6. Contenido de humedad $CH < 20\%$.
7. Grado estructural, según Nch1198, Nch1970/1 y Nch1970/2.
8. Preservación, según punto 3 del Art.5.6.8 OGUC. De acuerdo a su clase de riesgo (Nch819).

MADERA CONSTRUCCIÓN ESTRUCTURAL	ESPECIE: PINO RADIATA
PROVEEDOR: ALPIN S.A.	DIMENSIÓN: 2X4 45X90 MM 3,2 M
PAÍS DE ORIGEN: CL	HUMEDAD: CH<20%
	GRADO ESTRUCTURAL: G2
	PRESERVACIÓN: CA-B R2

Figura 6: Ejemplo de rotulado de madera.

Fuente: intervenido de requisitos de rotulado de la madera aserrada para construcción.⁶

El uso estructural se refiere a una pieza de madera aserrada, clasificada estructuralmente de acuerdo con la NCh 1198 que, además, debe cumplir con los atributos de humedad, dimensiones y preservación (si procede), que la hacen apta para ser utilizada como elemento estructural de una edificación, según lo dispuesto en la OGUC.

Es importante destacar que este requerimiento para el rotulado de la

madera no significa que se exigirá cierta certificación del producto, sino lo correspondiente a la identificación de la pieza y sus cualidades. En caso de requerir demostrar ciertos estándares, se deben realizar ensayos en laboratorios con inscripción vigente en el Registro Oficial de Laboratorios de Control Técnico de Calidad de la Construcción del MINVU, especialidad maderas.

⁶ Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2018). Requisitos de rotulado de la madera aserrada para construcción.

III. NORMATIVA CHILENA PARA LA EDIFICACIÓN EN MADERA

Los requerimientos normativos a los que se hace referencia en este capítulo son específicamente los que se ven reflejados en la configuración de una solución constructiva, y se encuentran mencionados en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC).

De acuerdo con lo señalado por la OGUC, al momento de llevar a cabo cualquier tipo de construcción en Chile, es necesario que cada elemento o solución constructiva cumpla con ciertos requerimientos básicos de habitabilidad, resistencia y seguridad.

En la OGUC, el orden de los requerimientos corresponde a regulaciones estructurales, térmicas, de comportamiento frente al fuego y requerimientos acústicos. Siguiendo este orden, se estructurará la información a presentar en este documento. Además, se destaca que la preponderancia de los requerimientos responde a las necesidades específicas de cada proyecto, por ejemplo, para proyectos en zonas climáticas muy frías, el requerimiento térmico tendría más

relevancia y puede ser el más restrictivo. Así la lógica de trabajo indicaría que se debe partir por el estudio de la reglamentación térmica y luego vendrían los otros requerimientos. En este capítulo, el orden será el siguiente:

- Estructural
- Desempeño higrotérmico y de hermeticidad
- Desempeño ante el fuego
- Desempeño acústico
- Estándares de construcción sustentable

Para explicar estos requerimientos normativos primero se define la importancia que tiene cada uno de ellos en una edificación; los conceptos y definiciones importantes que se deben manejar para una correcta interpretación de lo que busca medir cada normativa; y los ensayos con los que debe cumplir una solución constructiva, para finalmente exponer los parámetros que estipula la OGUC respecto a cada uno de estos requerimientos y cómo lo cumplen las distintas soluciones constructivas.

Tabla 2: Síntesis de normativa aplicada a soluciones constructivas según OGUC

OGUC	REQUERIMIENTO	SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	UNIDAD DE MEDIDA
Art 4.3.3 y 4.3.5	Protección al fuego	Muros estructurales	F / R100
		Muro divisorio	F / R100
		Entrepisos	F / R100
		Techumbre	F / R100
Art 4.1.6	Requerimiento Acústico	Muro divisorio	dB
		Entrepiso divisorio	dB
Art 4.1.10	Requerimiento Térmico	Techo	W/m²K
		Muros perimetrales	W/m²K
		Piso ventilado	W/m²K

A. NORMATIVA ESTRUCTURAL

En general las estructuras de madera deberán ser aceptadas según los requisitos establecidos por la norma NCh 1198 “Madera- Construcciones en madera – Cálculo”. Su humedad debe quedar comprendida según los límites establecidos en la norma NCh1079 “Arquitectura y construcción – Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico”, de acuerdo a la zona climática en la que se emplace la edificación. Por otro lado, su durabilidad deberá ser establecida acorde a la norma NCh 789/1, este punto se abordará en otro capítulo.

Las estructuras se deben calcular a partir de la norma chilena NCh 1198 de “Cálculo estructural en Madera” y la norma NCh 433 de “Diseño sísmico de edificios”. Estas

normativas actualmente tienen algunas falencias para el cálculo estructural. La NCh1198 no entrega disposiciones que permitan calcular la resistencia y rigidez de un edificio estructurado con muros de madera, y la NCh433 está pensada para estructuras rígidas como las de hormigón armado. Por lo tanto, hay criterios que no se ajustan a las estructuras en madera, que por naturaleza son más flexibles, y por ende no cumplen con los requisitos, lo que obliga a una sobre estructuración. Hoy en día se está trabajando para la actualización de estas normas.

Para las edificaciones con estructura de madera con una altura máxima de 7 m, y de máximo 2 pisos incluida la cubierta o mansarda, no se requiere de cálculo estructural, según el artículo 5.6.7 de la OGUC.

Tabla 3: Normativa para requerimientos estructurales

NORMATIVA	TÍTULO DE LA NORMATIVA
NCh 2150	Madera laminada encolada - Clasificación mecánica y visual de madera aserrada de pino radiata
NCh1079	Arquitectura y construcción - Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico
NCh 789/1	Madera - Parte 1: Clasificación de las maderas comerciales por su durabilidad natural
NCh 1198	Cálculo estructural en Madera
NCh 433	Diseño sísmico de edificios

B. REQUERIMIENTOS HIGROTÉRMICO Y DE HERMETICIDAD

Según el artículo 4.1.10. de la OGUC, todas las viviendas deberán cumplir con las exigencias de acondicionamiento térmico propias de los elementos constructivos dentro de una vivienda, ya sean techumbres, muros perimetrales o pisos ventilados. Junto a estos requerimientos también se encontrarán otros tipos de requerimientos dentro del mismo ámbito, como, por ejemplo, requerimiento para ventanas o paños vidriados. El objetivo principal que tiene la implementación de la normativa térmica en el país es mantener una buena calidad de vida dentro de una vivienda y un confort térmico.

Por otra parte, hay que tener claro las importantes metas que tiene hoy el mundo entero en cuanto a la disminución del consumo energético, ya que es significativa la cantidad de energía que se consume día a día en el país para climatizar todo tipo de edificios, casas, edificios públicos, museos, entre otros. Es por esto que las exigencias en cuanto a transmitancias térmicas han tomado especial relevancia.

A continuación, se presentan las normas que se deben tener en consideración con respecto a los requerimientos térmicos presentes en la OGUC.

Tabla 4: Normativa higrotérmica y de hermeticidad

NORMATIVA	TÍTULO DE LA NORMATIVA
NCh 850	Aislación térmica - Determinación de resistencia térmica en estado estacionario y propiedades relacionadas - Aparato de placa caliente de guarda.
NCh 853	Acondicionamiento térmico - Envolvente térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas.
NCh 851	Aislación térmica - Determinación de propiedades de transmisión térmica en estado estacionario y propiedades relacionadas - Cámara térmica calibrada y de guarda.
NCh 1973	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 2457	Prestaciones higrotérmicas de los productos y materiales para edificios - Determinación de las propiedades de transmisión de vapor de agua
NCh 1079	Arquitectura y construcción - Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico.

I. DEFINICIONES Y GENERALIDADES

La conductividad térmica es la cantidad de calor que en condiciones estacionarias pasa en la unidad de tiempo a través de la unidad de área de una muestra de material homogéneo de extensión infinita, de caras planas y paralelas, y de espesor unitario, cuando se establece una diferencia de temperatura unitaria entre sus caras. Se expresa en $W/(mK)$, y se determina experimentalmente según la norma NCh850 “Aislación térmica – Determinación de resistencia térmica en estado estacionario y propiedades relacionadas – Aparato de placa caliente de guarda”, o según la NCh851 conforme a las siguientes definiciones:

- La resistencia térmica total es la suma de las resistencias de cada capa del elemento.
- La resistencia térmica de un elemento o capa le confiere su capacidad de aislación.
- La resistencia térmica R de una capa de material según la NCh 853, artículo 4.6.1, para capa de caras planas y paralelas, de espesor e , conformada por un material homogéneo de conductividad térmica λ , la resistencia térmica, R , queda dada por:

$$R = e / \lambda \text{ (Se expresa en } m^2K/W \text{).}$$

De esta manera, la capacidad de aislamiento térmico que tendrá una solución constructiva se define como la cualidad para reducir el paso del calor de un recinto interior a un recinto exterior.

Se considera que son aislantes térmicos específicos aquellos que tienen una conductividad térmica $\lambda < 0,08 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, como por ejemplo la lana de vidrio, lana

mineral, poliestireno expandido, lana de fibra de celulosa, entre otros. Asimismo, mientras menor sea la conductividad térmica y mayor sea el espesor, mayor será la resistencia térmica, por ende, menor será la transmitancia térmica de la solución constructiva.

Otro concepto utilizado para catalogar el comportamiento térmico de una solución constructiva es su resistencia térmica, la que según lo dispuesto en el Art.4.6.2. OGUC, la resistencia térmica, RT (resistencia térmica total de un elemento compuesto) es el inverso de la transmitancia térmica del elemento. La resistencia térmica se define según la NCh853 artículo 4.6, como la oposición al paso del calor que presentan los elementos de construcción. $R_t = 1/U$, y se expresa en m^2K/W .

Las capas con espesor muy bajo (menos de 3 mm), no se consideran en el cálculo, ya que ofrecen muy poca resistencia térmica. Para medir esto, cada solución constructiva posee una transmitancia térmica U , que según la NCh 853 en su punto 4.7 la define como el flujo de calor que pasa por una unidad de superficie del elemento y por el grado de diferencia de temperaturas entre los dos ambientes separados por dicho elemento. Se expresa en $W/(m^2K)$.

Según lo anterior, la transmitancia térmica es una característica que no depende de un solo material, sino más bien de la combinación de distintos materiales en una solución constructiva. Por esta razón se la define mediante el análisis conjunto de los materiales y técnicas de instalación de estos en una solución constructiva específica, como se muestra a continuación.

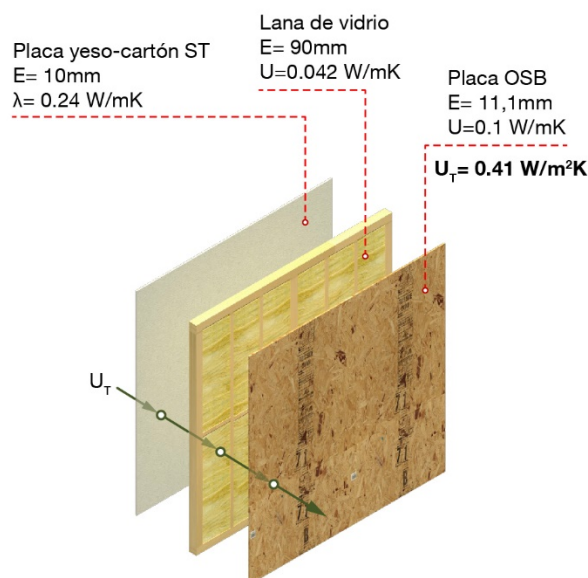


Figura 7: composición de elementos constructivos multicapa. Fuente: elaboración propia.

Con el fin de facilitar el entendimiento y la utilización de la correcta aislación térmica en las distintas zonas del país, la NCh 2251 “Aislación térmica. Requisitos de rotulación de materiales aislantes”, establece los requisitos de rotulación que deben cumplir los materiales aislantes térmicos, de cualquier origen o procedencia, que faciliten su identificación, inspección y uso adecuado.

La normativa define el R100 (factor de resistencia térmica) como la resistencia térmica que presenta un material o elemento de construcción, multiplicado por 100.

A diferencia de la resistencia térmica del material o elemento de construcción, se estima a través de NCh 853. En el caso de materiales homogéneos, se obtiene experimentalmente según NCh 850. El R100 depende del espesor y de la conductividad térmica del aislante λ .

Así se expresa en unidades del Sistema Internacional de Unidades.

$$R100 = \frac{e}{\lambda} \times 100 = R \times 100 [m^2K/W]$$

ii. ENSAYOS DE LA SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA

La NCh 851 es la norma que establece un método para realizar ensayos en laboratorio, primero se construye una probeta de la solución constructiva en función de las dimensiones especificadas por cada laboratorio. La medición se puede realizar mediante una cámara térmica de guarda, o mediante una cámara térmica calibrada. Ambas cámaras permiten reproducir condiciones específicas a los que se somete una solución constructiva en un escenario real.

Esto se logra por medio de dos fluidos, normalmente de aire atmosférico, con temperaturas específicas. En una de ella se simula un ambiente frío por medio de un sistema de refrigeración y en la otra un ambiente caliente por medio de resistencias eléctricas. Esto produce que el calor fluya a través de la probeta de una forma en específico, lo que permite determinar las propiedades térmicas de la solución constructiva.

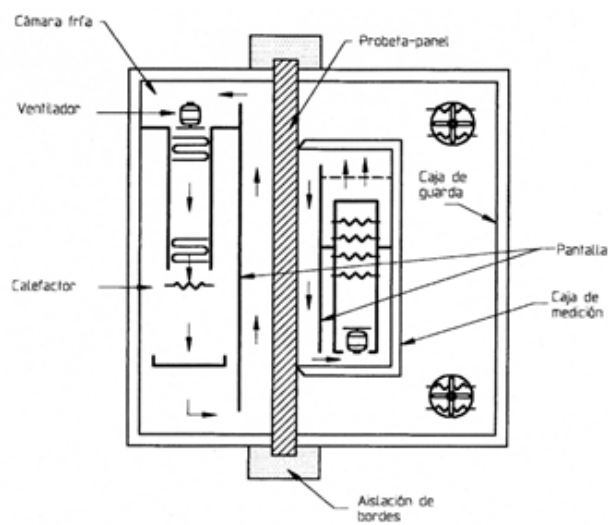


Figura 8: Esquema del método de ensayo de resistencia y transmitancia térmica de elementos constructivos.



Figura 9: Fotografía de ensayo en laboratorio para medir transmitancia térmica de un muro.

La NCh 853 es la norma que establece los procedimientos de cálculo para determinar las resistencias y transmitancias térmicas

de elementos constructivos, en específico los que se refieren a la envolvente de la edificación, tales como muros perimetrales, complejos de techumbres y pisos ventilados.

iii. APLICACIÓN DE NORMATIVA OGUC

La aplicación de cada una de las soluciones constructivas depende de la exigencia térmica solicitada en la zona donde se ubica el proyecto. La calidad térmica que posee una vivienda se basa especialmente en el comportamiento térmico de las soluciones constructivas utilizadas para separar los espacios interiores de la intemperie.

A continuación, se muestra la tabla presente en el Art. 4.1.10 de la OGUC, en el que se indica el requerimiento térmico específico para las soluciones constructivas que constituyen la envolvente (muros perimetrales, techumbres y pisos ventilados), esto de acuerdo con la zona térmica donde se ubique el proyecto.

Tabla 5: Exigencias de acondicionamiento térmico Art. 4.1.10 OGUC

ZONA	TECHUMBRE		MUROS		PISOS VENTILADOS	
	U W/M²K	RT M²K/W	U W/M²K	RT M²K/W	U W/M²K	RT M²K/W
1	0.84	1.19	4.00	0.25	3.60	0.28
2	0.60	1.67	3.00	0.33	0.87	1.15
3	0.47	2.13	1.90	0.53	0.70	1.43
4	0.38	2.63	1.70	0.59	0.60	1.67
5	0.33	3.03	1.60	0.63	0.50	2.00
6	0.28	3.57	1.10	0.91	0.39	2.56
7	0.25	4.00	0.60	1.67	0.32	3.13

La aplicación de soluciones constructivas con distintas características térmicas puede variar mucho debido a la cantidad de climas y microclimas que presenta el país. Por ejemplo, dentro de una misma región un proyecto podría estar ubicado en una zona térmica 1 o en una zona 7, dependiendo de la altitud que presente la zona térmica, como se muestra a continuación.



Figura 10: Zona térmica de ejemplo.
Fuente: Manual de la aplicación de la
reglamentación térmica⁷.

Para poder demostrar el cumplimiento de estas exigencias térmicas, la normativa menciona que existen cuatro alternativas para demostrar el cumplimiento de las exigencias térmicas mencionadas en el artículo 4.1.10, punto 1.b OGUC:

3. Incorporación de un material aislante en la solución, etiquetado con el R100.
 - Se establece que es posible especificar y colocar un material aislante térmico, incorporado o adosado, a las soluciones constructivas de: techumbre, muro perimetral, o piso ventilado cuyo R100 mínimo (R100 = factor de resistencia térmica), rotulado según la norma técnica NCh 2251, el cual debe corresponder a lo indicado en la tabla siguiente:

Tabla 6: Rotulado R100 según norma técnica NCh 2251

ZONA	TECHUMBRE R100	MUROS R100	PISOS VENTILADOS R100
1	94	23	23
2	141	23	98
3	188	40	126
4	235	46	150
5	282	50	183
6	329	78	239
7	276	154	295

⁷ Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2006). Aplicación Práctica Artículo 4.1.10. *Manual de Aplicación de La Reglamentación Térmica*, 11.

4. Mediante un certificado de ensayo otorgado por un laboratorio inscrito en registros oficiales del MINVU.

- Establece que, por medio de ensayos en laboratorio con inscripción vigente en el Registro Oficial de Laboratorios de Control Técnico de Calidad de la Construcción del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (reglamentado por el D.S. N° 10, (V. y U.), de 2002), puede otorgar un certificado que demuestre el cumplimiento de la transmitancia o resistencia térmica total de cualquier tipo de solución constructiva.

5. Mediante el cálculo de acuerdo con lo señalado en la norma NCh 853.

- Establece que, mediante el procedimiento de cálculo de la transmitancia térmica o resistencia térmica, descrito en la norma NCh853, se puede demostrar el cumplimiento de las exigencias térmicas. Esta norma entrega una serie de cálculos a aplicar en función del tipo de solución constructiva y valores generales de resistencias y de conductividad térmica (λ) de materiales (presentes en el anexo A de la NCh853). De esta manera, el especialista puede aplicar los valores de conductividad térmica definidos de acuerdo con los espesores (e) especificados en cada material presente en la solución constructiva que se ensaya. Dicho cálculo deberá ser efectuado por un profesional especialista en la materia.

6. Especificar una solución constructiva registrada en el Listado Oficial para acondicionamiento térmico del MINVU.

- Se refiere a soluciones constructivas que ya se encuentren certificadas con el requerimiento específico a cumplir. Estas soluciones constructivas se encuentran inscritas en el Listado Oficial de soluciones constructivas para acondicionamiento térmico confeccionado por el MINVU.

iv. PLANES DE DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA (PDA)

Ciertas comunas de Chile forman parte de un Plan de Descontaminación Atmosférica (PDA), por lo que requieren según el Artículo 4.1.10 Bis. de la OGUC, una mayor exigencia térmica que las establecidas a rasgos generales en el Artículo 4.1.10 de la OGUC. En estas comunas, las soluciones constructivas deberán responder a mayores exigencias de transmitancia térmica, hermeticidad, ventilación, riesgo de condensación y control de ganancias solares y aislación térmica de sobrecimientos, según lo señalado en el PDA que le corresponda.

El espesor de la aislación térmica presente en la solución constructiva será uno de los factores determinantes para mejorar el desempeño térmico en soluciones constructivas. Además de las consideraciones presentes en una solución constructiva, existen otros factores que también pueden afectar un buen comportamiento térmico en una edificación. Estos factores externos a la solución constructiva tienen que ver con las infiltraciones de aire presentes en la edificación.

Los conceptos señalados en los puntos anteriores son los requerimientos mínimos normativos que hoy rigen en Chile para el comportamiento térmico de las soluciones constructivas. A partir del año 2014 se

comenzaron a desarrollar requisitos específicos para ciertas ciudades del país que presentan elevados niveles de contaminación, los que son muy dañinos para la salud. Estos nuevos estándares térmicos para las soluciones constructivas se denominan Planes de descontaminación ambiental (PDA), los que se abordarán de manera breve a continuación.

Los Planes de Descontaminación Atmosférica (PDA) forman parte de la Estrategia de Descontaminación Atmosférica que comenzó el año 2014, impulsada por el Ministerio del Medio Ambiente (MMA). Los PDA son instrumentos de gestión ambiental que tienen como objetivo reducir los niveles de contaminación del aire, para proteger la salud de la población. De esta manera, su objetivo es recuperar los niveles señalados en las normas ambientales de calidad del aire de las zonas saturadas.

Específicamente para el caso de los PDA aplicados en ciudades al sur de Chile, como la principal fuente de contaminación ambiental es el uso de leña para calefacción, las estrategias se encuentran enfocadas en mejorar el estándar térmico de las viviendas y promover una calefacción con equipos energéticamente eficientes y que aporten a la sustentabilidad.

Estos planes aplicados a ciudades como Chillán, Temuco, Valdivia u Osorno consideran como eje fundamental el reacondicionamiento térmico de las viviendas, el que tiene por objetivo disminuir su requerimiento energético. A continuación, se muestra una síntesis de los requerimientos térmicos aplicados a la envolvente y soluciones constructivas de las viviendas en distintas ciudades del país que cuentan con un PDA.



Tabla 7: Comparación de requerimientos térmicos en distintas ciudades con PDA. Fuente: OGUC, reglamentación vigente

TRANSMITANCIA TÉRMICA U MÁXIMA, RESISTENCIA TÉRMICA RT MÍNIMA Y VALOR R100, REQUERIDOS PARA SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS EN MADERA										
EMPLAZAMIENTO		TECHUMBRE			MURO PERIMETRAL			PISO VENTILADO		
		U [W/M ² K]	RT [M ² K/ W]	R100 [M ² K/W]X100	U [W/M ² K]	RT [M ² K/ W]	R100 [M ² K/W]X100	U [W/M ² K]	RT [M ² K/W]	R100 [M ² K/W]X 100
ZONA TÉRMICA	1	0.84	1.19	94	4.0	0.25	23	3.60	0.28	23
	2	0.60	1.67	141	3.0	0.33	23	0.87	1.15	98
	3	0.47	2.13	188	1.9	0.53	40	0.70	1.43	126
	4	0.38	2.63	235	1.7	0.59	46	0.60	1.67	150
	5	0.33	3.03	282	1.6	0.63	50	0.50	2.00	183
	6	0.28	3.57	329	1.1	0.91	78	0.39	2.56	239
	7	0.25	4.00	376	0.6	1.67	154	0.32	3.13	295
PDA	TEMUCO Y PADRE LAS CASAS	0.28	3.57	357	0.45	2.22	222	0.50	2.00	200
	TALCA - MAULE	0.38	2.63	263	0.80	1.25	125	0.60	1.67	150
	CHILLÁN - CHILLÁN VIEJO	0.28	3.57	357	0.45	2.22	222	0.50	2.00	200
	OSORNO	0.28	3.57	357	0.40	2.50	250	0.39	2.56	256
	COYHAIQUE	0.25	4.00	400	0.35	2.86	286	0.32	3.13	313
	VALDIVIA	0.28	3.57	357	0.40	2.50	250	0.39	2.56	256
	LOS ÁNGELES	0.28	3.57	357	0.45	2.22	222	0.50	2.00	200
	VALLE CENTRAL PROVINCIA CURICÓ	0.38	2.63	263	0.80	1.25	125	0.60	1.67	167
	CONCEPCIÓN METROPOLITANO	0.33	3.03	303	0.60	1.67	167	0.60	1.67	167
	VALLE CENTRAL REGIÓN O'HIGGINS (Z3)	0.38	2.63	235	1.7	0.59	46	0.60	1.67	150
	VALLE CENTRAL REGIÓN O'HIGGINS (Z5)	0.28	3.57	329	1.1	0.91	78	0.39	2.56	239














INSTRUMENTO NORMATIVO	“OGUC ZONA TÉRMICA 5 OS-ORNO”	PLAN DE DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA DE OSORNO									
		ETAPA 1			ETAPA 2						
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
TIPO DE VIVIENDA QUE APLICA	TODAS	EXISTENTE			EXISTENTE + NUEVAS						
			NUEVAS								
	U	U			U						
	TECHO 0.33 MURO 1.60 PISO VENTI-LADO 0.50	TECHO 0.33 MURO 0.40 PISO VENTI-LADO 0.50	TECHO 0.28 MURO 0.40 PISO VENTILADO 0.39 VENTANA 3.60 PUERTAS 1.70								
Espesor del material aislante Poliestireno Expandido 10 Kg/ m3	120 mm 25 mm 80 mm	120 mm 100 mm 80 mm	150 mm 100 mm 110 mm								
		“Control de riesgo de condensación y calidad del aire al interior de la vivienda, a través de la implementación de las siguientes Normas Chilenas: NCh 1973 (condensación) / NCh 3308 - 3309 (ventilación)”									
		“Control de infiltraciones de aire no deseadas aumentando la hermeticidad de la vivienda en todos sus elementos: puertas, ventanas, ductos, encuentro de elementos. 5 ach a 50 Pa”									
					“Hermeticidad al paso del aire en puertas y ventanas 7 ach a 100 Pa”						
					“Control de ganancias solares y aislación térmica de sobrecie-mientos (MINVU trabaja en definición de criterios)”						

Figura 11: comparación de normativa térmica aplicada por PDAO. Fuente: modificado de www.pdao.cl

Por ejemplo, al analizar un proyecto en la comuna de Talca, región del Maule, zona térmica 4 según la OGUC, las soluciones constructivas empleadas en dicha edificación deberían cumplir con las exigencias de la zona 4. Específicamente, la transmitancia térmica de muros no podría superar $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$. Sin embargo, ya que la comuna de Talca se encuentra en una zona saturada que posee un plan de descontaminación atmosférica con un reacondicionamiento térmico de viviendas, las soluciones de muros deberán respetar otra exigencia: no superar los $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$.

v. CONDENSACIÓN SUPERFICIAL E INTERSTICIAL

El Ministerio de Vivienda y Urbanismo establece un estándar sustentable con respecto al requerimiento térmico a través del documento denominado “Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas” (ECSV). En él se muestran nuevas exigencias térmicas, y se introducen nuevas zonas térmicas y nuevos valores de transmitancia y resistencia térmica asociados.

Las zonas térmicas utilizadas en el Estándar están basadas en la NCh 1079.

Tabla 8: Estándar térmico basado en la NCh 1079. Fuente: Elaboración propia en base a NCh 1079

TRANSMITANCIA TÉRMICA U MÁXIMA, RESISTENCIA TÉRMICA RT MÍNIMA Y VALOR R100, REQUERIDOS PARA SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS EN MADERA											
EMPLAZAMIENTO			TECHUMBRE			MURO PERIMETRAL			PISO VENTILADO		
			U [W/m ² K]	Rt [m ² K/W]	R100 [m ² K/W] x100	U [W/m ² K]	Rt [m ² K/W]	R100 [m ² K/W] x100	U [W/m ² K]	Rt [m ² K/W]	R100 [m ² K/W] x100
ZONA TÉRMICA	A	Arica Antofagasta	0.84	1.19	119	2.10	0.48	48	3.60	0.28	28
	B	Ma. Elena Copiapó	0.47	2.13	213	0.80	1.25	125	0.70	1.43	143
	C	Coquimbo Valparaíso	0.47	2.13	213	0.80	1.25	125	0.87	1.15	115
	D	Santiago Talca	0.38	2.63	263	0.80	1.25	125	0.60	1.67	167
	E	Constitución Concepción	0.33	3.03	303	0.60	1.67	167	0.60	1.67	167
	F	Chillán Temuco	0.28	3.57	357	0.45	2.22	222	0.50	2.00	200
	G	Osorno Puerto Montt	0.28	3.57	357	0.40	2.50	250	0.39	2.56	256
	H	Putre Lonquimay	0.25	4.00	400	0.30	3.33	333	0.32	3.13	313
	I	Coyhaique Punta Arenas	0.25	4.00	400	0.35	2.86	286	0.32	3.13	313

Como parte de las mejoras que se le están haciendo, este estándar exige la eliminación del riesgo de condensación superficial e intersticial, pensado para las soluciones de techumbre, muros perimetrales y pisos ventilados. Todos estos son elementos que constituyen la envolvente térmica de las viviendas, según el procedimiento de la NCh 1973 “Comportamiento higrotérmico de elementos y componentes de construcción - Temperatura superficial interior para evitar la humedad superficial crítica y la condensación intersticial - Métodos de cálculo”, y a las condiciones de cálculo definidas por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

Para realizar un correcto diseño, se deben tener en cuenta los cinco diferentes tipos de humedad⁸ que pueden afectar a una vivienda:

- Humedad de lluvia: es provocada por agua del exterior y afecta principalmente a muros exteriores y techumbres. Esto se puede prevenir: diseñando una pendiente de cubierta adecuada según la zona, teniendo en cuenta el viento; hermetizar los bordes de los vanos; realizar un adecuado diseño de canaletas y bajos; verificar la correcta instalación de bota aguas en las ventanas; no usar revestimientos exteriores porosos; y, proteger del viento puertas y ventanas.
- Humedad del suelo: también es conocida como humedad por capilaridad, y corresponde a cuando la humedad del suelo es absorbida por la capilaridad de los materiales, se genera principalmente por errores en la impermeabilización bajo las

fundaciones. Algunas formas de prevención, son la realización de drenes, pozos absorbentes, juntas impermeables, barreras estancas, entre otras, las cuales pueden tener valores muy altos, por lo tanto, se recomienda: no construir en terrenos bajos y húmedos; realizar sondeos para determinar la altura del nivel freático y realizar un dren en caso de ser necesario; proteger las fundaciones con film o geotextiles impermeables; alejar bajadas de aguas lluvias de los cimientos; y, no hacer jardines cercanos a los cimientos.

- Humedad de construcción: este tipo de humedad es producida por el agua que se utiliza en el proceso constructivo y que no ha sido evaporada. Para prevenir efectos no deseados se debe secar de forma natural o artificial. La madera al ser una faena de construcción seca no está afectada a este tipo de humedad.
- Humedad accidental: este tipo de humedad es provocado por hechos o sucesos accidentales, tales como la rotura de cañerías, o el uso excesivo de agua para limpiar pisos u otras superficies. En general, para prevenirlo se recomienda realizar una correcta mantención a la vivienda.
- Humedad por condensación: esta se produce cuando el vapor de agua se enfría y transforma en agua líquida. Es decir, cuando la temperatura de un elemento es menor al punto de rocío del ambiente, en general se puede ver principalmente en invierno en superficies frías como cristales y metales. Se puede presentar como condensación superficial o como

⁸ CChC. (2012). Humedad por Condensación en Viviendas.

condensación intersticial, esta última se genera en el interior de las capas de un elemento perimetral. Las causas de esta humedad son principalmente, la baja temperatura sobre todo en las caras de orientación sur, la baja resistencia térmica y la alta humedad relativa debida a los comportamientos al interior de la vivienda (tales como secar ropa, hacer ejercicio, no ventilar, entre otros).

En general, la humedad en las viviendas genera diferentes patologías tales como eflorescencias, manchas, hongos, y otras, las que pueden generar problemas materiales en la vivienda y afectar directamente la salud de las personas que la habitan.

En cuanto a los requerimientos que tienen las soluciones constructivas respecto a cuidar la condensación y ventilación al interior de la vivienda, se establece que los muros deben considerar una barrera continua contra la humedad bajo su revestimiento exterior. En los casos en los que no existe revestimiento exterior, se deberá asegurar la impermeabilidad al agua y la permeabilidad al paso de vapor de la solución constructiva. El método que se adopte deberá ser impermeable al paso de agua lluvia y permitir que el vapor de agua interior pueda salir.

En caso de incorporar barreras de vapor para evitar el riesgo de condensación intersticial, se debe asegurar su continuidad y realizar la instalación bajo el revestimiento interior o sobre éste. Para cada caso particular, según la ubicación geográfica, diseño (sistema constructivo y grado de

ventilación) y uso de la vivienda (generación de vapor de agua y calor), se debe asegurar la eliminación del riesgo de condensación superficial e intersticial en los muros. Para llevar a cabo esto, es preciso realizar un análisis del riesgo de condensación, en base a la norma NCh 1973, los valores de permeabilidad al paso de vapor de los materiales, los que se deben respaldar con ensayos en base a la norma NCh 2457, y la conductividad térmica de los materiales y la solución constructiva, según la norma NCh 850 o la base de datos de la NCh 853.

Para la realización del cálculo simplificado del riesgo de condensación para las construcciones que conforman la envolvente térmica, el MINVU ha elaborado una planilla de cálculo en formato Excel, la cual está disponible en csustentable.minvu.gob.cl.⁹ Esta herramienta permite obtener la información necesaria para determinar el riesgo de condensación cuando la temperatura sea de 19°C y la humedad relativa del 80%. El MINVU dispone herramientas como esta para fomentar la construcción con estándares sustentables que favorezcan tanto al confort interior de la vivienda como al medio ambiente. Además, se plantea un compromiso a seguir trabajando en esta línea para generar soluciones constructivas de higrotermia.

Con respecto a la condensación intersticial, una barrera de humedad en estas soluciones constructivas se vuelve necesaria para esta ubicación geográfica debido a la elevada humedad relativa que se puede alcanzar durante gran parte del año, y a las bajas temperaturas características de la zona sur del país.

⁹ MINVU. (2018). *Estándares de construcción sustentable para viviendas de Chile Tomo I: Salud y bienestar*.

De esta forma, la incorporación de esta barrera pretende reducir los riesgos de condensación al interior de las soluciones constructivas. Es más, para la solución constructiva de muro se contempla una barrera de viento hidrófuga, que tiene como función eliminar el riesgo de ingreso de humedad desde el exterior a dicha solución constructiva. Para el caso de la techumbre, esta solución constructiva presenta una membrana asfáltica, la que evita el ingreso de agua, viento o humedad al interior de la vivienda. En este caso, no es necesario que sea una membrana permeable al vapor, ya que la solución de entretecho permite la ventilación de este, evitando condensaciones superficiales.

En relación con la condensación superficial, si la vivienda presenta una resistencia térmica elevada en su envolvente y se encuentra acompañada de un correcto sistema de ventilación, esto elimina todo riesgo de este tipo de condensación.

De todos modos, se recomienda (i) disminuir al máximo la producción de vapor de agua en el interior de la vivienda, el que se produce con la cocción de alimentos, lavado y secado de ropa, baño de las personas, riego de plantas y uso de sistemas de calefacción a llama abierta; (ii) extraer la humedad producida en el interior por medio de ventilación natural o forzada, esto permitirá mantener condiciones de confort térmico con un máximo de 75 % de humedad relativa interior, esta acción ayudará a evitar la aparición de hongos. La ventilación natural se realiza mediante la apertura de ventanas, esto para generar corrientes de aire o ventilación cruzada, mientras que la

ventilación forzada se realiza por medio de extractores de aire o ventiladores.

Por otro lado, se recomienda minimizar la cantidad de puentes térmicos de la vivienda, debido a que estos son considerados un riesgo de temperatura y humedad, favoreciendo la aparición de condensación superficial. Los tipos de puentes térmicos que se pueden encontrar son: (i) puentes térmicos geométricos: estos se asocian directamente al diseño geométrico de la vivienda, por lo tanto, la forma de evitarlos es reducir la cantidad de entrantes o salientes disminuyendo la complejidad del diseño (ii) puentes térmicos constructivos: estos son donde hay un cambio de material o se interrumpe la capa de aislación. Este tipo de puentes térmicos se puede evitar con un correcto diseño de la solución constructiva. (iii) puentes térmicos combinados: estos son cuando las características de los dos tipos anteriores se unen, lo que sucede en ciertas ocasiones y se puede evitar con el diseño de la arquitectura de la vivienda y de la solución constructiva.

vi. SELLOS Y BARRERAS

En paralelo con la eficiencia energética, la sustentabilidad y calidad de vida interior en las viviendas, también se están desarrollando estándares de hermeticidad de aire y clases de infiltración. El propósito de estos avances es reducir a límites aceptables el impacto de las infiltraciones de aire en la demanda y consumo energético. Para llevar a cabo esto, se presentan a continuación algunas recomendaciones de diseño basadas en lo expuesto en el Manual de Hermeticidad al aire de Edificaciones¹⁰.

¹⁰ CitecUBB, & Decon UC. (2014). *Manual de Hermeticidad al aire de Edificaciones*.

Primero se definen las infiltraciones de aire, como el paso de aire sin control a través de grietas ocultas y aberturas no previstas en la envolvente. Estas generan cargas térmicas, de frío o calor según la temporada, que influyen en el desempeño energético del edificio y, además sirven de transporte de ruidos y contaminantes atmosféricos que afectan el confort ambiental. Existen tres tipos de infiltraciones: (i) producidas por el viento, (ii) producidas por el efecto de diferencia de temperatura y (iii) infiltración o exfiltración producida por sistemas mecánicos de ventilación.

Esto se puede deber a:

- Ventanas o puertas poco estancas.
- Rendijas alrededor de las ventanas.
- Vías a través de espacios en el pavimento/cielo hacia el interior del muro y luego hacia el exterior.
- Rendijas en la unión cielo-muro a la altura del alero.
- Perforaciones a través del cielo para el paso de instalaciones.
- Ductos de ventilación que atraviesan el cielo y/o techumbre.
- Aireador inserto en el muro o extractor en baños.
- Rendijas alrededor de las instalaciones de alcantarillado en baños.
- Rendijas alrededor de la unión muro-pavimento.
- Espacios en y alrededor de instalaciones eléctricas.

Para medir la hermeticidad de un edificio, se utilizan distintos indicadores a nivel mundial, los que miden y expresan el flujo de aire que pasa a través de la envolvente. El test normalizado se explica en la norma NCh 3295, y se conoce normalmente como test del Blower Door. En Chile, se espera mejorar los estándares en base al indicador n50 que corresponde a la cantidad de cambios de aire por hora en un diferencial de 50 pascales. El n50 expresa el número de veces que se renueva el aire contenido al interior de un edificio durante una hora.

Para conseguir una mayor hermeticidad se deben verificar los sellos y barreras, principalmente en ventanas, puertas, instalaciones y uniones entre materiales. Para determinar la importancia de las singularidades y puntos críticos de infiltración en una vivienda, la Universidad del Bío-Bío realizó una investigación que entrega algunos indicadores basados en la norma NCh 892 y la norma UNE-EN 1026, esto permite conocer los coeficientes de infiltración por unidad de superficie expuesta ($\text{m}^3/\text{h m}$).

ITEM	SINGULARIDAD O ELEMENTO	UNIDAD	PERMEABILIDAD	
			100 Pa	50 Pa
1	Ventana corredera aluminio 2 hojas móviles	m ³ /h m ²	24.05	15.15
	Instalación topes estancos de goma en ventanas de aluminio	m ³ /h m ²	16.45	10.36
2	Ventana corredera aluminio 2 hojas móviles	m ³ /h m ²	24.05	15.15
	Instalación deflectores de plástico con aletas en ventana aluminio	m ³ /h m ²	23.55	14.84
3	Ventana corredera aluminio 2 hojas móviles	m ³ /h m ²	24.05	15.15
	Instalación de felpa por todo el contorno	m ³ /h m ²	13.53	8.52
4	Ventanas corredera PVC 2 hojas móviles	m ³ /h m ²	19.35	12.19
	Instalación topes estancos de goma en ventanas de PVC	m ³ /h m ²	17.78	11.20
5	Ventanas corredera PVC 2 hojas móviles	m ³ /h m ²	19.35	12.19
	Instalación deflectores de plástico con aletas en ventana PVC	m ³ /h m ²	19.08	12.02
6	Puerta madera sólida con cerradura y espacio inferior 5mm	m ³ /h m ²	250.80	158.00
	Colocación de burletes de caucho en perímetro y parte inferior de la puerta	m ³ /h m ²	0.80	0.50
7	Encuentro muro albañilería con cielo estructura madera	m ³ /h m ²	32.75	20.57
	Aplicación de cinta espuma + cinta adhesiva + silicona + cornisa de madera	m ³ /h m ²	0.04	0.03
8	Encuentro muro de madera sobre marco de madera	m ³ /h m ²	5.08	3.20
	Aplicación cordón sellante plástico en encuentro	m ³ /h m ²	0.04	0.03
9	Encuentro esquina de muros madera	m ³ /h m ²	4.91	3.09
	Aplicación cordón sellante plástico en encuentro	m ³ /h m ²	0.25	0.16
10	Encuentro muro de madera con fundación	m ³ /h m ²	2.28	1.44
	Aplicación cordón sellante plástico en encuentro	m ³ /h m ²	0.04	0.03
11	Encuentro entepiso de madera con muro de madera	m ³ /h m ²	1.60	1.01
	Aplicación cordón sellante plástico en encuentro	m ³ /h m ²	0.07	0.04
12	Encuentro sobremarco madera-marco madera-ventana	m ³ /h m ²	0.38	0.24
	Aplicación cordón sellante plástico en encuentro	m ³ /h m ²	0.03	0.02
13	Muro de madera, tinglado madera exterior y traslapes madera interior	m ³ /h m ²	7.11	4.50
	Colocación membrana de polietileno a muro de madera	m ³ /h m ²	2.94	1.85
14	Muro de madera, tinglado madera exterior y traslapes madera interior	m ³ /h m ²	7.11	4.50
	Colocación fieltro asfáltico a muro de madera	m ³ /h m ²	3.13	1.97
15	Muro de madera, tinglado madera exterior y traslapes madera interior	m ³ /h m ²	7.11	4.50
	Colocación membrana Tyvek a muro de madera	m ³ /h m ²	3.63	2.29
16	Muro de madera, tinglado madera exterior y traslapes madera interior	m ³ /h m ²	7.11	4.50
	Cambio de revestimiento exterior por Smart panel 11,1 mm	m ³ /h m ²	2.43	1.53
17	Muro de madera, tinglado madera exterior y traslapes madera interior	m ³ /h m ²	7.11	4.50
	Cambio de revestimiento interior por yeso cartón 10 mm	m ³ /h m ²	2.95	1.86
18	Muro de madera con punto de pasada de agua potable	m ³ /h m ²	1.63	1.03
	Aplicación de sello de silicona neutra por el contorno de la tubería	m ³ /h m ²	0.23	0.14
19	Muro madera por punto de pasada de instalación de gas	m ³ /h m ²	1.28	0.81
	Aplicación de sello de silicona neutra por el contorno de la tubería	m ³ /h m ²	0.02	0.01
20	Muro de madera por punto eléctrico (módulo mixto interruptor-enchufe)	m ³ /h m ²	5.22	3.29
	Sello de espuma de poliuretano, SIKA Boom por el contorno de la tubería	m ³ /h m ²	0.25	0.16

Figura 12: Permeabilidad al aire de elementos constructivos y singularidades. Fuente: (CitecUBB & Decon UC, 2014).

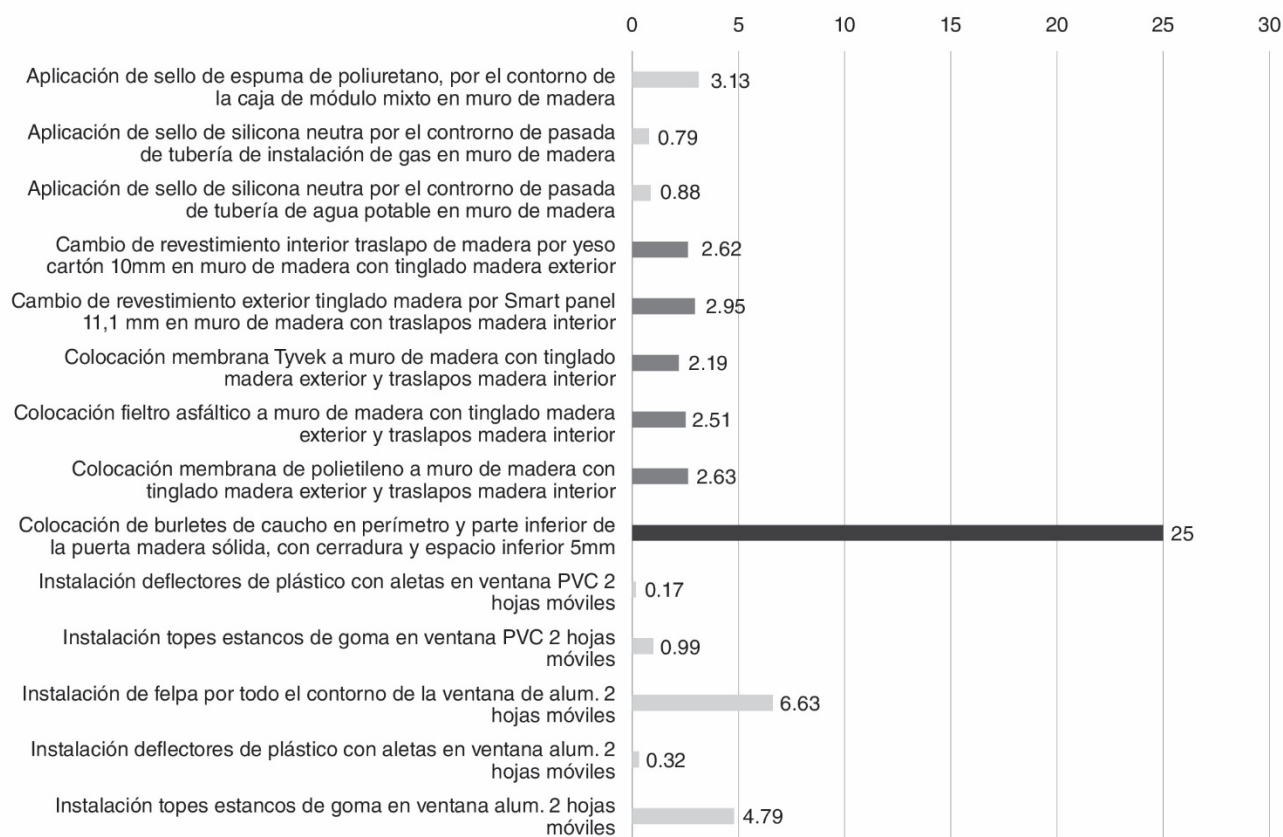


Figura 13: Reducción de la permeabilidad del aire mediante la aplicación de técnicas de sellado por unidad de superficie.

Como muestra la figura anterior, la colocación de diferentes técnicas de sellado tiene mayor incidencia en la reducción de infiltraciones cuando son aplicadas sobre puertas. No obstante, el impacto de cada uno de los sellos depende de la superficie total afectada de muro, puertas y ventanas de la envolvente.

Para la colocación de sellos se deben considerar los siguientes aspectos:

- Preparación del sustrato
- Método de aplicación
- Resistencia a temperaturas
- Adherencia
- Emisión de contaminantes volátiles
- Tiempos de secado
- Color y posibilidad de pintado
- Tamaño de junta o sello
- Resistencia al movimiento

- Resistencia a la humedad
- Requerimiento de imprimantes
- Resistencia a rayos UV
- Costo

Luego se debe seleccionar el tipo de sello a utilizar según el uso y disposición que se requiera, algunos tipos de sellos son: (i) sello por adhesión, (ii) sello de relleno, (iii) sello laminar, (iv) sello de juntas para ventanas y puertas, y (v) sellos multipropósitos.

En cuanto a las barreras, las más utilizadas en sistemas constructivos de madera marco plataforma, son las barreras de vapor, en las que por lo general se aplica papel kraft o similar por dentro de la solución. También se utilizan barreras de viento las que se ubican en capas exteriores de la solución constructiva. Se debe tener especial

cuidado en la etapa de construcción y colocación de estas barreras respetando las recomendaciones del fabricante, sobre todo para métodos de unión y anchos de los traslapes.

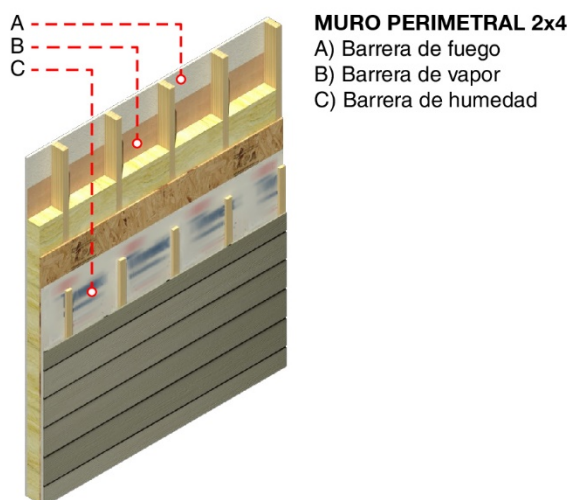


Figura 14: Barreras

vii. ¿CÓMO LOGRAR UN BUEN DESEMPEÑO TÉRMICO?

Como se mencionó anteriormente, cada material utilizado en la construcción tiene

una resistencia térmica determinada, en algunos casos existen notorias diferencias. En efecto, los materiales que presentan un menor índice de conductividad térmica son los que se utilizan comúnmente como aislantes térmicos, puesto que los pequeños espesores de estos materiales logran conseguir altos niveles de comportamiento térmico en una solución constructiva. A continuación, se presenta una serie de consideraciones respecto al desempeño térmico:

1. Incorporación de materiales considerados como aislantes.
2. Aumento de la densidad en materiales aislantes.
3. Aumento del grosor del material aislante.
4. Incorporación de cámaras de aire dentro de la solución constructiva.
5. Incorporación de barreras de viento, humedad y vapor.
6. Minimizar la cantidad de puentes térmicos.
7. Sellos y barreras.

C. REQUERIMIENTOS FRENTE AL FUEGO

La normativa que refiere a la resistencia al fuego la encontraremos en la OGUC en el capítulo 3, de las condiciones de seguridad contra incendio y en el título 4, de la arquitectura. Aquí se encuentran los parámetros que debe cumplir cada solución constructiva dependiendo del elemento constructivo que corresponda, ya sean: muros, losas, techos, tabiques, entre otros.

El objetivo principal de este requerimiento normativo es lograr una correcta evacuación de las personas que se encuentren al interior de una edificación al

momento de incendio, lo que significa que los elementos constructivos deben resistir un determinado tiempo dependiendo del uso de la edificación, y el tipo y cantidad de pisos que tenga la construcción. De esta manera, se puede retardar la propagación del fuego por el resto del edificio de forma natural, es decir, sin medios externos a la solución constructiva.

Según lo mencionado en el Artículo 4.3.1. de la OGUC, se estipula que toda edificación deberá cumplir con las normas mínimas de seguridad contra incendio

contenidas en el capítulo de la OGUC (de las condiciones de seguridad contra incendio), de acuerdo con el destino que se le dará al edificio.

Para lograr los objetivos señalados anteriormente, existen dos métodos de protección para las edificaciones (artículo 4.3.1. de la OGUC):

- Protección activa
- Protección pasiva

La protección activa consiste en la utilización de sistemas o dispositivos que logren ayudar a detectar o combatir un

incendio, por ejemplo: el uso de sensores de detección de humo, extintores o aspersores de agua.

La protección pasiva es la que tiene relación con las capacidades que tienen las soluciones constructivas para contener la acción del fuego. Ya sea por medio de sus condiciones físicas, materiales, o de configuración, las cuales le otorgarán una resistencia determinada en minutos. En otras palabras, este tipo de protección es la que entrega solamente la solución constructiva en su estado íntegro frente a un incendio, por lo que es pertinente indagar en ella como se detalla a continuación.

Tabla 9: Normativa para la reglamentación frente al fuego

NORMATIVA	TÍTULO DE LA NORMATIVA
NCh935	Prevención de incendio en edificios - Ensayo de resistencia al fuego

I. DEFINICIONES Y GENERALIDADES

La Resistencia al Fuego se define según el artículo 4.1 de la NCh 935/1, como: “La cualidad de un elemento de construcción de soportar las condiciones de un incendio estándar, sin deterioro importante de su capacidad funcional”.

Para medir la capacidad de la solución constructiva para resistir al fuego en un incendio, es necesario determinar el tiempo que efectivamente soportará cada configuración específica de materiales ante la acción del fuego.

Las reglamentaciones específicas por edificación se encuentran en los artículos 4.3.3 a 4.3.5 de la OGUC. La unidad de medida se expresa en F – X, donde X es la cantidad de minutos que la estructura puede estar expuesta al fuego sin sufrir colapso,

este indicador es clave para el salvamento de los ocupantes de la edificación.

ii. ENSAYOS DE LA SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA

Para determinar la resistencia al fuego de una solución constructiva, es necesario realizar un ensayo basado en la Norma NCh 935/1 - Ensayo de resistencia al fuego - Parte 1: Elementos de construcción general.

Para realizar el ensayo, se construye una probeta de la solución constructiva en función de las dimensiones especificadas por cada laboratorio. Según la solución constructiva que se pretende probar, se debe determinar si el ensayo se realizará en un horno horizontal o vertical. Posteriormente se iniciará un incendio simulado dentro del horno, el que debe ir en dirección al lado de la cara expuesta al fuego.

En el caso de soluciones constructivas de separación que posean una cara expuesta al fuego por ambos lados, tal como muros divisorios y muros interiores, se precisa en el artículo 8.6.2 de la NCh935/1, que las soluciones constructivas deberán

ensayarse hacia el lado que representa, a criterio del técnico del ensayo, una menor resistencia al fuego. En el caso que existan dudas, se sugiere ensayar dos veces, una por cada lado.



Figura 15: Laboratorio IDIEM. Ensayo de probetas de soluciones constructivas de horno horizontal y vertical.

De esta forma, de acuerdo con el tiempo logrado en el ensayo de resistencia al fuego, se deberán clasificar las soluciones. Como ejemplo, una solución constructiva que obtiene como resultado de resistencia al fuego en minutos, 42 minutos, obtiene una clasificación F30. constructivas según la tabla del anexo A de la norma NCh935/1. Esta clasificación se encuentra mencionada tanto en los informes de ensayo como de asimilación, y representa el desempeño de la solución en términos de resistencia al fuego.

ANEXO A	
Clase	Duración
F - 0	$\geq 0 < 15$
F - 15	$\geq 15 < 30$
F - 30	$\geq 30 < 60$
F - 60	$\geq 60 < 90$
F - 90	$\geq 90 < 120$
F - 120	$\geq 120 < 150$
F - 150	$\geq 150 < 180$
F - 180	$\geq 180 < 240$
F - 240	≥ 240

Figura 16: Anexo A de la NCh935/1, clasificación de resistencia frente al fuego.

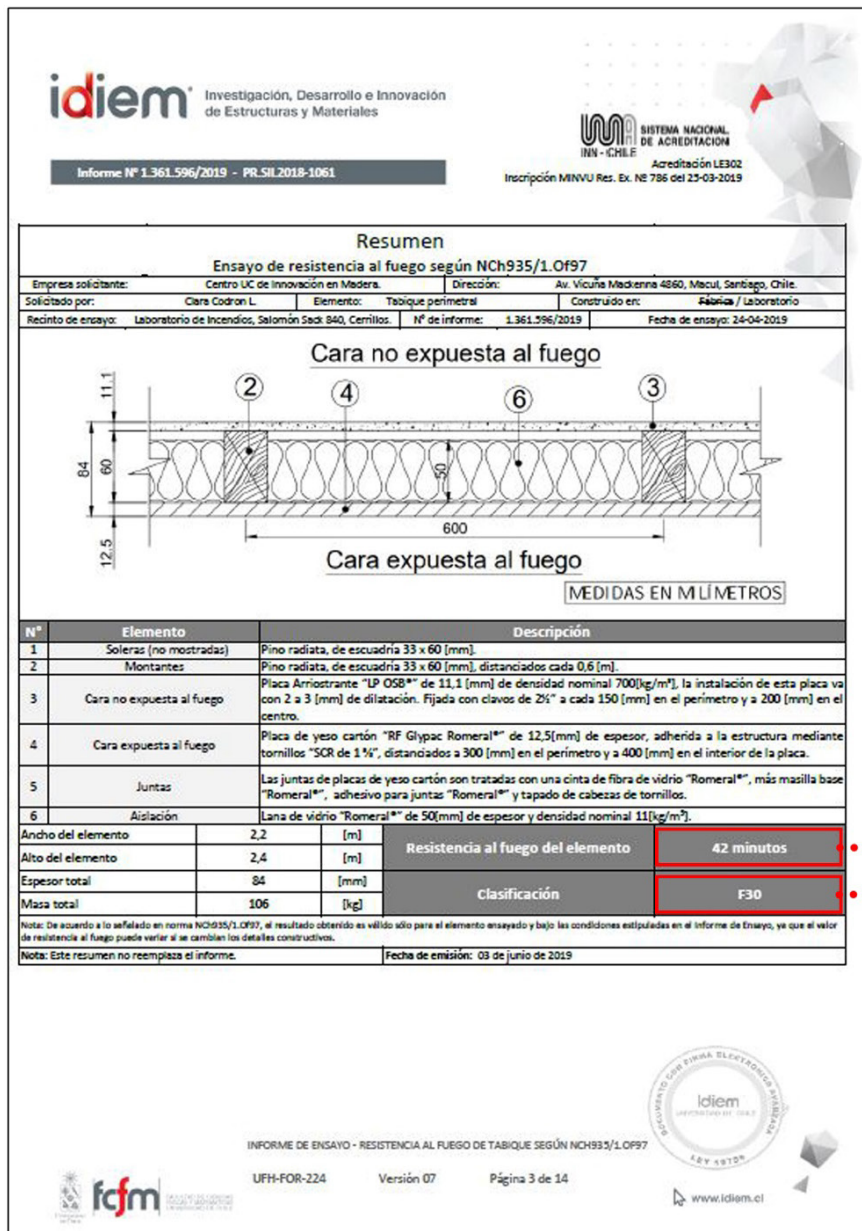


Figura 17: Resistencia al fuego y clasificación: ejemplo de informe de fuego del laboratorio IDIEM.

iii. APLICACIÓN NORMATIVA OGUC

Para conocer cuál es la resistencia al fuego que se requiere para cada solución constructiva, es necesario en primera instancia, referirse a la tabla 1 del artículo 4.3.4 de la OGUC y encontrar el destino correspondiente al uso que tendrá el edificio. En este caso, las viviendas se encuentran en la categoría habitacional. El siguiente paso es identificar la cantidad de pisos que tendrá el edificio; teniendo claro

estos datos, la tabla indicará la clasificación del edificio respecto a la resistencia al fuego y los parámetros que debe cumplir. Siendo el tipo "a" el más restrictivo, y el tipo "d" el menos restrictivo.

- 1 y 2 pisos = d
- 3 y 4 pisos = c
- 5 pisos = b
- 6 pisos = a

Teniendo en conocimiento la clasificación del edificio de acuerdo los criterios establecidos, es necesario referirse a la tabla del artículo 4.3.3, donde se indican las resistencias al fuego que se requieren para cada solución constructiva y elementos de la construcción de edificios. En dicha tabla se observa el cruce entre la clasificación de resistencia al fuego de la NCh 935/1 y la clasificación del artículo anterior 4.3.4.

Cabe señalar que existe una excepción para edificaciones bajo los 140 m², donde según el punto 14 del artículo 4.3.5, las viviendas aisladas, pareadas o continuas,

de hasta 2 pisos, cuya superficie edificada sea inferior o igual a 140 m², deben tener una resistencia al fuego a lo menos F-15 en todos sus elementos soportantes o soluciones constructivas estructurales, salvo el muro divisorio entre unidades, el que deberá cumplir con las exigencias establecidas en la columna asignada con el número 4 de la tabla del artículo 4.3.3.

En resumen, si se aplican las exigencias de la OGUC a los casos de estudio, las resistencias al fuego requeridas para cada una de las soluciones constructivas son las siguientes:

ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN									
TIPO	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
a	F-180	F-120	F-120	F-120	F-120	F-30	F-60	F-120	F-60
b	F-150	F-120	F-90	F-90	F-90	F-15	F-30	F-90	F-60
c	F-120	F-90	F-60	F-60	F-60	-	F-15	F-60	F-30
d	F-120	F-60	F-60	F-60	F-30	-	-	F-30	F-15

Figura 18: resistencia al fuego requerida para los elementos de construcción de edificios. Fuente: Artículo 433, de la arquitectura, OGUC.

En la tabla del artículo 4.3.3, podemos destacar dentro de la simbología mencionada, las soluciones constructivas siguientes:

- (1) Muros cortafuego
- (2) Muros zona vertical de seguridad y caja de escalera
- (3) Muros caja ascensores
- (4) Muros divisorios entre unidades (hasta la cubierta)
- (5) Elementos soportantes verticales
- (6) Muros no soportantes y tabiques
- (7) Escaleras
- (8) Elementos soportantes horizontales
- (9) Techumbre incluido cielo falso

Es importante señalar que cuando una solución constructiva debe cumplir con varias resistencias al fuego a la vez, dicha solución siempre deberá cumplir con la resistencia más exigente.

Para demostrar el cumplimiento del requerimiento de resistencia al fuego, la OGUC establece tres opciones en el artículo 4.3.2, los cuales son:

- Informe de ensayo de resistencia al fuego correspondiente de las soluciones constructivas utilizadas en la construcción. Estos ensayos basados en la NCh 935/1 deberán ser emitidos por alguna Institución Oficial de Control Técnico de Calidad de los Materiales y Elementos Industriales para la Construcción.
- La existencia de la solución constructiva en el Listado Oficial de Comportamiento al fuego, creado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, en el cual se registra mediante valores representativos y cuyas cualidades frente a la acción del fuego de las soluciones constructivas se utilizan en la construcción.
- Certificación de asimilación de un profesional especialista, en el que se asimila la solución constructiva propuesta en concordancia con alguno de los tipos indicados en la tabla del artículo 4.3.3. de la OGUC.

iv. ¿CÓMO LOGRAR UN BUEN DESEMPEÑO DE RESISTENCIA AL FUEGO?

En cuanto a la mejora del desempeño respecto a la resistencia al fuego de una solución constructiva, la madera posee una cualidad intrínseca que corresponde a lo siguiente: mientras más masiva sea la

pieza, esta debe presentar un mejor comportamiento frente al fuego. Esto se explica por su baja conductividad térmica y su capacidad de generar una capa de carbonización superficial que le permite mantener sus propiedades físicas y mecánicas por mayor tiempo.

Esta cualidad es una gran ventaja que presenta la madera, pues existen otras materialidades que fluyen o se fracturan en un menor tiempo. Esto se debe a que la capa superficial protectora de carbón actúa como aislante de la madera, y por tanto prohíbe la entrada del calor y oxígeno en las capas interiores, impidiendo así la combustión.

Al analizar específicamente una solución constructiva del sistema de marco plataforma, esta cualidad no es muy significativa ya que, al utilizar pequeñas secciones de madera en este sistema constructivo, es necesario emplear otras soluciones para lograr la resistencia al fuego. Por ejemplo, se deben utilizar métodos de protección de sus piezas estructurales con materiales incombustibles como las placas de yeso-cartón, fibrocemento o fibrosilicato. La resistencia al fuego es una característica de una solución constructiva, y no solo de un material aislado como puede ser una plancha de madera, una plancha de fibrocemento u otro material, pues el conjunto de capas contribuye y constituyen la resistencia al fuego final de dicha solución.

Al respecto, es necesario repasar las principales consideraciones para mejorar la resistencia al fuego de una solución constructiva:

1. Baja conductividad de los materiales (λ): la conductividad térmica de un material es su capacidad de transmisión

de calor, por lo tanto, a menor conductividad térmica, mayor resistencia al fuego. Las capas de materiales con baja conductividad térmica se utilizan en el lado de mayor probabilidad de incendio.

2. Mayor espesor de las capas (e): a mayor espesor, mayor resistencia al fuego de la capa, y por consiguiente de la solución.
3. Mayor cantidad de capas: la cantidad de planchas aplicadas a cada lado de la estructura irá en directa relación con la resistencia al fuego que se desee obtener. A mayor cantidad, mayor resistencia.
4. Mayor espesor o presencia de la masa de madera: la presencia de mayor masa de madera en el núcleo permite una mayor resistencia al fuego. Lo que también implica que a menor distanciamiento entre las piezas de madera se produzca una mayor resistencia al fuego.
5. Presencia de cavidad de aire: una solución constructiva con presencia de cavidad de aire tiene mayor resistencia al fuego, pero para que sea eficaz esta cavidad de aire, debe quedar lo más alejada posible de la cara expuesta al fuego, de esta manera generará un efecto aislante.
6. Presencia de revestimientos de protección contra el fuego: se trata del uso de materiales incombustibles, que por sus propiedades fisicoquímicas presentan adecuadas propiedades para retardar la acción de las llamas y evitar que se vea afectada en forma inmediata la estructura resistente de la vivienda. Dichos materiales de protección

presentan mayor resistencia al fuego que otros materiales.

7. Los materiales de protección utilizados son generalmente: el yeso cartón, fibrocemento y fibrosilicato, entre otros. Estas planchas otorgan la cualidad de proteger la estructura soportante contra el fuego, generalmente son elementos ubicados en la cara expuesta al fuego que van hacia el interior de la edificación, siendo o no, al mismo tiempo, la terminación del muro.

Las familias de los materiales de protección ofrecen una variedad de configuraciones para la conformación de soluciones constructivas resistentes al fuego, desde F15 hasta F180. Por ejemplo, el yeso cartón. La estructura química del yeso contiene alrededor de un 20% de agua, y cuando se genera un incendio, el calor produce deshidratación progresiva del núcleo de yeso, evaporando el agua contenida en su composición molecular. De esta manera, la plancha de yeso cartón retarda la propagación del fuego, ya que el calor se ocupa tanto de calentar el panel como de evaporar agua¹¹. La diferencia en los tipos de yeso cartón ST, RF, ER, ER(H), entre otros, se refiere a los aditivos agregados a su composición química.

Otro punto importante para obtener un mejor comportamiento frente al fuego es la correcta instalación de los revestimientos de protección, la que tiene como objetivo evitar el paso del fuego hacia el lado expuesto mediante filtraciones producidas por las uniones. Esto implica:

1. Un correcto sello de juntas.
2. Una correcta colocación de la aislación.
3. Una correcta instalación de fijaciones.

¹¹ Chapple, P (2010) Sistemas constructivos y su resistencia al fuego. Altas temperaturas. pp.40-43 Revista BIT, n.71

4. Un traslape de planchas de ser necesario.

En el mismo eje, la División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional se encuentra desarrollando un Manual de Diseño para la Seguridad Contra Incendios de las Edificaciones, que tiene como objetivo entregar estándares para la elaboración de proyectos, basado en el desarrollo de una estrategia para la evacuación de los ocupantes, orientada al destino y la tipología constructiva.

Siguiendo con lo anterior, es necesario revisar algunas buenas prácticas relacionadas con la importancia de realizar un correcto diseño y análisis de las edificaciones en base a:

- Tratamientos de junta de las uniones y encuentros entre soluciones constructivas.
- Separar las unidades de vivienda, por ejemplo, con elementos estructurales continuos, no compartir los entrepisos,

no proyectar instalaciones en los muros medianeros, sellar los shaft, entre otras.

Para determinar la resistencia al fuego de una solución constructiva, se recomienda la realización de un estudio de asimilación, cuya norma está en proceso de redacción y corresponde a la NCh 3657 Prevención de incendios en edificios - Ensayo de resistencia al fuego - Estimación de la resistencia al fuego de sistemas constructivos mediante método analítico de adición de capas. Este método permitirá calcular de forma analítica la resistencia hasta el F-60, es decir, hasta viviendas de 4 pisos.

Por último, dentro de las proyecciones de cómo abordar el tema de la resistencia al fuego en las edificaciones, se están realizando estudios de reacción frente al fuego, evaluando criterios de: humos, carbonización, gotas y combustibilidad. La madera en este caso se carboniza, y a la vez libera emisiones producto de la combustión, por lo tanto, también se deberán tener en cuenta tratamientos de preservación amigables con el medio ambiente y que no afecten la salud de los ocupantes.

D. REQUERIMIENTO ACÚSTICO

El ruido puede llegar a ser muy nocivo para la salud humana y puede causar diversos cambios en las personas tales como estrés, insomnios, falta de concentración e irritabilidad, entre otros.

Al interior de las edificaciones se pueden distinguir ruidos de distinto tipo según los espacios donde se transmite. Por ejemplo, se puede diferenciar el ruido proveniente del exterior que ingresa a través de la fachada, como es el sonido asociado a medios de transporte, actividades productivas, etc. También se puede distinguir el ruido provocado por otras

edificaciones o unidades que comparten un elemento divisorio en común, como lo que ocurre entre un local comercial ubicado en el primer piso de un edificio y los departamentos ubicados inmediatamente por encima de éste. Asimismo, se pueden percibir los ruidos transmitidos entre particiones interiores de una misma unidad, como es el caso del ruido transmitido entre un cubículo de consulta médica y la sala de espera, o entre dos dormitorios contiguos de un mismo departamento.

A diferencia de la normativa anterior de fuego, el requerimiento acústico tiene una

aplicación específica a edificaciones de uso habitacional, como mencionamos anteriormente. Estas deberán cumplir con el comportamiento acústico determinado por la OGUC en aquellos elementos constructivos que separen o dividan unidades de viviendas, ya sean elementos constructivos que estén contiguos a otros

recintos habitacionales o no, según se estipula en el Artículo 4.1.6. de la OGUC.

A continuación, se presentan las normas relevantes que debemos tener en consideración con respecto a los requerimientos acústicos.

Tabla 10: Normas relevantes para requerimientos acústicos

Norma	Título de la normativa
ISO 140-7	Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 7: Field measurement of impact sound insulation of floors
ISO 140-6	Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 6: Laboratory measurements of impact sound insulation of floors
ISO 717-2	Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements -Part 2: Impact sound insulation
NCH 2785.Of2003	Acústica – Medición en terreno de la aislación acústica construcciones y elementos de construcción -: Medición en terreno de la aislación acústica aérea entre recintos.
NCh 2786.Of2003	Acústica - Medición de aislación acústica en construcciones y elementos de construcción - Mediciones en laboratorio de la aislación acústica aérea de elementos de construcción
ISO 717-1	Acoustics-Rating of sound insulation in buildings and of building elements-Part 1: Airborne sound insulation
NCh 3464	Acústica - Niveles sonoros y tiempos de reverberación de diseño recomendados para interiores de edificios
NCh-ISO 10140 partes 1 a 5	Acústica – Medición en laboratorio de la aislación acústica de elementos de construcción
NCh-ISO 16283 partes 1 a 3	Acústica – Medición en terreno de la aislación acústica en construcciones y de elementos de construcción
NCh352/1. Of2000	Aislación acústica – Parte 1: Construcciones de uso habitacional – Requisitos mínimos y ensayos
NCh352.Of1961	Condiciones acústicas que deben cumplir los edificios
NCh3307 partes 1 a 3	Acústica de edificios – Estimación del comportamiento acústico de los edificios a partir del comportamiento de los elementos

I. DEFINICIONES, GENERALIDADES Y APLICACIÓN DE LA NORMA

Sonido y ruido:

El sonido es cualquier variación de la presión en el aire que pueda ser detectada por el oído humano. Las ondas sonoras se propagan hacia todas las direcciones, y al llegar a nuestros oídos, estas se transmiten directamente al cerebro. Las ondas sonoras son recepcionadas y decodificadas a nivel cerebral como información (música, voz, golpes, estruendos, etc.). De esta manera, cuando los sonidos son identificados como molestos se denominan ruidos.

El sonido se expresa en Decibeles (dB), unidad adimensional utilizada para expresar el logaritmo de la razón entre una cantidad medida y una cantidad de referencia, y se utiliza para describir niveles de presión, potencia o intensidad sonora. Debido al complejo funcionamiento del oído, las personas percibimos de manera distinta el

sonido según su nivel de intensidad y la frecuencia de este, razón por la cual existen escalas de ponderación para el decibel, siendo la más usada la ponderación A. Los decibeles con esta ponderación se escriben como dB(A) o dBA.

Existen dos tipos de ruidos que están sujetos a exigencias de la OGUC.

RUIDO AÉREO:

El ruido aéreo es un sonido transmitido por el aire. Se produce, por ejemplo, con las conversaciones, el movimiento o la música, entre otros. Este tipo de ruido se produce cuando las fuentes mueven el aire a su alrededor generando ondas de presión que se transmiten en todas direcciones. Al incidir las ondas sobre las estructuras, hacen que estas vibren y propaguen el ruido a través de estas. Esta vibración, a su vez, produce que el aire también se mueva, generando nuevamente ruido aéreo en otras partes del edificio.



Figura 19: Ruido aéreo. Fuente: elaboración propia.

RUIDO DE IMPACTO:

El ruido de impacto es un sonido transmitido en forma de vibración por los cuerpos sólidos o estructuras debido a golpes, pisadas, martillo, movimiento de muebles, entre otros. Esta vibración se transmite muy rápidamente a través de toda la estructura con muy pocas pérdidas de energía (disipación térmica) y puede afectar a todo el edificio. Como en el caso del ruido aéreo, la vibración de los elementos produce, posteriormente, compresiones o depresiones del aire.

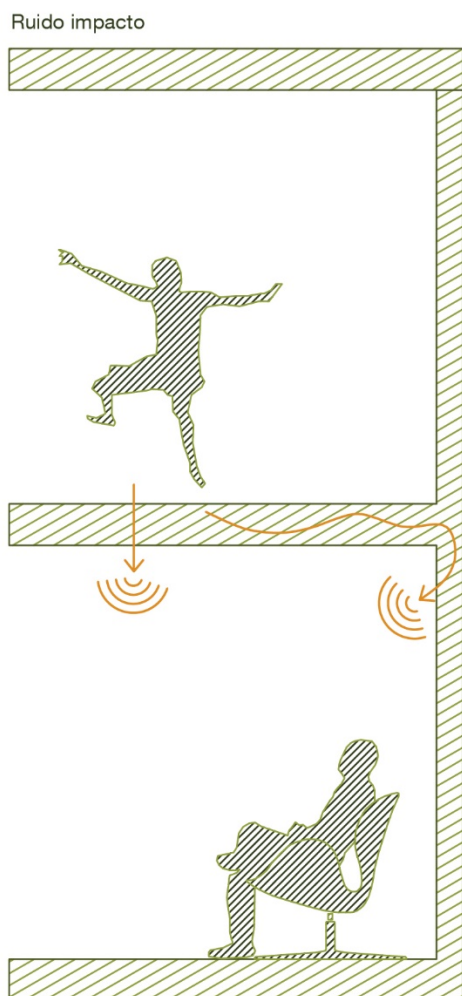


Figura 20: Ruido de impacto.
Fuente: elaboración propia

Vías de transmisión de ruido:

Las vías de transmisión de ruido en edificaciones pueden ser directas o indirectas. La presión sonora excita no solo la pared divisoria entre recintos o entre el exterior y el interior, sino todas las superficies adyacentes. Esta vibración conjunta de tabiques y estructura se convierte en ruidos aéreos en los recintos anexos. De esta manera, la vía directa corresponde a los elementos divisorios, y la vía indirecta corresponde a los elementos adyacentes a este.

Por su parte, las vías de transmisión pueden ser también estructurales o aéreas. Las vías estructurales corresponden a los elementos constructivos propiamente tales, como muros, pisos, techumbre y las uniones entre ellos. Las vías aéreas ocurren en todas aquellas secciones de la edificación en donde no existe una barrera sólida estanca entre ambientes o se encuentra muy débil como, por ejemplo: en la holgura de puertas, cajas eléctricas, celosías, etc. Este tipo de vía disminuye el desempeño aportado por los elementos constructivos.

AISLACIÓN ACÚSTICA:

Es la propiedad que tienen materiales, estructuras y edificaciones para disipar o atenuar el ruido que incide sobre ellos. Su eficacia es diferente en función de la frecuencia del ruido (en Hz) siendo, en términos generales, más sencillo atenuar frecuencias altas que frecuencias bajas. Como la aislación acústica es, entonces, una curva en función de la frecuencia es que se suele expresar en términos de un número único para facilitar su utilización.

Las soluciones constructivas tienen distinto desempeño respecto del ruido aéreo y del ruido impacto, razón por la cual se debe cuantificar de manera independiente. De este modo, la aislación al ruido aéreo corresponde a una diferencia entre el ruido emitido y el ruido recibido en ambientes distintos (mientras más alta, mejor) y la aislación al ruido impacto es un valor absoluto de ruido recibido frente a un impacto normalizado (mientras más bajo, mejor). En ambos casos, la aislación se expresa en decibeles, pudiendo considerarse la adición de factores de ponderación según el tipo de ruido. Tal es el caso de la aislación al ruido aéreo a cuyo indicador habitualmente se le suma un término “C”, con lo cual el resultado se expresa finalmente en decibeles A.

Es posible determinar la aislación acústica tanto en laboratorio como en terreno, con algunas diferencias. En el caso del laboratorio, los recintos de ensayo están contruidos de manera tal que las vías de transmisión estructurales indirectas están lo suficientemente suprimidas como para obtener como resultado únicamente la aislación acústica a través de la vía directa, caracterizando así únicamente a la solución constructiva bajo ensayo. En el caso de terreno, en cambio, al habitualmente no existir tal supresión de las vías de transmisión estructurales indirectas y a la habitual existencia de vías de transmisión aérea directa e indirecta, el resultado obtenido allí es una medida de la aislación entre los recintos ensayados en su contexto y no únicamente a la solución constructiva divisoria. Debido a esto, la aislación acústica medida en terreno es numéricamente menor o igual a la obtenida en laboratorio. Para distinguir ambos ensayos, a la aislación acústica en terreno se le agrega la característica de “aparente”.

Existen modelos teóricos que permiten estimar el comportamiento en terreno a partir de los datos de laboratorio y las características de los recintos (ver NCh 3307 partes 1 a 3).

CONFORT ACÚSTICO:

Para mantener una buena calidad de vida dentro de una vivienda y un confort acústico, se exigen estándares acústicos asociados a la reducción del ruido.

El confort acústico se logra cuando en un recinto, el nivel de ruido existente no afecta el desarrollo normal de las actividades de las personas. Según recomendaciones internacionales de salud, el nivel de ruido al interior de un dormitorio por la noche no debiera superar los 30 dB(A) promedio constante ni 45 dB(A) máx. para eventos sonoros puntuales.

ii. ENSAYOS DE LA SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA

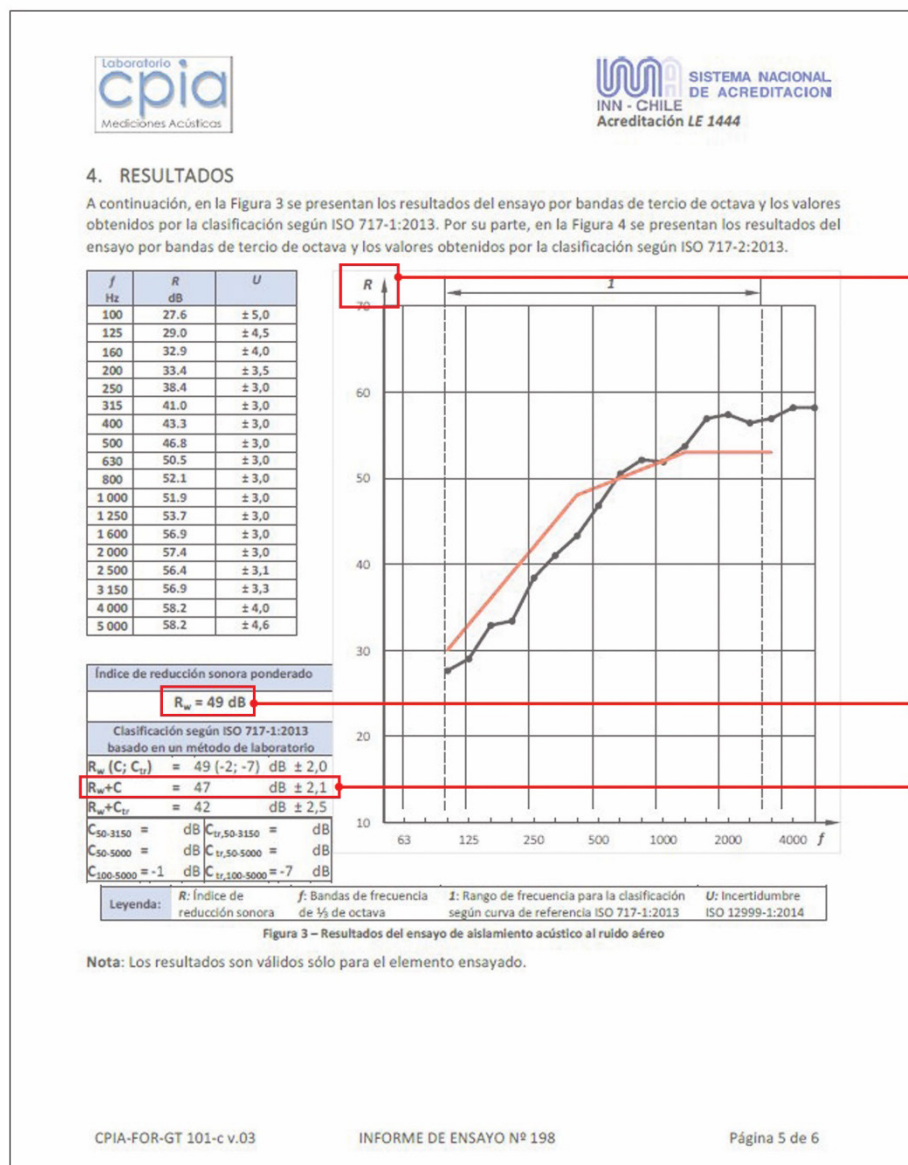
Para establecer la capacidad de la solución constructiva de disminuir el paso del ruido aéreo y/o impacto es necesario determinar mediante ensayos el Índice de Reducción Acústica y/o Nivel de Presión Acústica de Impacto Normalizado de la solución constructiva, respectivamente.

ÍNDICE DE REDUCCIÓN ACÚSTICA (RUIDO AÉREO)

Para determinar el Índice de Reducción Acústica en una solución constructiva horizontal (entrepiso) o verticales (muro divisorio), es necesario en primera instancia determinar en laboratorio el Índice de Reducción Acústica “R” de acuerdo con el método de ensayo especificado en NCh 2786. Según el Manual de Aplicación

Reglamentación Acústica del MINVU¹², el Índice de Reducción Acústica (R) es la diferencia de niveles entre el recinto de emisión sonora y el recinto de recepción, corregidos por la relación entre el área del

elemento constructivo ensayado y el área de absorción acústica equivalente del recinto receptor. Este Índice se visualiza en un informe de ensayo acústico en la curva de frecuencia.



Índice de Reducción Acústica
dB: R

Índice de Reducción Acústica
Ponderado dB: R_w

Índice de Reducción Acústica
Ponderado en A dB(A): $R_w + C$

Figura 21: Resultados de índice de reducción acústica - Ejemplo de Informe de ensayo Acústico del laboratorio CPIA

¹² MINVU. (2006). Manual de Reglamentación Acústica.

Para esto, una fuente generadora de ruido se ubica en la sala emisora y emite ruido con la misma cantidad de energía sonora en cada banda de frecuencia de ensayo (ruido rosa), y se registra mediante un sonómetro el nivel de presión sonora en la sala emisora y en la sala receptora. A su vez, también se registra el nivel de ruido de fondo (sin la fuente generadora de ruido funcionando) y el tiempo de reverberación del recinto receptor, que es el tiempo que tarda el sonido en desvanecerse en el recinto una vez que la fuente se detuvo. La curva obtenida finalmente se pondera a un único valor mediante el procedimiento de la norma ISO 717-1.



Figura 22: Ensayo aéreo de un muro divisorio realizado en laboratorio acústico CPIA.

NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA DE IMPACTO NORMALIZADO (RUIDO IMPACTO)

Para determinar el Nivel de Presión Acústica de Impacto Normalizado es necesario en primer lugar determinar en laboratorio el Nivel de Presión Acústica de Impacto Normalizado (L_n) acorde al método de ensayo especificado en ISO 140-6. Según el Manual de Aplicación Reglamentación Acústica del MINVU, el Nivel de Presión Acústica de Impacto Normalizado, L_n es el nivel de presión de ruido de impactos L , ajustado mediante un término de corrección, dado por el cociente entre la absorción equivalente del recinto receptor y el área de absorción equivalente de referencia (10 m^2).

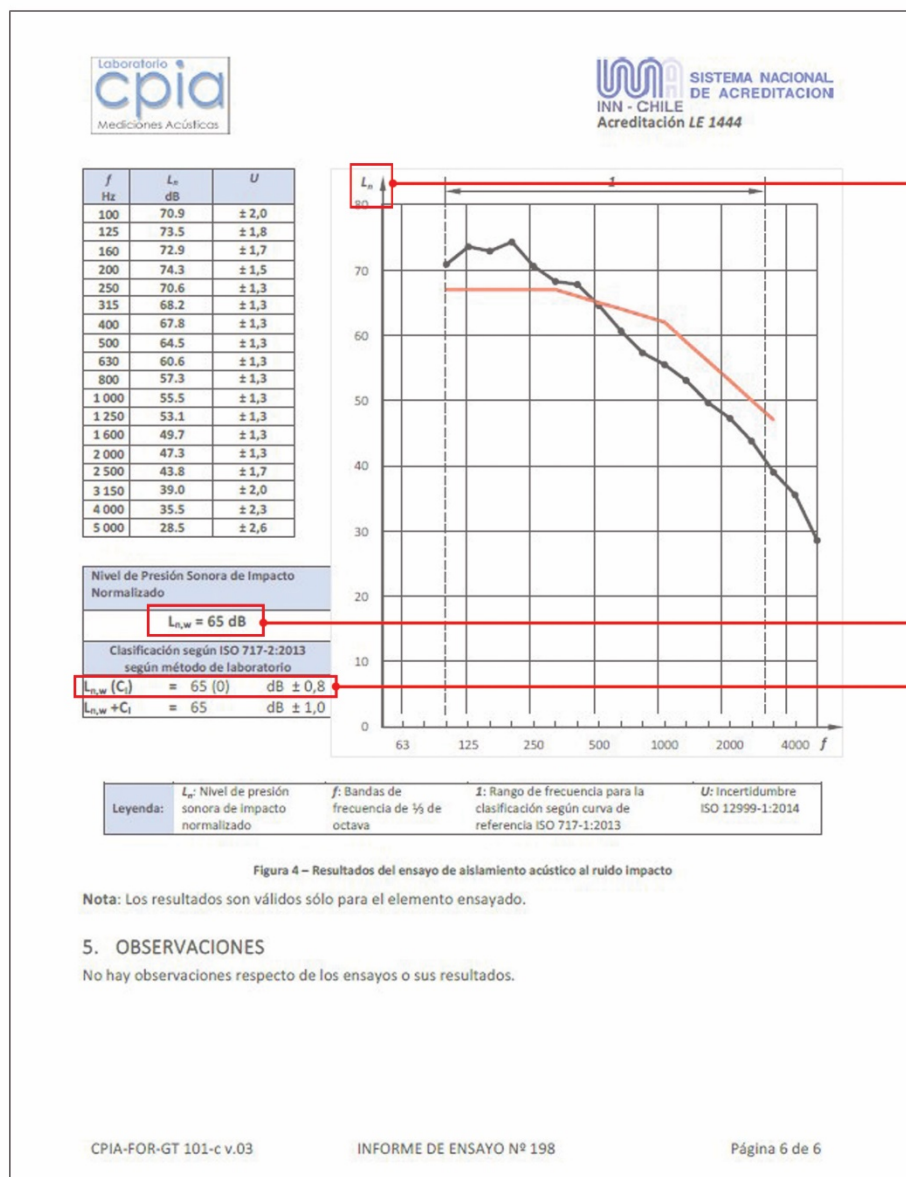


Figura 23: Resultados de presión acústica de impacto normalizado - Ejemplo de Informe de ensayo Acústico del laboratorio CPIA

El ensayo de ruido de impacto se realiza mediante una máquina generadora de ruido de impactos normalizada. En el recinto emisor se instala la máquina de impacto sobre la muestra en distintas posiciones, y posteriormente se mide con el sonómetro el nivel de ruido de impacto en el recinto receptor.



Figura 24: Ensayo de impacto de una solución de entepiso realizado en laboratorio acústico CPIA (fuente CPIA).

iii. APLICACIÓN NORMATIVA OGUC

Para poder demostrar el cumplimiento de las exigencias vistas anteriormente, correspondientes al comportamiento acústico de las soluciones constructivas horizontales y verticales, se estipula en el Artículo 4.1.6 punto 4 de la OGUC, que será posible llevarlas a cabo mediante las siguientes alternativas:

- Existencia de la solución constructiva en el Listado Oficial de Comportamiento acústico, creado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo.
- Demostrar el cumplimiento de la normativa para elementos verticales, horizontales o inclinados, mediante una de las siguientes alternativas:
- Informe de ensayo acústico en laboratorio:
- Obtener el Índice de Reducción Acústica Ponderado, R_w+C , según NCh 2786 e ISO 717-1.
- Obtener el Nivel de Presión Acústica de Impacto Normalizado Ponderado, $L_{n,w}$, según ISO 140-6 e ISO 717-2.

- Informe de inspección (en terreno):
- Obtener el Índice de Reducción Acústica Aparente Ponderado R'_{w+C} , según NCh 2785 e ISO 717-1.
- Obtener el Nivel de Presión Acústica de Impacto Normalizado Aparente Ponderado, $L'_{n,w}$, según ISO 140-7 e ISO 717-2.

Dichos informes deberán ser emitidos por un laboratorio con inscripción vigente en el Registro Oficial de Laboratorios de Control Técnico de Calidad de la Construcción del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, reglamentado por el D.S. N° 10 (V. y U.), de 2002, Área de Acondicionamiento Ambiental, Especialidad de Acondicionamiento Acústico o por una entidad con inscripción vigente en el Registro Nacional de Consultores del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, reglamentado por el D.S. N°135 (V. y U.) de 1978, en el Rubro Estudios de Proyectos, Especialidad Otros Estudios, Subespecialidad Acústica. Estos últimos solo aplican para la inspección en terreno.

REQUERIMIENTO A ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS HORIZONTALES:

Los elementos constructivos horizontales o inclinados, como los entrepisos que dividen unidades de viviendas en el sentido horizontal, deben tener un Índice de Reducción Acústica ponderado mínimo, R_w+C , de 45 dB(A) (ruido aéreo), siendo este valor considerado para el cumplimiento de la OGUC.

Las soluciones constructivas horizontales tienen exigencias normativas tanto para el ruido aéreo como para el ruido de impacto, esto último se debe a que las soluciones constructivas horizontales son las encargadas de recibir las cargas producidas por los impactos.

Por esta razón deben presentar un nivel de presión acústica de impacto normalizado ponderado máximo, $L_{n,w}$, de 75 dB (ruido de impacto), siendo este el valor considerado para el cumplimiento de la OGUC.

Ambos requerimientos presentados se deben aplicar a la vía de transmisión estructural directa del elemento constructivo.

NIVEL DE PRESIÓN SONORA DE IMPACTO NORMALIZADO		
$L_{n,w} = 65$ dB		
CLASIFICACIÓN SEGÚN ISO 717-2-2013 SEGÚN MÉTODO DE LABORATORIO		
$L_{n,w}(C1)$	$= 65^*(0)$	dB $\pm 0,8$
$L_{n,w} + C1$	$= 65$	dB $\pm 1,0$

Figura 25: Resultado del nivel de presión acústica de impacto normalizado - Ejemplo de Informe de ensayo Acústico del laboratorio CPIA.

REQUERIMIENTO A ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS VERTICALES:

Los elementos constructivos verticales o inclinados que sirvan de muros divisorios, o medianeros que dividan unidades de viviendas en el sentido vertical, y que se consideran en las tipologías de edificio colectivo, edificación pareada en sentido vertical o edificación continua, deben tener un índice de reducción acústica mínima, R_w+C , de 45dB(A), siendo este el valor considerado para el cumplimiento de la OGUC.

Este requerimiento se aplica a la vía de transmisión estructural directa. Si bien los elementos verticales pueden transmitir por la edificación el ruido de impacto aplicado sobre un entrepiso adyacente, en este caso no se aplica la exigencia normativa para ruido de impacto por considerarse una vía de transmisión indirecta.

ÍNDICE DE REDUCCIÓN SONORA PONDERADO		
$R_w = 49$ dB		
CLASIFICACIÓN SEGÚN ISO 717-2-2013 SEGÚN MÉTODO DE LABORATORIO		
$R_w (C; C_{tr})$	$= 49 (-2; -7)$	dB $\pm 2,0$
$R_w + C$	$= 47$	dB $\pm 2,1$
$R_w + C_{tr}$	$= 42$	dB $\pm 2,5$
$C_{50-3150} =$ dB	$C_{tr, 50-3150} =$ dB	
$C_{50-5000} =$ dB	$C_{tr, 50-5000} =$ dB	
$C_{100-5000} = -1$ dB	$C_{tr, 100-5000} = -7$ dB	

Figura 26: Resultado del índice de reducción acústica - Ejemplo de Informe de ensayo Acústico del laboratorio CPIA.

iv. ¿CÓMO LOGRAR UN BUEN DESEMPEÑO ACÚSTICO?

En comparación con otros materiales de construcción, las soluciones constructivas en madera tienen una baja densidad. Debido a los materiales utilizados y a las cavidades interiores que se generan en una solución constructiva de entramado ligero. Las soluciones constructivas en madera pueden propagar las vibraciones entre recintos, lo que se traduce en una débil aislación acústica entre recintos. Es por esto que se vuelve necesario integrar soluciones acústicas en los distintos elementos constructivos, teniendo siempre en consideración las solicitaciones y funciones de los recintos.

A continuación, se describirán las distintas estrategias y materiales que se emplean para conseguir un buen aislamiento acústico:

- **Aumentar la Masa:**

El aislamiento acústico depende en gran medida de la masa de la solución constructiva. A mayor masa, mayor aislamiento acústico. Por lo tanto, cualquier capa con mayor densidad y pesada bloqueará de mejor manera el sonido. Este método ayuda a disminuir mayormente el ruido aéreo, por ejemplo, al incorporar una sobrelosa de hormigón a la solución de entrepiso, o planchas de fibrocemento de alta densidad (1250 kg/m²). En el caso de entrepisos, para que esta solución sirva para atenuar también el ruido de impacto, es necesario que se incorpore una capa intermedia de algún material elástico. Se aconseja revisar una estrategia de amortiguación.

- **Aumentar la Cámara de aire:**

Habitualmente, aumentar la cámara de aire interior mejora el aislamiento acústico de una solución. Esto se debe a que mientras más pequeña sea la cavidad de una cámara de aire al interior de una solución constructiva, el nivel de resonancia al interior aumentará, y por lo tanto habrá una mayor transmisión del nivel sonoro. Para obtener mejores resultados, es recomendable incorporar en la cámara de aire material absorbente acústico, como lana mineral o de vidrio, celulosa proyectada, fibra de poliéster y otros materiales de poro abierto.

- **Desacoplamiento:**

Muchas veces el ruido se transmite a través de la estructura del edificio, ya que la onda acústica se transmite por medio de materiales sólidos. Por lo mismo, las capas de una pared múltiple no deben tener, de ser posible, ninguna unión rígida. El desacoplamiento es el proceso de bloqueo de la transferencia del sonido mediante el aislamiento de los puntos de contacto. El desacoplamiento impide la propagación de la onda acústica, ya que esta solo se transmite a través de materiales sólidos.

El desacoplamiento se puede emplear de las siguientes maneras:

- Fijar cada cara a estructuras independientes (pies derechos/vigas alternados). Ejemplo: disposición alternada de los pies derechos, estilo “zigzag”.
- Desacoplar o disociar la estructura con algún tipo de material flexible.

- Amortiguación:

La amortiguación es un método de aislamiento acústico que disipa la energía cinética de las ondas sonoras convirtiéndolas en calor, de esta manera se disipa el sonido. Por ejemplo, al utilizar membranas acústicas o gomas de caucho.

Las membranas acústicas son láminas sintéticas o asfálticas insonorizantes que, al presentar alta densidad, proporcionan elevados niveles de aislamiento acústico en los sistemas constructivos tradicionales, muchas veces sin apenas incrementar algunos milímetros su espesor. Generalmente se emplean en los entresijos divisorios entre unidades, para mejorar los niveles de aislamiento de ruido aéreo y de impacto.

- Correcta elección de revestimientos:

Los métodos de predicción de la aislación acústica de soluciones constructivas se basan principalmente en modelos para el elemento base, en este caso un tabique o entresijo estructurado en madera. Al colocar revestimientos adicionales a estos elementos base se pueden manifestar aumentos en la aislación en determinadas frecuencias, así como disminución en otras. Existen, sin embargo, métodos para predecir el desempeño al adicionar capas o estructuras de mejora al elemento base, para lo que es necesario conocer el valor de aislación acústica del elemento base y propiedades mecánicas de los materiales a adicionar, como su rigidez dinámica y la mejora en el aislamiento acústico, ΔL (en el caso de ruido impacto o ΔR en el caso de ruido aéreo). Es común que estas magnitudes de mejora de aislamiento se conozcan cuando el

elemento base es de hormigón, pero la norma NCh-ISO 10140 (todas sus partes) tiene procedimientos específicos para cuando los elementos constructivos son de madera. Gracias a estos avances es posible estimar el comportamiento de las soluciones constructivas de manera previa a la realización del ensayo en laboratorio respectivo.

- Evitar Puente Acústico:

La discontinuidad de un elemento constructivo genera una mayor transmisión de la energía acústica. Por lo mismo, la solución de los pies derechos alternados permite tener una aislación continua. La incorporación de cajas eléctricas, pasadas de ductos y shafts de instalaciones, suponen la aparición de vías de transmisión aérea directa y/o indirecta. Existen diversas soluciones de sellos para estas situaciones que cumplen además con las disposiciones de resistencia al fuego.

- Layout:

En edificios se recomienda alejar lo más posible las instalaciones de servicio de los recintos sensibles, de esta forma no se tienen que sobredimensionar las soluciones constructivas para lograr el nivel de confort acústico deseado. Para alcanzar un nivel óptimo, se recomienda evitar que los ascensores o shaft de basura limiten con recintos más sensibles, como dormitorios (es preferible que limite con otros recintos como la cocina). Del mismo modo, se recomienda ubicar salas de bombas o generadores diésel lo más alejado posible de las unidades, y con aislación acústica y antivibratoria adecuada.

- Distancia entre ventanas:

En viviendas pareadas se recomienda diseñar las ventanas a lo menos a una distancia de 1 metro entre la ventana de una vivienda y otra.

E. ESTÁNDARES DE CONSTRUCCIÓN EN MADERA SUSTENTABLE PARA VIVIENDAS

A partir de la resolución exenta 0578, del 01 de febrero 2017 “Estándar de Construcción Sustentable para Viviendas de Chile”, que tiene una primera versión del 2014 elaborada por la División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional, amparada por la Secretaría Ejecutiva de Construcción Sustentable, se desarrolló un plan con el objetivo de crear un texto guía que reuniera buenas prácticas y recomendaciones para mejorar el desempeño ambiental de las viviendas utilizando criterios objetivos y verificables. El 2015, después de una consulta pública y tras el desarrollo de una serie de talleres que convocaron a distintos actores del sector público y privado de las 3 macrozonas del país, se fijó como meta que en el año 2016 se incorporaran las propuestas en un documento final, denominado “Estándares de construcción sustentable para viviendas de Chile”.

Este documento busca fomentar el desarrollo sustentable, impulsando diversas iniciativas para incentivar la incorporación de criterios de sostenibilidad en el área de la construcción. Para llevar adelante la aplicación de estos nuevos estándares, el MINVU se comprometió a generar políticas públicas y estrategias que mejoren la calidad de las viviendas, barrios y ciudades. Siguiendo este propósito es que se han implementado programas e instrumentos que permiten incorporar criterios de eficiencia energética, acondicionamiento térmico de viviendas y uso de energías renovables en viviendas de sectores vulnerables.

Esta guía de buenas prácticas está dividida en 6 tomos que abarcan las siguientes categorías: Salud y Bienestar, Energía, Agua, Materiales y Residuos, Impacto Ambiental y Entorno Inmediato.

En este punto, es donde la madera como material predominante en las edificaciones puede traer grandes ventajas, ya que dadas sus características intrínsecas tiene mejor desempeño que otros materiales comúnmente utilizados en la construcción de viviendas.

Por ejemplo, en materia de salud y bienestar, el ser humano ha vivido más del 99,9% de su historia evolutiva en ambientes naturales, por lo que la madera tiene un impacto positivo en la percepción de los ocupantes.

En temas de energía, la madera es 16 veces menos conductiva que el hormigón y 558 veces menos que el acero, por lo tanto, tiene un muy buen aislamiento térmico siendo una ventaja para la implementación de soluciones constructivas de viviendas pensadas desde la eficiencia energética.

Por parte de los materiales y residuos, los sistemas constructivos en madera son fácilmente industrializables y pueden ser trabajados en seco, esto disminuye los residuos durante la fabricación y también asegura un estándar de calidad, reduce los tiempos de trabajo en obra y la necesidad de mano de obra.

Al realizar una comparación de la madera con otros materiales con relación al impacto ambiental que generan, se observa que un m² de construcción en madera genera aproximadamente un 94 % menos de CO₂eq en un m² de construcción en

comparación con el hormigón. Además, elaborar 1 tonelada de hormigón armado consume 5 veces más energía que elaborar 1 tonelada de madera. Siendo este último un material sustentable por excelencia.



IV. CONSIDERACIONES PARA EL USO DE LA MADERA EN SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Por consideraciones constructivas se entienden aquellos aspectos que no pueden quedar de lado al momento de edificar con madera, como los materiales utilizados y sus cualidades estructurales, las certificaciones de calidad y cuidados especiales de cada material. Estas consideraciones también se encuentran mencionadas en diferentes fragmentos de la OGUC, en los artículos 5.3.1. y desde el 5.6.6. al 5.6.10. A continuación, se explicarán estos aspectos

relevantes señalados en la OGUC y otros también importantes al momento de edificar con madera.

El punto de partida que señala la OGUC para normar las condiciones especiales que tendrán las edificaciones en madera, es la clasificación que tendrá la construcción dependiendo de su estructura, destino, especie a utilizar y condiciones del ambiente en que se ubicará la estructura.

A. TIPOS DE MADERA Y DURABILIDAD

De acuerdo con los datos entregados por CONAF e INFOR en el año 2019, el recurso forestal chileno, bosque nativo y plantaciones, cuenta con 17,9 millones de hectáreas equivalentes a 23,7 % de la superficie nacional. De estos 17,9 millones de hectáreas de recurso forestal, el 90 % se ubica entre la Región del Maule y la Región de Magallanes, con un 81,3 % de bosque nativo, un 17,6 % de bosques plantados, y el restante 1,1 % de los bosques corresponde a un bosque mixto. De este recurso total, las plantaciones forestales se concentran principalmente en la Región del Biobío (39%), donde predominan las plantaciones de pino radiata, con más de la mitad del total regional (59%), seguidas por el eucalipto.

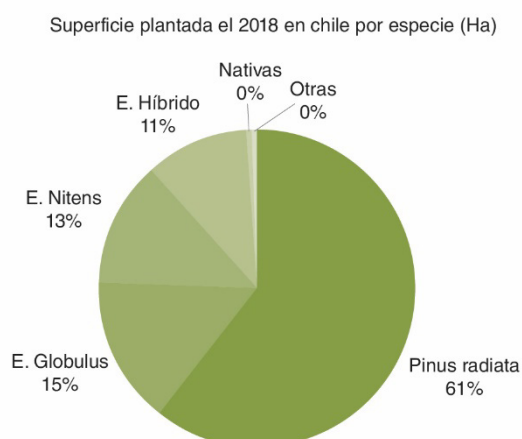


Figura 27: Bosques plantados efectuados durante el año 2018. Fuente: elaboración propia en base a datos CONAF pág. 33 y 42¹³.

¹³ CONAF. (2019). Plantaciones Forestales Efectuadas Durante el Año 2018. 230. https://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1577455171PlantacionesForestales2018_CONAF.pdf

La clasificación de la madera por especie permite determinar su durabilidad la que se entiende como la capacidad de los materiales de mantener sus propiedades o características frente a exigencias o solicitudes, su adaptabilidad a las transformaciones se conoce como el periodo de vida útil del elemento en cuestión.

En una vivienda se debe analizar la durabilidad de todos los materiales que la componen. Con ello, se podrán tomar las medidas de control y aseguramiento más apropiadas para cada material, lo que permitirá una reducción de costos por concepto de mantención, mejoramientos y reposición de las partidas afectadas. Esto es posible a través del adecuado diseño de los elementos, la correcta elección de los materiales y de una puesta en obra que asegure la máxima durabilidad de lo construido.

La OGUC separa las distintas especies de madera comercializadas en el país en 5 categorías, dependiendo de la resistencia que presente la madera en su estado natural hacia hongos de pudrición. Todo elemento estructural cuya especie se encuentre dentro de la clasificación “no durables” deberá ser preservada conforme a la norma NCh 819 “Madera preservada - Pino radiata - Clasificación según riesgo de deterioro en servicio y muestreo”¹⁴, como es el caso de la madera de pino insignie la que corresponde a un 96,9% del mercado de la producción de la madera aserrada¹⁵. Esto se trata en el punto 3 del artículo 5.6.8 de la OGUC sobre edificaciones de madera, haciendo referencia a la tabla de la norma NCh789/1 “Maderas - Parte 1:

Clasificación de maderas comerciales por su durabilidad natural”.

Tabla 11: Categorías de durabilidad de la madera.
Fuente: OGUC pág. 347

CATEGORIA	MADERA NOMBRE COMUN
1. Muy durables	Alerce
	Ciprés de las Guaitecas
	Roble
2. Durables	Lenga
	Lingue
	Raulí
3. Moderadamente durables	Canelo
	Coigüe
	Tineo
	Ulmo
4. Poco durables	Araucaria
	Eucalipto
	Laurel
	Mañío hembra
	Mañío macho
5. No durables	Alamo
	Olivillo
	Pino insignie
	Tepa

A pesar de la categoría de “no durable”, el pino radiata o pino insignie es la especie de madera más utilizada en la construcción en Chile debido a las facilidades de cultivo por su tasa de crecimiento y el valor comercial del uso de la pulpa, además, las propiedades del pino han sido las más estudiadas, lo que significa que existe más información para generar un diseño correcto, conociendo sus propiedades mecánicas.

¹⁴ Instituto Nacional de Normalización INN (2009). NCh819:2009 Madera preservada - Pino radiata - Clasificación según uso y riesgo en servicio y muestreo.

¹⁵ INFOR. (2020). El Mercado de la Madera Aserrada para Uso Estructural en Chile.

B. EXPOSICIÓN DE LA MADERA

Para las maderas expuestas a la intemperie, la humedad de equilibrio de las diferentes regiones geográficas de Chile se puede obtener en el anexo D Tabla D1 de la NCh 1198, siendo las humedades de equilibrio máxima de 20% en esa tabla. De todas maneras, es recomendable considerar un tiempo de estabilización de humedad, donde la madera se adapte a las condiciones locales de temperatura de la zona climática en la que se emplace el proyecto, para evitar así variaciones dimensionales o deformaciones significativas en los diferentes elementos de madera.

Según el artículo 4.4 referente al contenido de Humedad de la NCh 1198, la madera debe tener en su momento de utilización, un contenido de humedad igual al de la humedad de equilibrio del lugar donde ella prestará servicio. El artículo 4.4 menciona dos tipos de lugares donde puede prestar servicio la madera con humedad de equilibrio asociada.

- Maderas expuestas a la intemperie (artículo 4.4.4 de la NCh 1198).
- Maderas ubicadas en edificios con distintas condiciones de servicio (artículo 4.4.5 de la NCh 1198).

Para las maderas ubicadas en edificios con distintas condiciones de servicio, se puede estimar el criterio de humedad sobre la base de la información de la tabla 1 del artículo 4.4.5 de la NCh 1198. Esta última tabla menciona 3 categorías de ubicación de la madera:

1. En recintos cubiertos abiertos, donde se aplica el mismo anexo D, tabla D1.
2. En recintos cubiertos cerrados sin calefacción.
3. En recintos calefaccionados intermitentemente que tienen una humedad de equilibrio promedio de 12 %, y los recintos continuamente calefaccionados tienen una humedad de equilibrio promedio de 9 %.

En el caso de que las piezas de madera aserrada de pino radiata se consideren en condición verde ($CH \geq 20\%$), como lo estipula el artículo 6.1.1 de la NCh 1198, se deben modificar las propiedades admisibles y módulos elásticos en condición seca para los factores mencionados en la tabla 9, correspondiente al factor de modificación por humedad para madera de pino radiata en condición verde.

Según el proyecto de ley de rotulado, mencionado en el capítulo II del presente documento, el contenido de humedad debe ser inferior a 20 % ($CH < 20\%$), según lo establecido en NCh 1198 punto 4.4 y anexo D. Al momento de comprar la pieza de madera, el rotulado debe indicar la información referente a la humedad. Por lo tanto, para determinar las tensiones admisibles y el módulo de elasticidad de madera en condición seca ($CH < 20\%$), es necesario referirse a la tabla 4b de la NCh 1198 y al grado estructural mencionado en el rótulo de la madera.

C. MANTENCIÓN Y PRESERVACIÓN

Para desarrollar un proyecto sustentable, se debe pensar en el ciclo de vida de la edificación teniendo en cuenta la durabilidad como uno de los ejes principales. La durabilidad de la edificación depende de cómo esté pensada la estructura para enfrentar las influencias de distintos agentes, para esto en las especies no durables se utiliza la preservación. Además, debe existir un buen diseño y correcto plan de mantenimiento, lo que traerá beneficios en la etapa de ocupación, ya que se optimizarán los materiales y los costos del ciclo de vida del proyecto.

La definición de preservación refiere a la operación de aplicar preservantes a la madera de acuerdo con el riesgo de ataque de agentes biológicos que pueden deteriorarla bajo condiciones de uso a la madera, conforme a lo dispuesto en la NCh 819 “Madera preservada - Pino radiata - Clasificación según riesgo de deterioro en servicio y muestreo”.

La madera preservada es aquella que ha sido sometida a un proceso de impregnación, conforme a la norma NCh 819 y de acuerdo con el tipo de riesgo que tendrá esta madera en su vida útil. Otro indicador de preservación es que la madera pertenezca a la categoría 5 según la OGUC en el artículo 5.6.8 punto 3. Para la preservación de la madera, se debe definir el requerimiento de durabilidad necesario para

cada elemento, teniendo en consideración que para asegurar la durabilidad natural de la madera esta se debe impregnar con sustancias químicas que le proporcionen resistencia a los ataques de hongos, insectos o perforadores marinos.

Para proteger la madera de estos peligros, se la somete a un tratamiento para volverla repelente a los agentes biológicos, esto según uso y riesgo de servicio de las piezas. La norma NCh 819, clasifica el riesgo de la madera y requisitos que debe cumplir en función de la penetración (mm, cm) y retención, kg óxido/m³. Por ejemplo, para el caso de una estructura resistente corresponde a la clasificación de riesgo R2, preservado con C.C.A. con retención mínima del producto químico de 4 kg/m³.

La NCh 819 entrega mayor detalle sobre los tipos de preservantes y su sistema de aplicación, la retención mínima, los ensayos correspondientes de retención en función del preservante, y la zona a ensayar según el producto y nivel de riesgo de deterioro.

Para determinar la clase de riesgo en función de la condición de uso de la madera en la vivienda y selección del preservante, el anexo A de la NCh 819 proporciona información relativa al tipo de preservante a utilizar según la condición de riesgo de la madera en servicio.

Tabla 12: Información relativa al tipo de riesgo en función del uso y agente biológico de deterioro.
Fuente: intervención de Tabla 1 del artículo 4.1 de la NCh819

ANEXO A (NORMATIVO) USO DE PRESERVANTES SEGÚN NIVEL DE RIESGO DE DETERIORO DE LA MADERA													
Elemento	Nivel de riesgo de deterioro de la madera	ACQ	B ₂ O ₂ (SBX)	BS	CA-B	CCA	Creo sota	LFF	MCA	uCA-C	LOSP (Permetrina)	LOSP (Permetrina + azol)	LOSP (Permetrina + TBTN)
1. Maderas de uso estructural en construcciones comerciales y residenciales													
- Fundaciones en contacto con tierra o concreto	R5	X	-	-	X	X	X	X	X	X	-	-	-
- Vigas pisos	R2	X	X	X	X	X	-	X	X	X	-	X	X
- Soleras en contacto con hormigón	R2	X	X	X	X	X	-	X	X	X	-	X	X
- Pie derecho zonas húmedas	R2	X	X	X	X	X	-	X	X	X	-	X	X
- Pie derecho zonas secas	R1	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X	-	-
- Cerchas	R1	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X	-	-
- Vigas entrepisos	R1	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X	-	-
- Entablado de piso sobre envigado	R2	X	X	X	X	X	-	X	X	X	-	X	X
- Fundación de terrazas	R5	X	-	-	X	X	X	X	X	X	-	-	-
- Pisos de terrazas	R3	X	-	X	X	X	-	X	X	X	-	X	X
2. Maderas no estructurales de uso exterior en la construcción													
- Tapacanes	R3	X	-	X	X	X	-	X	X	X	-	X	X
- Revestimientos exteriores	R3	X	-	X	X	X	-	X	X	X	-	X	X
- Molduras y carpinterías exteriores	R3	X	-	X	X	X	-	X	X	X	-	X	X

CLASIFICACIÓN DE RIESGO, SEGÚN USO Y AGENTE BIOLÓGICO DE DETERIORO		
Nivel de riesgo de deterioro	Condición de uso	Agente biológico de deterioro (ingreso y ataque)
Riesgo 1 (R1)	Uso en interiores, sobre el nivel del suelo y ambientes secos	Insectos, incluida la termita subterránea
Riesgo 2 (R2)	Uso en interiores, sobre el nivel del suelo, con posibilidad de adquirir humedad, ambientes mal ventilados	Hongos de pudrición e insectos, incluida la termita subterránea
Riesgo 3 (R3)	Uso en exteriores o interiores, exposición a las condiciones climáticas	Hongos de pudrición e insectos, incluida la termita subterránea
Riesgo 4 (R4)	Uso en exteriores o interiores, en contacto con el suelo, con posibilidades de contacto esporádico con agua dulce	Hongos de pudrición e insectos, incluida la termita subterránea
Riesgo 5 (R5)	Uso en exteriores o interiores, en contacto con el suelo, componentes estructurales críticos, contacto con agua dulce	Hongos de pudrición e insectos, incluida la termita subterránea
Riesgo 6 (R6)	Uso en contacto con agua marina	Horadores marinos, hongos de pudrición e insectos, incluida la termita subterránea

A título de ejemplo, una madera empleada como pie derecho de pino radiata (categoría 5) en la zona seca de un muro interior de vivienda, tendría un riesgo R1 ya que sería empleada dentro de una pared interior, y por lo tanto estaría protegida de las condiciones climáticas. En el anexo A se recomienda el preservante CCA, entre otros métodos.

La madera preservada de pino radiata según su uso y riesgo de deterioro en servicio (y el preservante usado), deberá cumplir con la retención mínima indicada en la tabla 3 del artículo 5.1.3 de la NCh819. La retención se expresa en kilogramos de ingredientes activo por metro cúbico de madera preservada (kg.óx./m³).

Tabla 13: Retención mínima de ingredientes activos del preservante según nivel de riesgo de deterioro de la madera. Fuente: tabla 3 artículo 5.1.3 de la NCh819

RETENCIÓN MÍNIMA DE INGREDIENTES ACTIVO DEL PRESERVANTE SEGÚN NIVEL DE RIESGO DE DETERIORO DE LA MADERA (KG/M³)												
Riesgo	ACQ	B ₂ O ₃ (SBX)	BS	CA-B	CCA	Creosota	LFF	LOSP (Permetrina)	LOSP (Permetrina + tebuconazol más propiconazol)	Permetrina + TBTN	MCA	uCA-C
1	4.0	4.4	11.2	1.7	4.0	No se debe usar	34.0	0.1	0.1	0,086 + No se especifica	1.0	0.8
2	4.0	4.4	11.2	1.7	4.0	No se debe usar	34.0	No se debe usar	0,086/0,2	0,086 + 0,34	1.0	0.8
3	4.0	No se debe usar	11.2	1.7	4.0	No se debe usar en ambiente interior 128 - 400	42.0	No se debe usar	0,086/0,26	0,086 + 0,34	1.0	0.8
4	6.4	No se debe usar	No se debe usar	3.3	6.4	128.0	51.0	No se debe usar	No se debe usar	No se debe usar	2.4	2.2
5	9.6	No se debe usar	No se debe usar	5.5	9.6	192.0	55.0	No se debe usar	No se debe usar	No se debe usar	3.7	3.6
6 ^(a) - Zona de ensayo exterior	No se debe usar	No se debe usar	No se debe usar	No se debe usar	24 ó 40	400.0	No se debe usar	No se debe usar	No se debe usar	No se debe usar	No se debe usar	No se debe usar
6 ^(b) - Zona de ensayo interior	No se debe usar	No se debe usar	No se debe usar	No se debe usar	14 o 24	400.0	No se debe usar	No se debe usar	No se debe usar	No se debe usar	No se debe usar	No se debe usar

a) La retención mayor se debe usar cuando existe riesgo de ataque de Teredo y Limnoria tripunctata
b) Densidad básica utilizada para madera de radiata: 429 Kg/m³

Para este caso, se sugiere usar una retención mínima de 4,0 kg/m³, pues no serviría usar un preservante del tipo creosota. Luego, en la tabla 7 del artículo 5.2.2, se indica la penetración (en mm) que deben cumplir todos los preservantes, excepto los preservantes LOSP, en función de la pieza de madera y el riesgo asociado. En la tabla 8 del artículo 5.2.2, se indica la penetración (en mm) que deben cumplir los preservantes tipo LOSP en función de la pieza de madera y el riesgo asociado. De esta forma, se entiende que la madera aserrada con riesgo 1, 2 y 3 requiere una profundidad mínima de 3 mm, debido a que el tipo de preservante no es LOSP.

PENETRACIÓN

NCh819

Tabla 7/ Artículo 5.2.2

Tabla 7 - Penetración de los preservantes (excepto LOSP)

Producto	Clasificación de riesgo	Requisitos mínimos de penetración en albura o profundidad mínima (mm) en las caras	
		Albura	Profundidad mínima (en caso de duramen expuesto en la superficie)
Madera aserrada	R1, R2, R3	100%	3 mm
Madera aserrada de espesor menor que 50 mm	R4	100%	15 mm
Madera aserrada de espesor mayor o igual que 50 mm	R4	100%	25 mm
Madera aserrada	R5 y R6	90%	89 mm
Madera redonda sobre el nivel del suelo	R1, R2 y R3	100%	13 mm
Madera redonda en contacto con el suelo	R4	100%	25 mm
Postes y otros elementos estructurales	R5	90%	89 mm
Contrachapados ¹⁾	R1, R2, R3, R4, R5 y R6	Cada una de las chapas debe estar penetrada 100%	-
Madera laminada encolada ²⁾	R1, R2, R3, R4, R5 y R6	100%	75 mm
Pilotes marinos	R6	100%	64 mm

1) Ver AWWPA C9.
2) Ver AWWPA C28.

Tabla 8/ Artículo 5.2.2

Tabla 8 - Penetración de los preservantes LOSP

Producto	Clasificación de riesgo	Requisitos mínimos de penetración en albura o profundidad mínima (mm) en las caras	
		Albura	Profundidad mínima (en caso de duramen expuesto o baja porción de albura en la superficie)
Madera aserrada	R1, R2, R3	100%	<p>Debe cumplir uno de los requisitos siguientes:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Maderas con espesor mayor que 35 mm: La penetración debe ser mayor o igual que 8 mm en todas las superficies 2. Maderas con espesor menor o igual que 35 mm: La penetración debe ser mayor o igual que 5 mm en todas las superficies 3. Duramen no tratado: Se permite en tanto que comprometa menos del 20% de la sección transversal de la pieza y que no se extienda más de la mitad de la distancia que existe entre superficies opuestas y que no exceda la dimensión media del lado de la sección transversal en la cual está presente
Polines sin contacto con el suelo	R2 y R3	100%	La penetración debe ser mayor o igual que 8 mm, desde la superficie

Figura 28: Penetración de los preservantes. Fuente: intervenido de NCh819

Si bien en el ejemplo anterior se utilizó el preservante CCA, en algunos países como Alemania la preservación química no es sinónimo de durabilidad, es más, en sus normativas se especifica que se debe evitar el uso de estos, incentivando el uso de medidas preventivas por diseño¹⁶. No obstante, en países como Francia e Inglaterra, el uso de preservantes químicos es imprescindible si no se puede justificar la durabilidad natural de la madera.

El preservante CCA se encuentra regulado en varios países del mundo, como Japón y la Unión Europea donde su uso está prohibido, mientras que en Estados Unidos su uso es restringido para viviendas y exteriores, lugares donde existe contacto entre el material y el ser humano¹⁷. En efecto, algunas investigaciones han demostrado que la exposición al arsénico y al cromo pueden dañar la laringe, sistema nervioso, e incluso podría provocar cáncer a la piel, hígado y riñón, entre otros¹⁸. Por este motivo se recomienda la utilización de

otro tipo de preservantes, como por ejemplo el boro.

Como ya fue mencionado en este capítulo, la preservación de la madera no significa que no se deban realizar acciones de mantenimiento. La mantención para una edificación con estructura de madera al igual que las edificaciones de otra materialidad debe contar con un plan de mantenimiento, el que idealmente debe ser preventivo, para evitar así cualquier tipo de falla y anteponerse a posibles deterioros que generen fallas. En caso de que esto no haya sido posible, se debe pasar a una mantención correctiva, con el propósito de reparar daños y sustituir los elementos con fallas.

Por último, la mantención de una edificación con estructura de madera, en especial si esta no cuenta con revestimientos de madera, tiene un costo y tipo de mantención general muy similar a la mantención de las edificaciones de hormigón armado.

¹⁶ DIN 68800-4, 2019, p. 68800

¹⁷ Henke, K. R. (2009). Environmental chemistry, health threats and waste treatment. John Wiley & Sons: West Sussex, United Kingdom.

¹⁸ Coudert, L., Blais, J.-F., Mercier, G., Cooper, P., & Janin, A. (2013). 21—Remediation processes for wood treated with organic and/or inorganic preservatives.

D. CONSIDERACIONES ESTRUCTURALES

Las construcciones de madera se definen en las clases E y H, señalado en el artículo 5.3.1 de la OGUC. La Clase E refiere a las construcciones con estructura soportante en madera complementadas con otros materiales, como placas de fibrocemento o yeso cartón, mientras que las construcciones Clase H corresponden a las estructuras de madera construidas de forma prefabricada. Esta clasificación regula aspectos como la cantidad de pisos, altura de piso a cielo para una estructura, o si normativamente la edificación requiere de un calculista estructural.

Otros aspectos específicos que define la OGUC se encuentran detallados entre los artículos 5.6.6 y el 5.6.10. Estos artículos establecen normas específicas sobre los distintos elementos constructivos presentes en una edificación, como por ejemplo: entramados de pisos en el Art.5.6.6; edificaciones de hasta 2 pisos sin cálculo estructural en el Art.5.6.7; requisitos estructurales de la madera de acuerdo al tipo y zona donde se construirá en el Art.5.6.8; pesos máximos de la estructura soportante, el distanciamiento de los elementos constructivos en madera y sobrecargas en el Art.5.6.9; luces máximas que podrían resistir los distintos tipos de madera en el Art. 5.6.10.

- Cizallamiento: consiste en la falla del muro cuando un esfuerzo horizontal genera un desplazamiento mayor en la parte superior de un muro que la inferior. Este es uno de los principales efectos que busca prevenir la placa estructural o los elementos con diagonales y cadenetras, mediante la rigidización lateral del muro. Para cargas horizontales muy elevadas, el cizallamiento se puede evitar o reducir mediante el patrón de clavado de la placa

estructural, el cual, determinado por cálculo, puede aumentar la rigidez del muro al reducir espaciamientos entre los elementos de fijación en el perímetro de la placa a pies derechos y soleras, o al incluirlos también en los pies derechos que se ubiquen entre estos.

- Deslizamiento: este tipo de falla ocurre cuando un empuje sobre una construcción de entramado de madera hace que sus muros se desplacen de posición. Para resolver esto, se incorpora en el diseño del muro la utilización de las llamadas “claves de corte”, que consisten en la fijación de la solera inferior a la fundación. Para este tipo de fijaciones se utilizan pernos de anclaje y placas de fijación, entre otros.
- Volcamiento: se produce cuando la carga horizontal sobre un muro genera un levantamiento del extremo del muro sobre el que incide. Para evitar esto se usan los elementos de anclaje, que van instalados en los extremos del muro, “amarrándolo” para evitar que se levante. Estos consisten en 3 tipos principales:
 - a) Hold-down de tira metálica: este elemento es una pletina que va por la cara exterior del entramado, fijando a los pies derechos de borde con la fundación, y en el caso de los muros superiores, amarra a los pies derechos de borde de un piso con los del subsiguiente.
 - b) Hold-down estándar: consiste en un elemento similar a una escuadra, que se ubica al interior del muro en el encuentro entre los pies derechos de borde y la solera. En un primer piso, este fija y ancla a ambos elementos con la fundación. En pisos superiores,

se debe ocupar hold-downs dobles, es decir, uno invertido en la parte superior del muro del piso de abajo, y otro en la parte inferior del muro del piso de arriba, estos se anclan entre sí con un perno que atraviesa el entrepiso o diafragma.

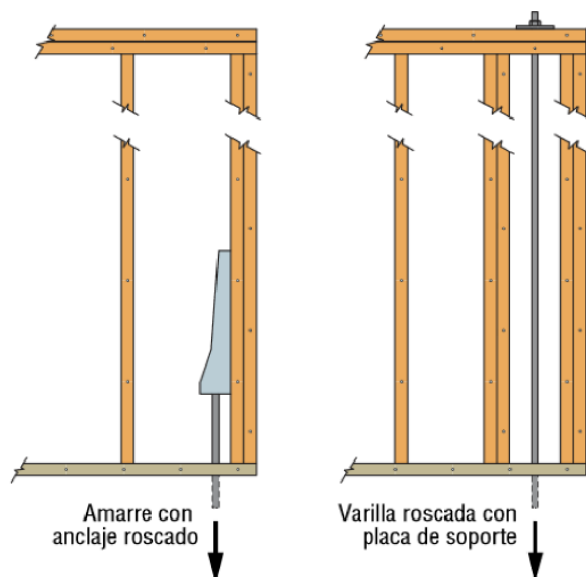


Figura 29: Amarre con anclaje roscaado (HD) y anclaje con varilla roscaada (ATS).
Fuente: Simpson Strong-Tie, 2018¹⁹.

- c) ATS: es una varilla metálica que atraviesa los muros y los abarca en el largo total de estos, amarrando la estructura de muro completa, desde el punto más alto hasta la fundación.

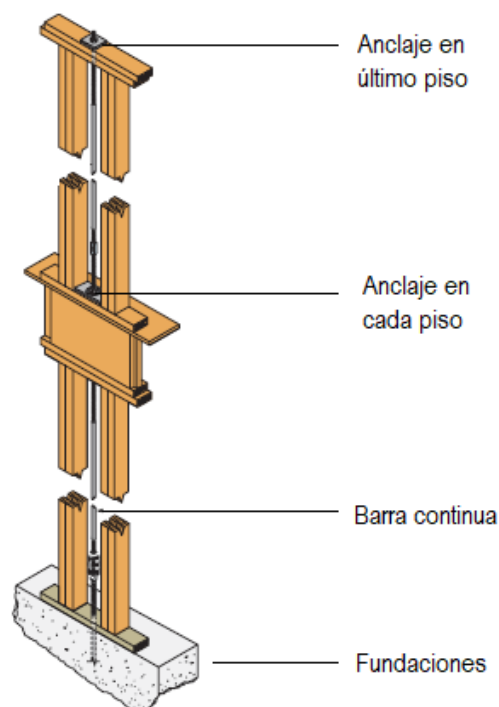


Figura 30: Sistema de anclaje roscaado ATS.
Fuente: Simpson Strong-Tie, 2018.

Contar con datos específicos como estos, respecto a su caracterización estructural, ingenieros especialistas pueden calcular la estructuración de edificios de varios pisos de altura con precisión, como se revisará más adelante.

La consideración estructural más relevante, es que se debe velar por el uso de madera certificada, con calidad estructural, y que además esté correctamente rotulada. Ya que solo así, se asegurará su comportamiento óptimo.

¹⁹ Simpson Strong-Tie. (2018). Conectores para la construcción en madera 2017-2018.

V. SISTEMA CONSTRUCTIVO MARCO Y PLATAFORMA

A. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema constructivo marco plataforma consiste en un entramado ligero de madera en el que los muros, entrepisos y techos son diseñados utilizando piezas de madera de dimensiones acotadas (escuadrías), constituyendo así un paquete constructivo no macizo de poco peso. Estos paquetes constructivos se estructuran a partir de los siguientes elementos: soleras, pies derechos, vigas y placas estructurales o diagonales.

Los muros, en su forma más elemental, están compuestos por un marco armado con piezas de madera aserrada estructural, acompañados de elementos horizontales que definen las partes superior e inferior del marco, los que se denominan soleras. Estas

se instalan acostadas sobre su cara más ancha. En cuanto a los elementos verticales del marco, denominados pies derechos de borde, estos se instalan entre las soleras, coincidiendo su espesor con el de las soleras. Hacia el interior del marco se ubican más pies derechos, desfasados uno respecto al otro a una distancia específica, medida desde sus ejes y determinada de acuerdo con la resistencia que se le quiera otorgar al elemento constructivo. Luego, a este paquete constructivo similar a una reja o parrilla, se le instala una o varias placas de OSB o terciado estructural, que cubren la estructura y la arriostran para soportar esfuerzos laterales, como los causados por sismos o por el viento.

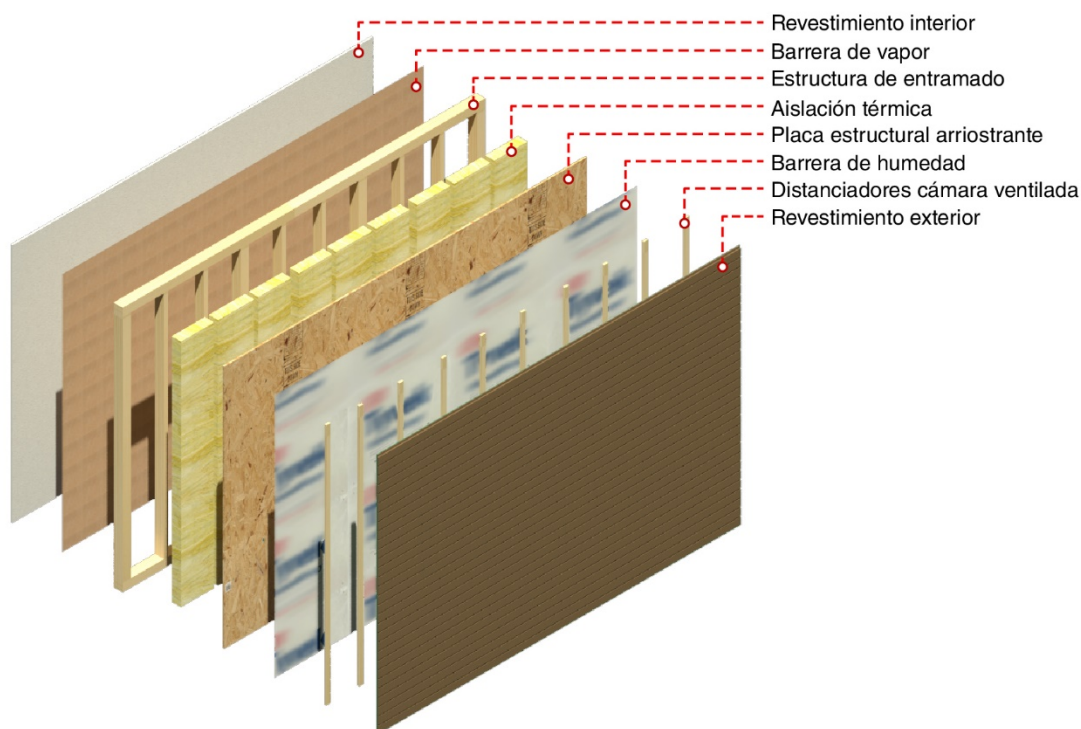


Figura 31: Composición de un muro del sistema constructivo marco y plataforma. Fuente: elaboración propia.

Este tipo de estructura también puede ser diseñada sin la utilización de placas estructurales, al incluir entre los pies derechos elementos como diagonales y cadenas, las que arriostran la estructura de madera. De todas formas, se recomienda hacer uso de placas arriostrantes pues estas otorgan mayor resistencia a la estructura, además de facilitar la instalación de aislantes como lanas, y de elementos como barreras de vapor y humedad.

Los paquetes constructivos de piso, en su configuración más básica, responden a una organización similar a la de los muros, pero de manera horizontal. Se componen de vigas horizontales de 2x8" o 2x6", dispuestas a una distancia determinada y de manera paralela, estas se encuentran conectadas a la estructura perimetral mediante vigas horizontales de borde. A este entramado de piezas de madera se le conoce como envigado, el que finalmente se arriostra mediante placas estructurales de OSB o terciado estructural.

Las estructuras de piso de entramado ligero no superan las luces de los tres a cuatro metros, principalmente porque las luces mayores requieren de una mayor densidad de vigas, lo que genera un incremento de los costos, restando así viabilidad al proyecto. A su vez, se necesitan piezas de secciones mayores a 2x8", lo que además de ser costoso, suma el problema de la escasez en

el mercado de este tipo de piezas. Para mayores luces en estas estructuras, se puede hacer uso de vigas reticuladas, vigas I-Joist, u otros elementos estructurales en la categoría de "madera de ingeniería" como LVL, LSL, PSL, entre otros.

Dependiendo de la forma en que se diseñan los paquetes constructivos verticales o muros, las estructuras de entramado de madera se dividen en dos categorías principales:

Marco Plataforma: en esta categoría, se diseñan muros donde los pies derechos tienen la altura correspondiente de un piso de altura, sobre los cuales se apoyan directamente los paquetes de piso. En este tipo de estructura se pueden construir pisos superiores por medio del apilamiento de paquetes de muros y de piso.

Balloon Frame: para estas estructuras, los paquetes de piso no se apoyan sobre los muros, sino que las vigas se amarran lateralmente a los pies derechos. Habitualmente son construcciones de dos o tres pisos, donde los pies derechos, y por tanto el muro, se extienden abarcando el total de la altura del edificio. Este tipo de estructura, dado que su altura está determinada por el largo de los pies derechos, suele encontrarse limitada por la disponibilidad de piezas de los largos necesarios.

B. COMPONENTES ESTRUCTURALES

Acorde a las capacidades estructurales que posee cada elemento dentro de un paquete

constructivo, se los clasifica de la siguiente manera:

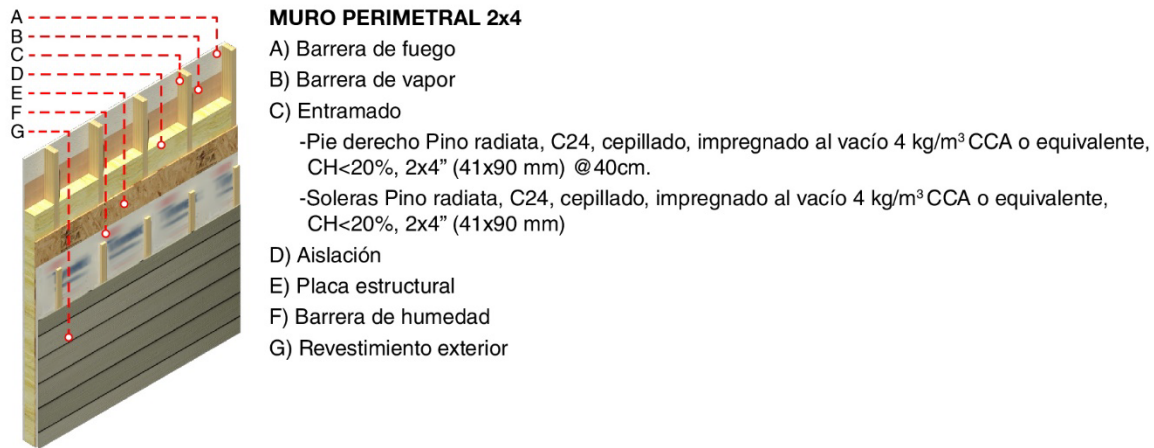


Figura 32: Detalle de elementos constructivos. Fuente: elaboración propia.

Pies derechos: son elementos verticales responsables de la resistencia del muro a las cargas verticales del edificio, principalmente las gravitacionales. Para el caso de los pies derechos de borde, estos además aportan resistencia a las cargas generadas por acciones de volcamiento, producto de una carga horizontal sísmica o de viento. Estas cargas suelen ser de compresión en un extremo del muro, y de tracción en el otro.

Soleras: son elementos horizontales que se encargan de la distribución uniforme de cargas verticales de compresión hacia los pies derechos, de la transmisión de esfuerzos de cargas laterales en los muros, y de la unión entre paneles contiguos de muros (solera de amarre).

Placa estructural: son elementos cuyo rol es rigidizar y arriostrar la estructura del muro, entrepiso o techo.

Vigas: son elementos horizontales que conforman las estructuras de entrepisos. Su rol radica en recibir las cargas que actúan

sobre ellos y trasladarlas hacia los muros para su transmisión vertical hacia el suelo.

Además de los componentes mencionados anteriormente, los elementos de unión más utilizados para estructuras de entramado ligero son los conectores metálicos. La industria ha desarrollado una amplia gama de conectores que se requieren para fijar este tipo de estructuras. Entre algunos podemos mencionar: tornillos, clavos, grapas, y conectores especialmente diseñados para uniones específicas de elementos constructivos. Uniones que pueden darse entre elementos verticales, horizontales, uniones de vigas a muros, de muros entre sí, de muros con fundaciones, entre otras. Aparte de los elementos de unión básicos, existen otros elementos de fijación que tienen como función controlar o contrarrestar distintos esfuerzos que presentan las edificaciones de madera, como, por ejemplo, los esfuerzos horizontales producidos por sismos o por acción del viento.

C. CONSIDERACIONES CONSTRUCTIVAS

Consideraciones especiales para edificaciones de mediana altura

Al desarrollar estructuras de más de dos pisos es necesario tener en consideración dos factores importantes. Por una parte, mientras más pisos tenga el edificio, su peso será mayor, lo que producirá mayores solicitaciones horizontales generadas por un sismo. Por otra parte, mientras mayor sea la altura del edificio, serán más intensos los efectos de empuje por fuerzas del viento. Estos dos factores son muy importantes al momento de diseñar un sistema de entramado ligero, ya que, a diferencia de una edificación tradicional, los edificios construidos mediante este sistema pueden llegar a pesar una cuarta parte del peso de una edificación en hormigón armado o albañilería tradicional.

Los factores señalados se abordan de las siguientes maneras al momento de diseñar una edificación

Pies derechos: para hacerse cargo del incremento de peso del edificio, los pies derechos son diseñados con menor espaciamiento entre uno y otro. Al aumentar la cantidad de piezas que reciben las cargas gravitacionales, estas estructuras pueden soportar mayores cargas. También se

pueden llegar a utilizar pies derechos conformados por piezas dobles o incrementando sus escuadrias.

Pies derechos de borde: Mientras mayores sean las cargas horizontales, mayor será el esfuerzo axial vertical en los extremos del muro. Para hacerse cargo de dicho esfuerzo, se consideran elementos de bordes múltiples, de dos o más piezas de acuerdo con lo que determine el cálculo estructural.

Soleras: en estas piezas no se consideran mayores cambios en el diseño de una edificación. Siempre es recomendable que las soleras superiores sean piezas dobles. Sin embargo, cuando las cargas de compresión por volcamiento en pies derechos de borde son muy elevadas, las soleras inferiores pueden fallar por aplastamiento, por lo que el cálculo de los pies derechos de borde es un punto importante por considerar en el diseño estructural.

Placas estructurales: para casos en donde los esfuerzos laterales son muy elevados, lo más frecuente es encontrar muros que cuenten con más de una placa arriostrante. Especialmente en los primeros pisos, ya que estos muros son los más solicitados estructuralmente.

VI. ANÁLISIS DE CASOS: APLICACIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO EN MADERA DE MARCO Y PLATAFORMA PARA VIVIENDAS DE 1 A 6 PISOS

A continuación, se presentan los casos de estudio que han sido proyectos desarrollados por el CIM UC, en los cuales se han implementado variadas soluciones constructivas y desarrollos tecnológicos con el fin de promover la construcción sustentable con madera en el país. Estas iniciativas se enmarcan en el programa estratégico nacional “Construcción Sustentable” del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, que busca impulsar la integración del concepto de desarrollo sustentable en el área de la construcción en Chile, tanto en la planificación, diseño, construcción, como en la operación de las edificaciones e infraestructura. El objetivo de esta entrega informativa es potenciar el uso de la madera como un material de construcción que aporta a la eficiencia energética, sustentabilidad y altos estándares en la construcción.

Se analizan específicamente dos proyectos de “Barrios Eco sustentables” con tipologías de uno a cuatro pisos, ubicados uno en la Región de Atacama, y otro en la Región de los Lagos. Por otra parte, se analiza un proyecto en la zona centro del país, el que consiste en un edificio de madera de mediana altura, con el que se pretende abordar las especificidades de las tipologías de 5 a 6 pisos.

Estos proyectos desarrollados por el CIM UC durante el año 2017, tienen como principal objetivo establecer un hito y precedente al hablar de vivienda construida en madera en Chile, de tal forma que se puedan materializar a futuro soluciones constructivas que contemplen las virtudes y

bondades del sistema de marco plataforma en madera.

En concordancia con lo anterior, el uso de soluciones constructivas industrializadas en madera es promisorio y puede traer consigo una serie de ventajas, tales como: a) la rapidez en la ejecución de las obras, lo que la convierte en un sistema ideal para responder a la demanda habitacional del país; b) aumento de la productividad en la construcción; c) disminución de costos asociados a los gastos generales y equipos y maquinaria de terreno; d) reducción de residuos.

Es importante mencionar que los proyectos solicitados por el Servicio de Vivienda y Urbanismo (SERVIU), presentan en algunos casos normativas más restrictivas que los proyectos privados, por lo que cada una de estas particularidades se mencionarán en el apartado correspondiente. Por ejemplo, para viviendas de 1 a 2 pisos, los proyectos privados no requieren de memoria de cálculo, a diferencia de las viviendas SERVIU, donde sí es necesaria una memoria de cálculo estructural en toda vivienda.

Para cada caso analizado, se presenta una descripción del proyecto y de las soluciones constructivas utilizadas, las que responden a criterios exigidos por normativas estructurales, de comportamiento higrotérmico y de hermeticidad, y también de respuesta frente al fuego y comportamiento acústico.

Primero, se hace una revisión de las normativas estructurales que debe cumplir cada proyecto analizado.

Segundo, como mencionamos anteriormente, las soluciones constructivas de techumbres, muros perimetrales, pisos inferiores ventilados y superficies de ventanas que conforman la envolvente de una vivienda, deben cumplir con las exigencias higrotérmicas y de hermeticidad indicadas en el art. 4.1.10 de la OGUC según la zona térmica en donde se emplace el proyecto. Estas soluciones constructivas deben cumplir con las exigencias de transmitancia térmica “U” o resistencia térmica “RT” o R100 establecidas en las tablas 1 y 2 del artículo 4.1.10 de la OGUC, más criterios propios de la zona correspondiente a los PDA.

Tercero, se presentan los criterios requeridos por la normativa de respuesta frente al fuego. Tal como se describe en el capítulo III del documento, la normativa frente al fuego busca conseguir que se cumplan las siguientes condiciones según el Art 4.3.1 de la OGUC:

- Que se facilite el salvamento de los ocupantes de los edificios en caso de incendio.

- Que se reduzca al mínimo el riesgo de incendio en cada edificio.
- Que se evite la propagación del fuego, tanto al resto del edificio como desde un edificio a otro.
- Que se facilite la extinción de los incendios.

Por último, se revisa la normativa acústica aplicada a los diferentes casos. La normativa acústica se refiere a los requerimientos de estándares acústicos asociados a la reducción del ruido que debe preservar una edificación y vivienda, especialmente cuando se encuentra contigua a otra. Esto incluye todos los elementos que separen o dividan unidades de vivienda que sean parte de un edificio colectivo, ya sean separaciones entre unidades de vivienda de edificaciones continuas, entre unidades de viviendas de edificaciones pareadas o entre unidades de viviendas que estén contiguas a recintos no habitables. Todas estas deben cumplir con las exigencias señaladas en el art. 4.1.6 de la OGUC.

A. CASO VIVIENDA DE 1 A 2 PISOS

El primer caso de estudio es una vivienda de 2 pisos desarrollada en la comuna de Osorno, la que forma parte del proyecto “Barrios Eco sustentables” que se encuentran diseñadas bajo la modalidad de

subsidio Fondo Solidario de Elección de Vivienda D.S 49, esto con el fin de dar solución habitacional a las familias pertenecientes a campamentos de la zona sur del país.

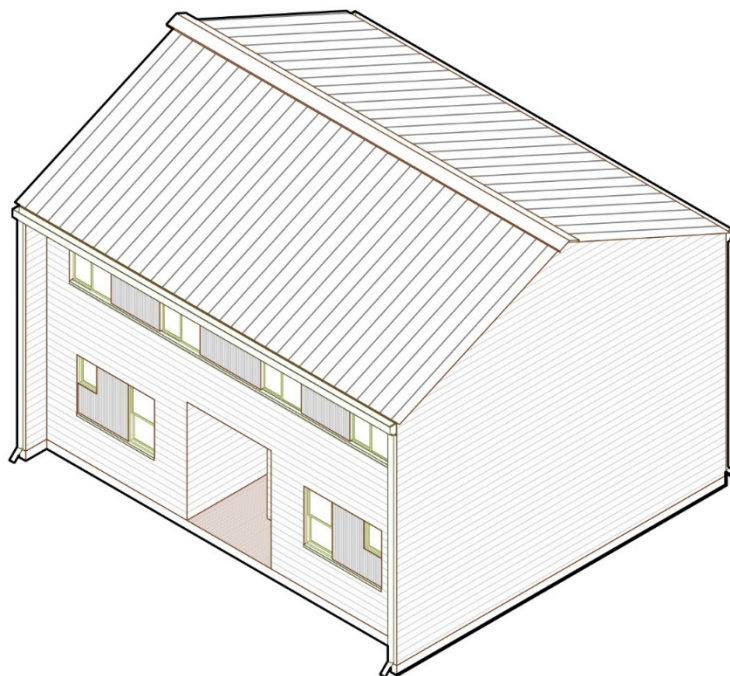


Figura 33: Axonométrica vivienda 2 pisos ubicada en Osorno. Fuente: elaboración propia.

Es importante señalar que esta vivienda contempla consideraciones especiales con respecto a la normativa térmica vigente, ya que cumple con estándares descritos por el “Plan de Descontaminación Atmosférica de Osorno” PDAO.

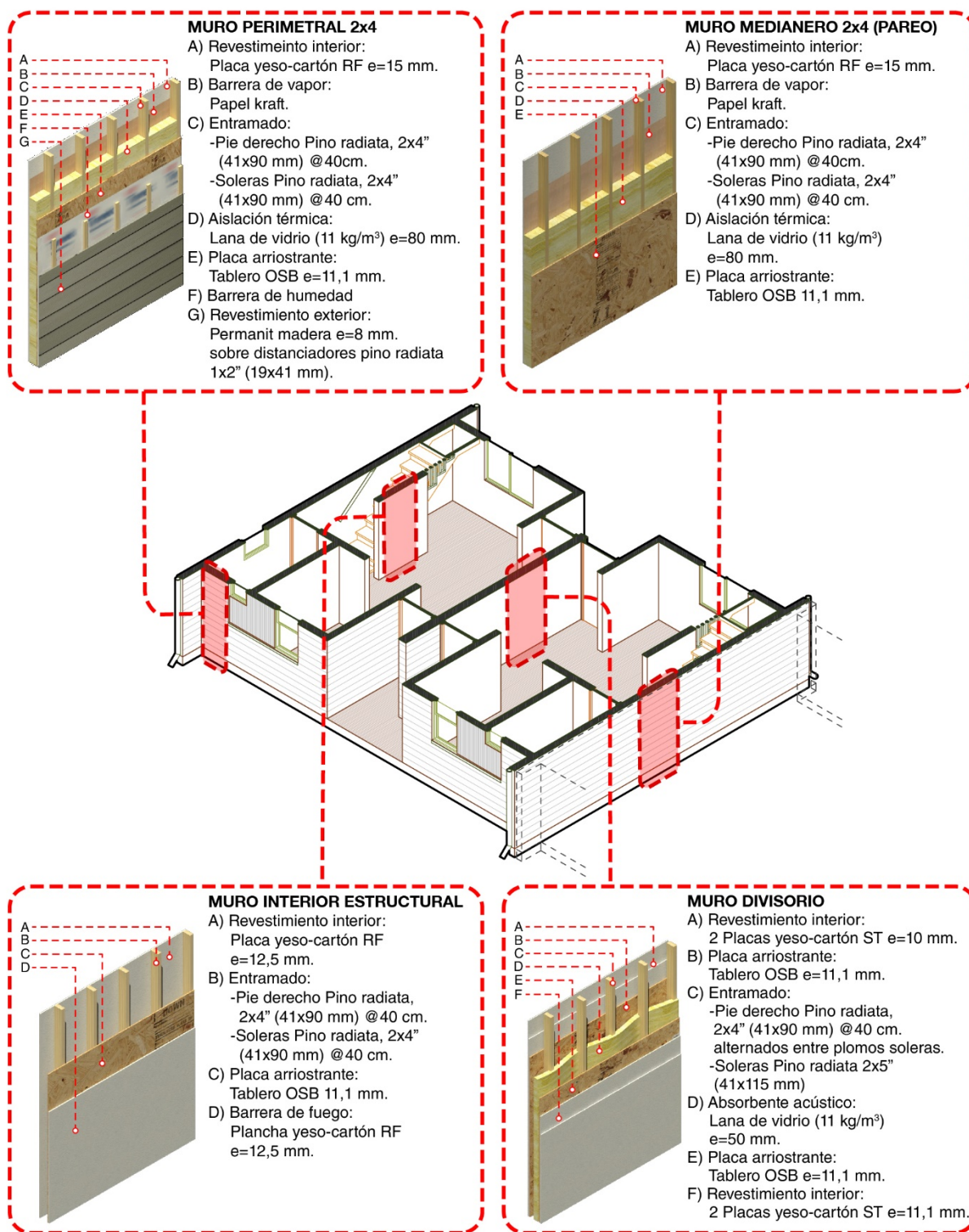
A continuación, se explica cada normativa específica aplicada a esta vivienda de dos

pisos, abarcando requerimientos estructurales, normativa higrotérmica y de hermeticidad, requerimientos de protección al fuego y requerimientos acústicos para elementos constructivos. En la tabla siguiente se muestran las normativas y los requerimientos mínimos que se deben cumplir.

Tabla 14: Normativa general aplicada a vivienda de 1 a 2 pisos

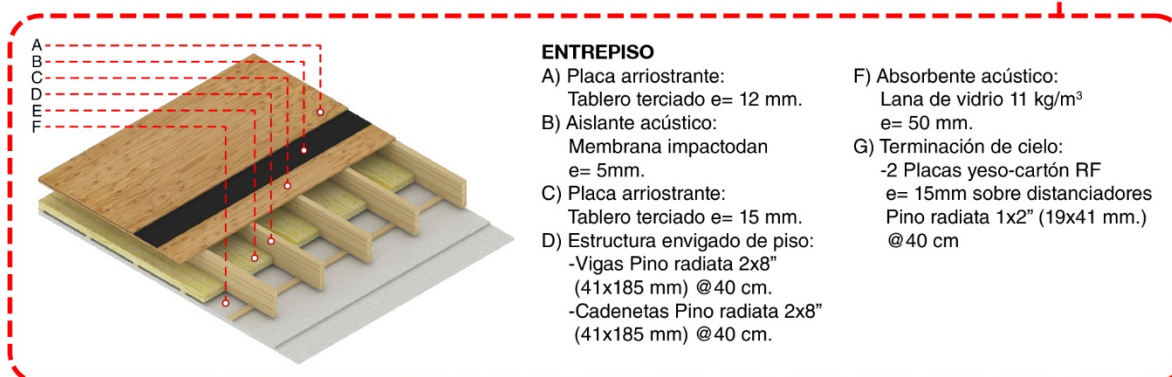
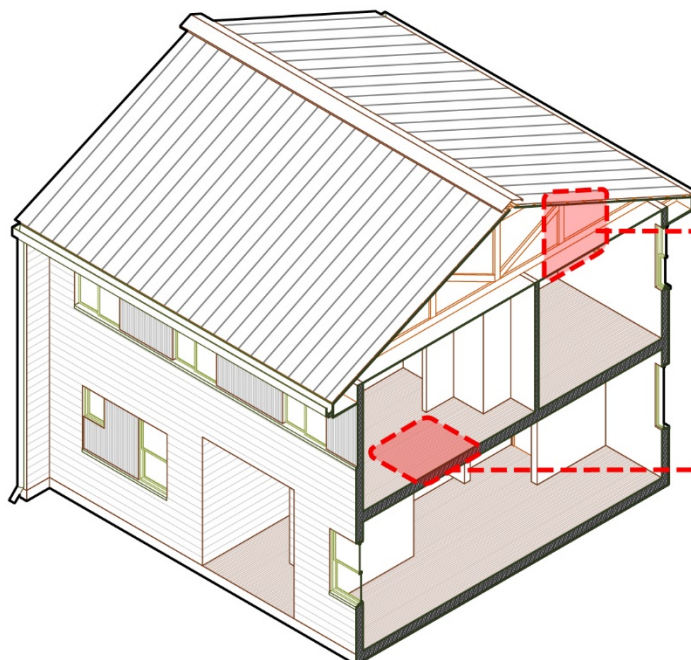
NORMATIVA	REQUERIMIENTO	ELEMENTO CONSTRUCTIVO	REQUERIMINETO MÍNIMO
Art. 4.3.3 y 4.3.5 OGUC	Protección al fuego	Muros estructurales	F-15
		Muro divisorio	F-60
Art. 4.1.6 OGUC	Requerimiento Acústico	Muro divisorio	45 dB(A) de reducción 75 dB máx impacto
Art. 4.1.10 OGUC + PDAO	Requerimiento Higrotérmico y de Hermeticidad	Techo	0,33 W/m²K
		Muro	0,40 W/m²K
		Piso Ventilado	-
Art. 5.6.7 y 5.6.13 OGUC + Art 2.6.1 Itemizado D.S 49	Exigencia Estructural según	Proyecto de Cálculo estructural	Si (proyecto aprobado por SERVIU)
		Revisión de proyecto de cálculo estructural	

Posteriormente, se muestra la composición de las diferentes soluciones constructivas utilizadas en la vivienda. Cabe destacar que las soluciones detalladas cumplen con la normativa, y en los apartados siguientes se explicará el porqué de cada una de ellas.

**Notas:**

- Todos los elementos de pino radiata utilizado consideran:
 - Grado estructural C16.
 - Cepillado.
 - Seco. Contenido de humedad (CH) entre 12 y 15%.
 - Impregnado de presión vacío 4 kg/m³ CCA o equivalente.
- En muros y cielos de recintos húmedos remplazar placas de yeso-cartón por placas yeso-cartón RH del mismo espesor.
- Los productos especificados son referenciales. Pueden ser remplazados por otros técnicamente equivalentes.

Infografía 1: Soluciones constructivas de muros del proyecto de vivienda de 2 pisos



Notas:

- Todos los elementos de pino radiata utilizado consideran:
 - Grado estructural C16.
 - Cepillado.
 - Seco. Contenido de humedad (CH) entre 12 y 15%.
 - Impregnado de presión vacío 4 kg/m³ CCA o equivalente.
- En muros y cielos de recintos húmedos remplazar placas de yeso-cartón por placas yeso-cartón RH del mismo espesor.
- Los productos especificados son referenciales. Pueden ser remplazados por otros técnicamente equivalentes.

Infografía 2: Soluciones constructivas de techumbre y entrepiso del proyecto de vivienda de 2 pisos

I. REQUERIMIENTO NORMATIVO ESTRUCTURAL

La estructura de esta vivienda de 2 pisos utiliza el sistema constructivo de marco plataforma en madera, lo que hace de esta una estructura muy liviana.

La vivienda se estructura principalmente por sus paneles de muros perimetrales interiores de primer nivel, los cuales se montan respectivamente sobre las soleras de montaje de Pino Radiata Cepillado impregnado según NCh 819, de 2x4 que se encuentran ancladas a sobrecimientos (primer nivel) o al entramado de piso (segundo nivel), y además sobre caucho impermeabilizante.

Los requerimientos que establece la normativa estructural para las edificaciones que analizamos con mayor detención en el Capítulo III, hacen referencia a los artículos que van desde el Art. 5.6.7. al 5.6.13. de la OGUC. Aquí se regulan todas las consideraciones que deben tener las edificaciones de madera y sus respectivas soluciones constructivas.

Para este caso de estudio, viviendas de 1 y 2 pisos, existe una salvedad en el Art 5.6.7 OGUC, que exige de cálculo estructural a edificaciones de hasta 2 pisos (incluida cubierta o mansarda) que tengan una altura máxima de 7m. Salvo cuando se trata de proyectos públicos, como sucede en el caso analizado, que constituye un proyecto acogido a subsidio habitacional.

Es importante mencionar que además de este proyecto, cualquier proyecto público, vale decir, edificaciones de uso público o encargadas por el sector público, debe contemplar el desarrollo de un proyecto de cálculo estructural y de revisión de cálculo independiente, como describiremos en los

siguientes casos analizados con mayor detención.

Es por esto que, para este caso particular, la estructura de la vivienda fue diseñada de acuerdo a un proyecto de cálculo estructural, el cual toma como base las soluciones constructivas que describimos anteriormente, esto para garantizar el buen comportamiento de cada una de las soluciones constructivas ante sismos y requerimientos específicos de la vivienda.

Los muros, techumbres, entrepisos y muros no estructurales estarán elaborados a partir de madera de Pino Radiata, cepillado, seco (12 % y 15 % de humedad), impregnada, clasificada visualmente G2 mecánicamente C16, y en cumplimiento con las normas NCh 819, que corresponden a normas según uso y riesgo del CCA. Estas son: NCh 755 Preservación-Medición de la penetración del preservante, NCh 1207 Clasificación visual para uso estructural, y NCh 2824, con tolerancias dimensionales de espesor 0; +1 mm, ancho 0; +2 mm y tolerancia de distanciamiento de ± 2 mm.

ENTRAMADO DE PISO:

- Arriostramiento: placa terciado estructural de 15 mm, sobre las vigas y costaneras. Sobre la membrana acústica se instalará una placa de terciado estructural de 12 mm.
- Entramado estructural: vigas y cadenas de Pino Radiata 2x8 grado C16, cepillado, seco (entre un 12 y un 15 % de humedad), impregnado con presión al vacío según NCh 819, cada 40 cm máximo, y clavados con clavos galvanizados.

MUROS:

- Entramado estructural: pie derecho Pino radiata 2x4" (41x90 mm) @40 cm.

Soleras Pino radiata 2x4" (41x90 mm)
@40cm. Grado estructural C16,
cepillado, seco. Contenido de humedad

(CH) entre 12 y 15 %. Impregnado de
presión al vacío 4 kg/m.

Tabla 15: Tensiones admisibles y clasificación estructural según grado

GRADO ESTRUCTURAL	TENSIONES ADMISIBLES DE:					MODULO DE ELASTICIDAD EN FLEXIÓN	INDICE DE APLASTAMIENTO EN COMPRESIÓN NORMAL
	FLEXIÓN	COMPRESIÓN PARALELA	TRACCIÓN PARALELA	COMPRESIÓN NORMAL	CIZALLANTE		
	F f	F cp	F tp	F cn	F cz	E f 2)	E cn,h
	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	Mpa/mm
A) VISUALES							
GS	11.0	8.5	6.0	2.5	1.1	10500	5.65
G1	7.5	7.5	5.0	2.5	1.1	10000	
G1 y mejor	9.5	7.8	5.5	2.5	1.1	10100	
G2	5.4	6.5	4.0	2.5	1.1	8900	
B) MECÁNICOS							
C24	9.3	8.0	4.7	2.5	1.1	10200	5.65
C16	5.2	7.5	3.5	2.5	1.1	7900	
MGP10	8.4	10.0	4.0	2.5	1.3	10000	
MGP12	13.5	15.5	6.0	2.5	1.3	12700	

Todo clavo será galvanizado, con una tolerancia del largo $\pm dc$ (diámetro del clavo) y tolerancia del diámetro de $\pm 0,1$ mm para diámetros $\geq a$ 3 mm, y de $\pm 0,05$ mm para diámetros $\leq a$ 3 mm.

ii. NORMATIVA HIGROTÉRMICA Y DE HERMETICIDAD APLICADA

Para el caso de análisis de esta vivienda de 2 pisos de tipología pareada en la ciudad de Osorno, en primer lugar, se identifica la zona térmica a la que pertenece, en este caso a la Zona 5, como se puede ver en la siguiente imagen.

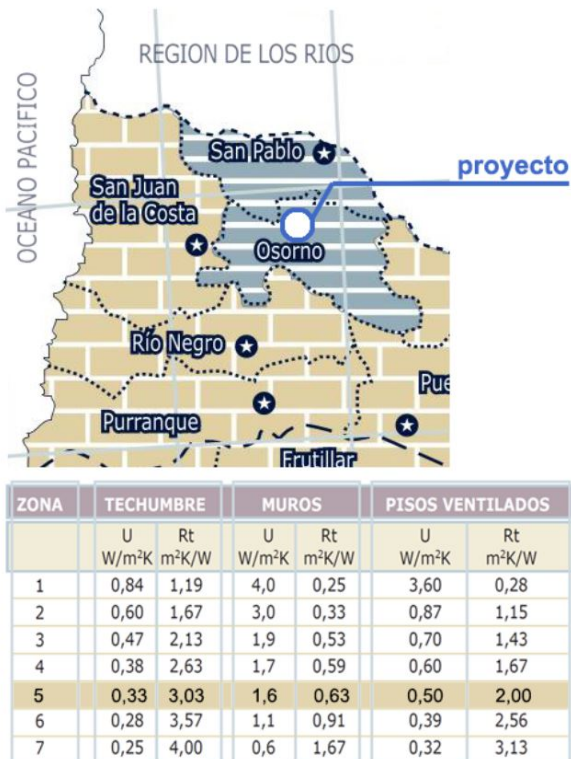


Figura 34: Zona térmica de la ciudad de Osorno. Imagen intervenida de “Manual de la aplicación de la reglamentación térmica”.

Las transmitancias térmicas de los diferentes elementos están definidas por su solución constructiva, y se obtiene mediante el cálculo definido en la norma NCh 853.

Un requerimiento importante que menciona el artículo se refiere a la incorporación de barreras de vapor y/o humedad en los casos donde la solución constructiva contemple ya una aislación térmica, esto para evitar condensaciones intersticiales que puedan dañar la integridad de los materiales interiores de la solución constructiva y también para evitar la aparición de hongos.

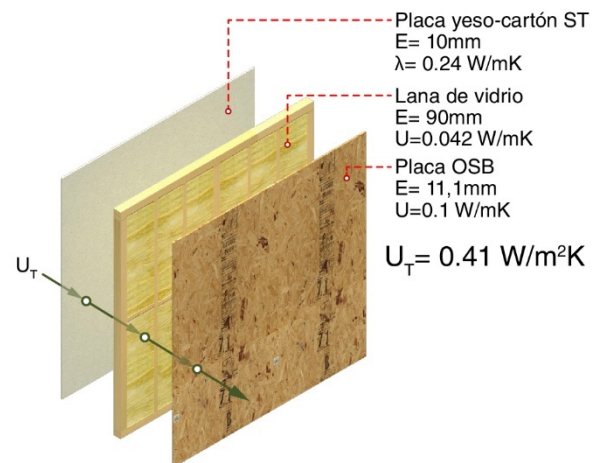


Figura 35: Aporte de transmitancia por material de la solución constructiva.

Como menciona la OGUC en su Art 4.1.10, una consideración constructiva importante para minimizar la ocurrencia de puentes térmicos es que los materiales aislantes térmicos solo puedan estar interrumpidos por elementos estructurales y/o por tuberías, ductos o cañerías de las instalaciones domiciliarias. Asimismo, al incorporar aislante térmico en las soluciones constructivas que lo requieran, se deberá instalar lo más al exterior posible, para reducir el riesgo de condensación intersticial.

iii. REQUERIMIENTO ESPECIAL DE PDAO

El Plan de Descontaminación Atmosférico de Osorno (PDAO) tiene como finalidad establecer una serie de acciones para combatir la contaminación medioambiental de la ciudad de Osorno. Para el caso de la construcción de viviendas, se establecen nuevos parámetros en cuanto al acondicionamiento térmico de las construcciones, con el objetivo de mejorar el confort interior y la eficiencia energética de estas.

Las soluciones constructivas aplicadas a esta vivienda permiten mejoras significativas en cuanto a su

acondicionamiento térmico, tales como la incorporación de aislación térmica de mayor densidad y un sistema de ventilación en toda la vivienda, esto va en concordancia con las recomendaciones expuestas en el capítulo III de este manual.

Estas mejoras disminuyen la transmitancia térmica de las soluciones constructivas y también el riesgo de presentar condensación superficial e intersticial al interior de las viviendas.

A continuación, se comparan los requerimientos adicionales de acuerdo con el PDAO (2018), con lo exigible para una Zona 5 de la reglamentación térmica y lo proyectado por las soluciones constructivas propuestas para esta vivienda.

ELEMENTO	VALOR MÁX. U (W/m ² K) RT	VALOR MÁX. U (W/m ² K) OSORNO	VALOR MÁX. U (W/m ² K) PROYECTO	CUMPLE
Techo	0,33	0,33	0,27	Si
Muro	1,6	0,4	0,36	Si
Piso ventilado	0,5	0,5	-	N/A

Figura 36: Comparación de transmitancia térmica de las soluciones constructivas PDAO 2018.

Al ser una etapa temprana de implementación del PDAO, las exigencias en cuanto a transmitancia térmica de las soluciones constructivas de envolvente sufrieron una leve variación, partiendo por la disminución en la transmitancia exigible en muros, que pasó de 1,6 W/m²k a 0,4W/m²k.

A la fecha estas medidas han aumentado, y seguirán siendo más rigurosas de aquí al 2025, tal y como se detalla en la Figura 11: comparación de normativa térmica aplicada por PDAO (fuente: modificado de www.pdao.cl).

A continuación, se detallará de qué manera las soluciones constructivas de muros perimetrales y techumbres, propuestas para el caso de la vivienda de 1 a 2 pisos, cumplen con los desempeños térmicos indicados para esta localidad.

MURO PERIMETRAL

A través del cálculo de transmitancia térmicas, indicados en la Normativa NCh 853:2007, se pudo establecer que las viviendas presentan los siguientes valores:

Para la zona donde se encuentra el aislante térmico de 90 mm, la transmitancia térmica calculada es de 0,32W/m²k, mientras que para el puente térmico ubicado en la zona

del pie derecho de madera es de 0,85 W/m²k. Para el cálculo general de la transmitancia térmica de la solución constructiva, se debe ponderar la participación de cada zona en el área de la cara del muro por la que se escapa la

energía, y se expresa en porcentajes. Como lo resume la siguiente tabla, la transmitancia térmica final de la solución constructiva para el elemento de muro perimetral es de 0,37 W/m²k, cumpliendo con lo establecido de máximo 0,40 W/m²k.

	TRANSMITANCIA TÉRMICA (W/M ² K)	PORCENTAJE	U PARCIAL (W/M ² K)
Zona aislante	0.32	89.75%	0.29
Zona pie derecho	0.85	10.25%	0.09
Transmitancia Térmica Up			0.37

Figura 37: Cálculo transmitancia térmica ponderada de muro perimetral.

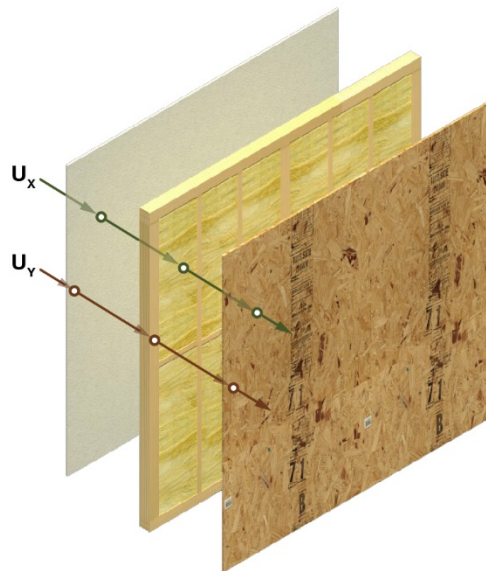


Figura 38: Materiales y dimensiones para calcular la transmitancia térmica ponderada de muro perimetral.

El muro perimetral de las viviendas se encuentra protegido con placas de yeso cartón al interior, lana de vidrio para su aislación y fibrocemento para su fachada. Además, se considera una cámara de aire entre la estructura y la fachada para favorecer el confort térmico al interior de la vivienda, acogiendo las recomendaciones realizadas en este manual. Es preciso añadir que se debe utilizar un sistema estructural prefabricado y montado en obra, con las siguientes características:

Según las recomendaciones 1, 2, 3 y 4 del capítulo III apartado b del presente documento, se establece que (1) la incorporación de materiales considerados como aislantes, (2) el aumento de la densidad en materiales aislantes, (3) aumento del grosor del material aislante, e (4) incorporación de cámaras de aire dentro de la solución constructiva, se deben revisar de acuerdo a las siguientes especificaciones:

- Aislación térmica: lana de Vidrio 11 kg/m³ de densidad y espesor de 80 mm, al interior del entramado estructural.
- Cámara Ventilada: distanciadores de Pino Radiata 1x2, (19x41mm) cada 40 cm, cepillado, seco (entre un 12 y un 18 % de humedad), impregnado con presión al vacío según NCh819, esto para generar una cámara de aire de 19 mm. También se consideran clavos de 1 ¼" cada 0,30 m.

En relación a las recomendaciones 5 y 6, correspondientes a: incorporación de barreras de viento, humedad y vapor, e incorporación de sellos y barreras.

- Arriostramiento: tablero OSB PLUS estructural de 11,1 mm al plomo exterior del entramado de muro + Barrera de Viento membrana tipo TYPAR o técnicamente equivalente por la cara exterior del OSB PLUS. Se considera aplicación de cinta de sellado según proveedor en empalme membrana, encuentro de vanos, perforaciones de instalaciones y sobrecimientos para asegurar la continuidad de la instalación de la Barrera de Viento y la hermeticidad de la vivienda según PDAO.
- Barrera semipermeable de vapor tipo papel Kraft CMPC (36,6 MNs/g).
- Revestimiento Interior: se considera como barrera de fuego una placa de Yeso Cartón RF de 15 mm de espesor, con canto rebajado de industria. Se deben considerar sellos en uniones entre placas, y en zonas húmedas, sellos impermeables. Para el caso de tabiques en zonas húmedas, se debe reemplazar el de la cara que da al recinto húmedo por Yeso Cartón ERH de 15 mm, revestimiento de terminación (2 manos de pintura resistente a la humedad) y sello de neopreno del tipo compriband bajo solera.
- Se considera la colocación de caucho impermeabilizante para las piezas de madera asentadas sobre hormigón con retorno de 3 cm por ambos costados de la solera.
- Las tabiquerías deben considerar forros por ambas caras, que cumplan con los requisitos de resistencia al fuego, aislación acústica y térmica. También se deben considerar los sellos entre encuentros de distinta materialidad, en los que se generen separaciones.
- En zonas húmedas, se considerarán sellos impermeables entre placas, revestimiento de terminación y sello de neopreno del tipo compriband bajo solera.
- Las piezas de madera asentadas sobre hormigón deben llevar una barrera a la humedad con retorno de 3 cm por ambos costados de la solera.
- Se debe consultar un sello bajo las soleras inferiores u otra solución que impida el ingreso del viento.
- Se deben asegurar los sellos de hojalatería en todo el borde de encuentro de muros, instalados por debajo del revestimiento, como se indica en detalles constructivos de arquitectura.

TECHUMBRE

El complejo de techumbre consiste en estructuras de cerchas, cuyo cordón inferior está conformado por vigas de 2x6" (41x138 mm) de pino dimensionado de grado estructural C16 o superior, seco impregnado según norma NCh 819. Bajo el cordón inferior se instalan distanciadores de 2x1" a los que se fijan dos placas de yeso

cartón RF de 12,5 mm. En cavidades interiores entre envigado, se considera aislante térmico de 150 mm de espesor, capas de lana de vidrio de espesor nominal 100 y 50 mm, y densidad nominal 11 kg/m³.

De la misma forma que para el cálculo anterior, mediante normativa NCh 853:2007, se pudo establecer que la vivienda presenta los siguientes valores para la estructura de techumbre. Para la zona donde se encuentra el aislante térmico de 150 mm, la transmitancia térmica calculada es de 0,26 W/m²K, mientras que

para el puente térmico ubicado en la zona de la viga de pino radiata es de 0,42 W/m²K. Para el cálculo general de la transmitancia térmica de la solución constructiva se considera un ponderado del porcentaje correspondiente a cada transmitancia anteriormente descrita.

Como lo resume la siguiente tabla, la transmitancia térmica final de la solución constructiva para el elemento de muro perimetral es de 0,27 W/m²K, superando el máximo establecido de 0,40 W/m²K.

	TRANSMITANCIA TÉRMICA (W/M ² K)	PORCENTAJE	U PARCIAL (W/M ² K)
Zona aislante (U _x)	0.26	96.64%	0.26
Zona viga/cercha (U _y)	0.42	3.36%	0.01
Transmitancia Térmica Up			0.27

Figura 39: Transmitancia térmica ponderada techo.

Para los elementos estructurales horizontales, se utiliza un sistema estructural prefabricado y montado en obra, con las siguientes características:

- Revestimiento cielo: 2 Yeso-Cartón RF 12,5 mm.
- Barrera semipermeable de vapor tipo papel Kraft CMPC (36,6 MNs/g).
- Arriostramiento: placa de OSB de 11,1 mm.
- Impermeabilizante: fieltro asfáltico de 15 lbs. Se considera la aplicación de cinta de sellado para asegurar la continuidad de la barrera y la hermeticidad de la vivienda según PDAO.
- Para unir placas de contrachapado entre viviendas, se utilizarán flejes metálicos de amarre.
- Estructura de cercha: cordón inferior y cordones superiores de Pino Radiata 2x6 (41x138 mm), 2x4 (41x90) y 2x3 (41x65), según planos estructurales, C16, cepillado, seco (entre un 12 y un 15 % de humedad), impregnado presión vacío según NCh819. Cerchas cada 1,22 m máximo a eje, clavados según detalle de cálculo. Costaneras de cercha 2x4 (41x91) Pino Radiata (41x91) cada 61 cm a eje.
- Aislación térmica: lana de Vidrio 11kg/m³ de densidad o según resultados de ensayos acústicos, y espesor de 150 mm al interior del entramado estructural.
- En aleros, se considerará Permanit de 10 mm con perforaciones para rejilla de ventilación.
- Distanciadores: pino Radiata 1x2, (19x41 mm.), cepillado, seco (entre un 12 y un

18% de humedad), impregnado con presión al vacío según NCh819. Todo esto para generar una cámara de aire de 19 mm al exterior de la Barrera de Humedad.

- Montantes para instalación: en sentido perpendicular a los distanciadores. Pino Radiata 1x2, (19x41 mm.), cepillado, seco (entre un 12 y un 18 % de humedad), impregnado con presión al vacío según NCh819,
- Revestimiento: emballetado Zinalum tipo A2 (cintac), 0,5 mm prepintado color a definir por arquitectura y comité.
- Cumbre: caballete de Zinc alum espesor 0,5 mm, sobre piezas dimensionadas de madera Pino R. Cepillado, Seco impregnado 2x6" @60cm, las que van fijadas a la placa de contrachapado para generar la ventilación de la techumbre. Por el canto exterior de ellas, es preciso fijar una malla mosquitera de acero galvanizado.

Para el caso de esta vivienda, solo estas dos soluciones constructivas tienen requerimientos normativos térmicos, ya que no cuenta con soluciones de pisos ventilados.

iv. NORMATIVA DE FUEGO APLICADA

Para el caso de una vivienda pareada de 2 pisos de altura y con área de 50 m² se aplica el numeral 14 del Art. 4.3.5 OGUC, en donde se menciona que las edificaciones de este tipo (viviendas de hasta 140 m² ya sean pareadas, aisladas o continuas, de 1 a 2 pisos), deberán cumplir con todos los elementos constructivos y soluciones, al menos F-15 siempre y cuando sus muros divisorios o de adosamiento cumplan con la exigencia requerida según el Art 4.3.3. de la OGUC.

Siguiendo lo anterior, en primer lugar, se debe identificar el requerimiento frente al fuego que se exige tanto para muros divisorios como medianeros. Para esto se debe situar esta edificación en uno de los 4 tipos de edificaciones (edificación tipo a, b, c o d) de acuerdo con su uso y cantidad de pisos.

En este caso el uso es "habitacional" y corresponde a un edificio de 2 pisos. Por lo que se sitúa como una edificación del tipo "d" según la Tabla 1 del Artículo 4.3.4.

DESTINO DEL EDIFICIO	SUPERFICIE EDIFICADA (M ²)	NÚMERO DE PISOS						
		1	2	3	4	5	6	7 O MÁS
HABITACIONAL	CUALQUIERA	D	D	C	C	B	A	A
HOTELES O SIMILARES	SOBRE 5.000	C	B	A	A	A	A	A
	SOBRE 1.500 Y HASTA 5.000	C	B	B	B	A	A	A
	SOBRE 500 Y HASTA 1.500	C	C	C	B	B	B	A
	HASTA 500	D	C	C	B	B	B	A
MUSEOS	SOBRE 1500	C	C	B	B	B	A	A
	SOBRE 500 Y HASTA 1.500	C	C	C	B	B	B	A
	HASTA 500	D	C	C	B	B	B	A
SALUD (CLÍNICAS, HOSPITALES Y LABORATORIOS)	SOBRE 1.000	C	B	B	A	A	A	A
	HASTA 1.000	C	C	B	B	A	A	A
SALUD (POLICLÍNICOS)	SOBRE 400	C	C	B	B	B	B	A
	HASTA 400	D	C	C	B	B	B	A
RESTAURANTES Y FUENTES DE SODA	SOBRE 500	B	A	A	A	A	A	A
	SOBRE 250 Y HASTA 500	C	B	B	A	A	A	A
	HASTA 250	D	C	C	B	B	A	A
LOCALES COMERCIALES	SOBRE 500	C	B	B	A	A	A	A
	SOBRE 200 Y HASTA 500	C	C	B	B	A	A	A
	HASTA 200	D	C	C	B	B	A	A
BIBLIOTECAS	SOBRE 1.500	B	B	A	A	A	A	A
	SOBRE 500 Y HASTA 1.500	B	B	B	A	A	A	A
	SOBRE 250 Y HASTA 500	C	B	B	B	A	A	A
	HASTA 250	D	C	B	B	A	A	A
CENTRO DE REPARACIÓN AUTOMOTORAS	CUALQUIERA	D	C	C	B	B	B	A
EDIFICIO DE ESTACIONAMIENTO	CUALQUIERA	D	C	C	C	B	B	A

Figura 40: Tipo de edificación según uso y cantidad de pisos, según tabla 1 del artículo 4.3.4 OGUC (intervenida).

Una vez claro el tipo de edificación al que corresponde la vivienda, es preciso revisar la tabla de resistencia al fuego requerido para elementos constructivos, en el Art. 4.3.3. de la OGUC. Esto servirá para identificar la resistencia requerida para los muros divisorios. En este caso corresponderá una resistencia de F-60 para estos elementos constructivos.

Figura 41: Resistencia al fuego según elemento constructivo, según Art. 4.3.3 OGUC (intervenida).

ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN									
TIPO	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
a	F-180	F-120	F-120	F-120	F-120	F-30	F-60	F-120	F-60
b	F-150	F-120	F-90	F-90	F-90	F-15	F-30	F-90	F-60
c	F-120	F-90	F-60	F-60	F-60	-	F-15	F-60	F-30
d	F-120	F-60	F-60	F-60	F-30	-	-	F-30	F-15

SIMBOLOGÍA
ELEMENTOS VERTICALES
(1) MUROS CORTAFUEGO
(2) MUROS ZONA VERTICAL DE SEGURIDAD Y CAJA DE ESCALERA
(3) MUROS CAJA ASCENSORES
(4) MUROS DIVISORIOS ENTRE UNIDADES (HASTA LA CUBIERTA)
(5) ELEMENTOS SOPORTANTES VERTICALES
(6) MUROS NO SOPORTANTES Y TABIQUES
ELEMENTOS VERTICALES Y HORIZONTALES
(7) ESCALERAS
ELEMENTOS HORIZONTALES
(8) ELEMENTOS SOPORTANTES HORIZONTALES
(9) TECHUMBRE INCLUIDO CIELO FALSO

Al momento de aplicar los requerimientos de fuego para una vivienda de este tipo, se puede observar que la mayor parte de los elementos constructivos deben cumplir mínimo con F-15, y solo el muro divisorio o medianero debe cumplir con el requerimiento de F-60.

El entramado de piso considera como revestimiento interior, una barrera de fuego y dos placas de yeso cartón RF de 15 mm como revestimiento de cielo.

Otro requerimiento especial para este tipo de edificaciones es que los muros medianeros y/o sobre tabiques, deben garantizar la hermeticidad hasta la cubierta, es decir, no deben permitir la infiltración de calor, llamas o humo hasta el elemento de terminación de cubierta, todo esto con el objetivo de evitar puentes de fuego que puedan afectar al resto de las soluciones constructivas en caso de

incendio. En efecto, es tal la importancia que presenta un muro de esta categoría en una edificación, que no se permite incorporar cajas eléctricas en muros medianeros, ya que tienen un mayor riesgo de iniciar un incendio.

V. NORMATIVA ACÚSTICA APLICADA

En el caso de viviendas de 1 a 2 pisos nos encontraremos principalmente con un elemento que debe asegurar un buen comportamiento acústico, el muro divisorio.

Al igual que para el requerimiento de fuego, el muro divisorio es una de las soluciones constructivas que debe tener un mejor comportamiento al paso del ruido entre unidades de vivienda. Esto se debe a que como es un elemento estructural compartido entre viviendas, es el más propenso a traspasar ondas sonoras directamente de una vivienda a otra. Es por esto que, para

muros medianeros, las uniones y encuentros entre elementos de distintas materialidades que conforman esta solución constructiva deben considerar, por una parte, sellos adecuados para dar cumplimiento a las exigencias señaladas en el art. 4.1.6 de la OGUC, y a la vez, que el elemento constructivo presente una configuración que disminuya los ruidos aéreos o de impacto, ya sea mediante la incorporación de aislantes acústicos u otras soluciones.

Como ya mencionamos, el caso de estudio es una vivienda de 2 pisos pareada por un muro, tal y como se muestra a continuación, se destaca la importancia de la reglamentación acústica dada la disposición de las viviendas.

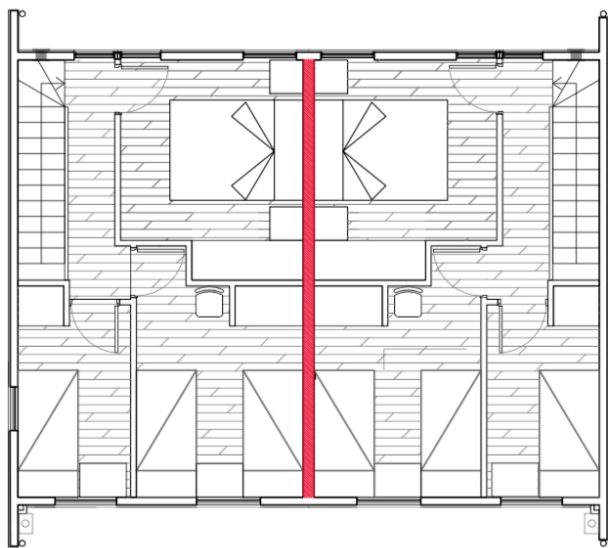


Figura 42: planta segundo piso arquitectura proyecto vivienda dos pisos, Osorno.
Fuente: elaboración propia.

En este caso queda graficada claramente la importancia que tiene el muro divisorio para una vivienda pareada, ya que se puede ver en la planta del segundo nivel cómo este muro divide directamente habitaciones, donde es muy importante mantener el confort acústico de una vivienda para tener una buena calidad de vida.

De acuerdo al Art 4.1.6 de la OGUC, los elementos constructivos anteriormente señalados, ya sean elementos verticales u horizontales deberán tener un índice de reducción acústica mínima de 45dB. Sumándose a este requerimiento, y solo para elementos constructivos horizontales o inclinados, se debe tener un nivel de presión acústica de impacto normalizado máximo de 75dB.

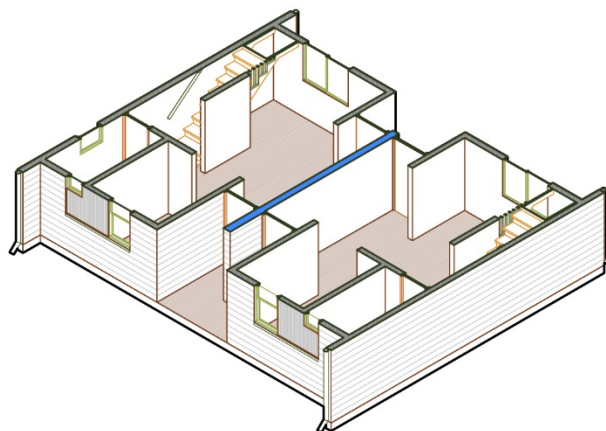


Figura 43: Elementos constructivos que deben cumplir con la regulación acústica, en primer piso.
Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, un aspecto importante a señalar es que en muros medianeros conformados por tabiquerías de madera o metálicas se deberán considerar sellos adecuados en las soleras inferiores para evitar la ocurrencia de puentes acústicos.

Para el caso analizado, de una vivienda pareada de dos pisos, el único elemento constructivo que debe cumplir con un requerimiento acústico específico es el muro divisorio anteriormente señalado. Para este caso, la solución constructiva propuesta es un muro estructural que tiene la particularidad de presentar una estructura de pies derechos en forma de “zigzag” dentro del muro. Esto genera un muro que presenta su estructura de pies derechos y placa OSB desvinculada e independiente a

cada lado del muro, lo que ayuda considerablemente a disminuir el traspaso de ruido entre viviendas pareadas.

Para el entramado de entrepiso de la vivienda, se considera una barrera acústica correspondiente a una membrana de 5 mm, instalada entre terciados estructurales. A esto se le suma aislación acústica de lana de vidrio de 11 kg/m³ de densidad (u otro

valor, según indiquen los resultados de ensayos acústicos), y espesor de 50 mm al interior del entramado estructural.

En el anexo b, se presenta una ficha técnica con detalles de la solución constructiva mencionada, que cumple con los requisitos de reducción de ruido aéreo y además tiene una resistencia al fuego de F-60.

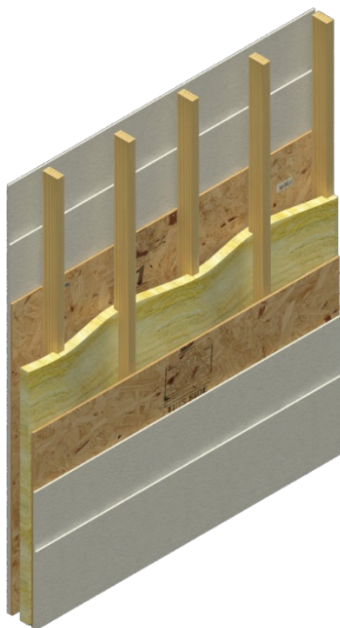


Figura 44: Muro acústico con estructura desvinculada. Fuente: elaboración propia.

B. CASO VIVIENDA DE 3 A 4 PISOS

El segundo caso de estudio es una vivienda de 3 pisos desarrollada en la región de Atacama, que forma parte del proyecto “Barrios Eco sustentables”, el cual se encuentra diseñado bajo la modalidad de subsidio Fondo Solidario de Elección de Vivienda D.S 49, en el marco de un proceso de reconstrucción en la zona norte del país.

Respecto a la distribución arquitectónica propiamente tal, las estructuras de 3 pisos consideran en un primer nivel una vivienda con acceso a nivel de calle (algunas correspondientes a tipologías para familias de movilidad reducida y tercera edad), y dúplex en los pisos superiores, con acceso propios a través de escaleras exteriores.

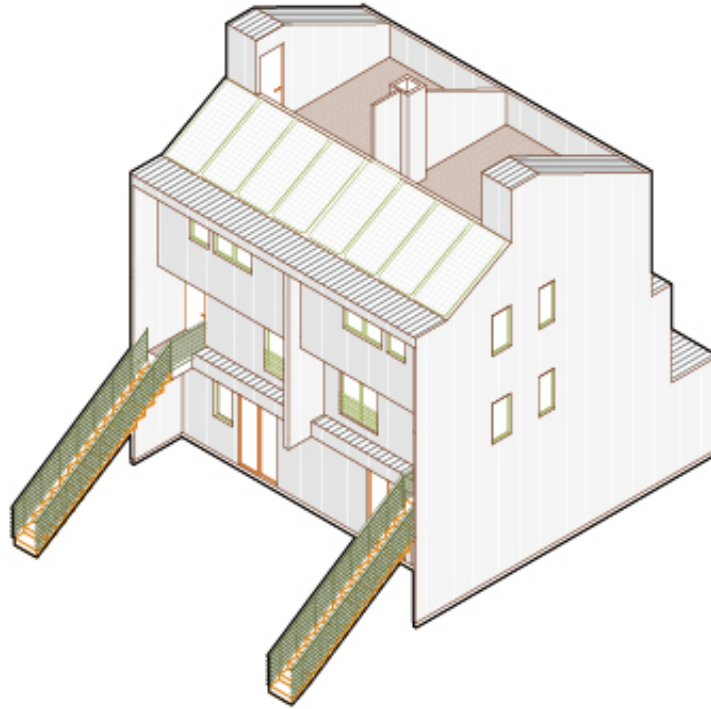


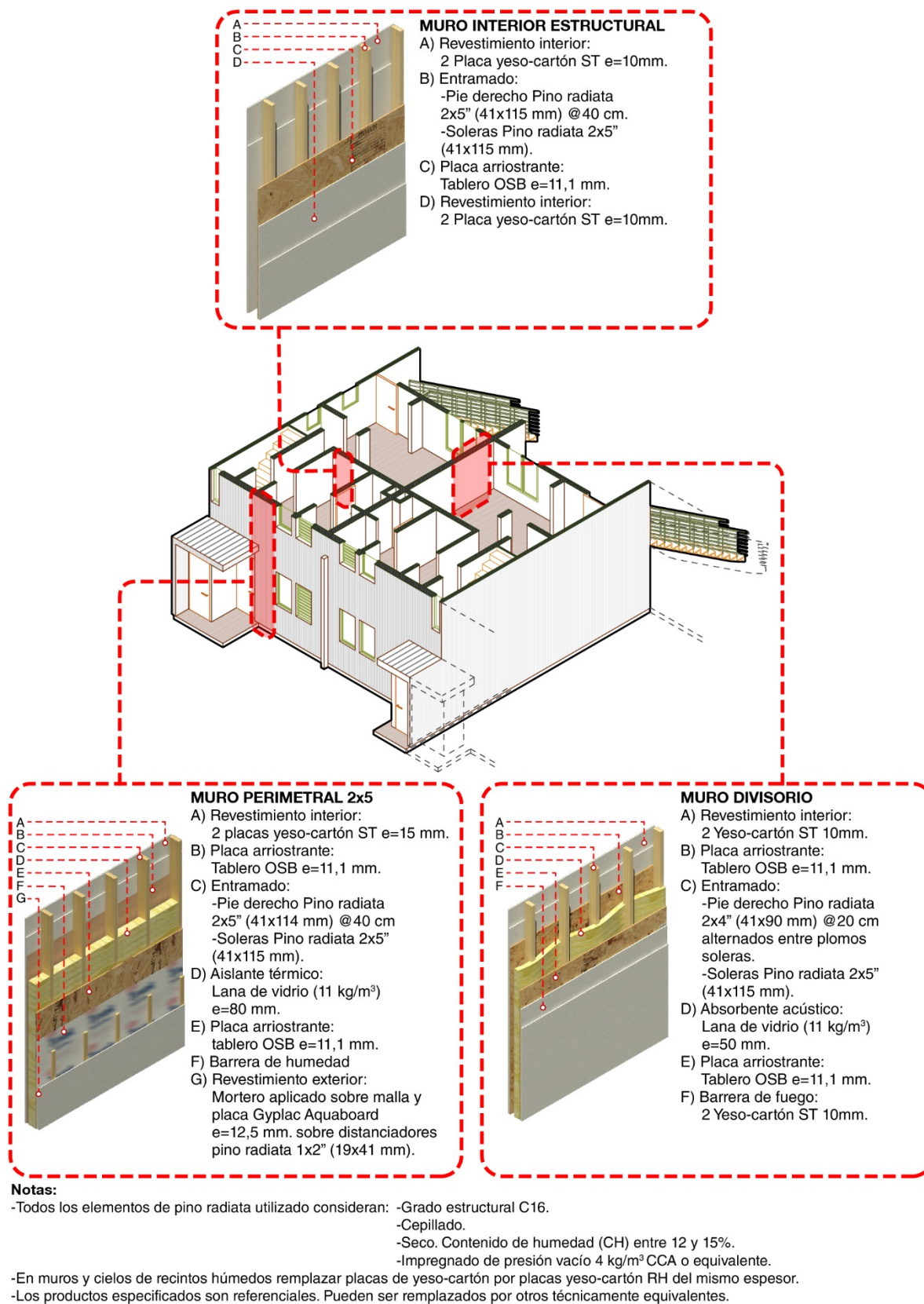
Figura 45: axonométrica vivienda 3 pisos.

A continuación, se explica cada normativa específica aplicada a esta vivienda de tres pisos, abarcando requerimientos estructurales, higrotérmicos y de hermeticidad, de protección al fuego y requerimientos acústicos para elementos constructivos. En la tabla siguiente se muestran las normativas y los requerimientos mínimos que se deben cumplir

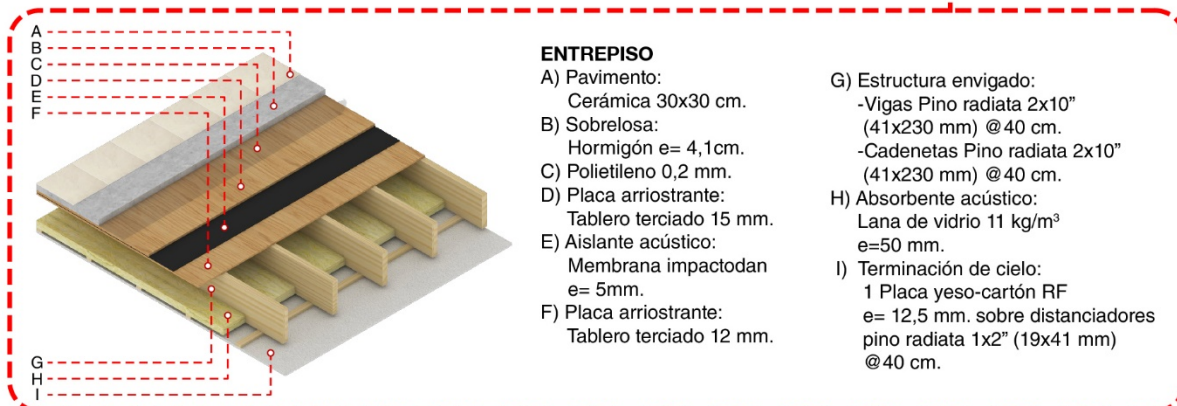
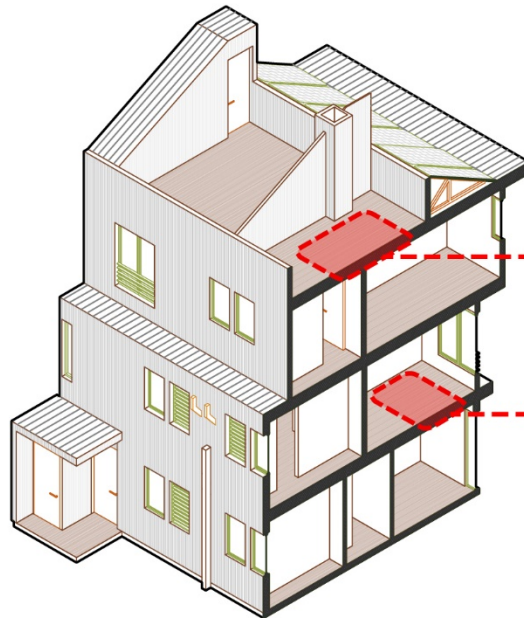
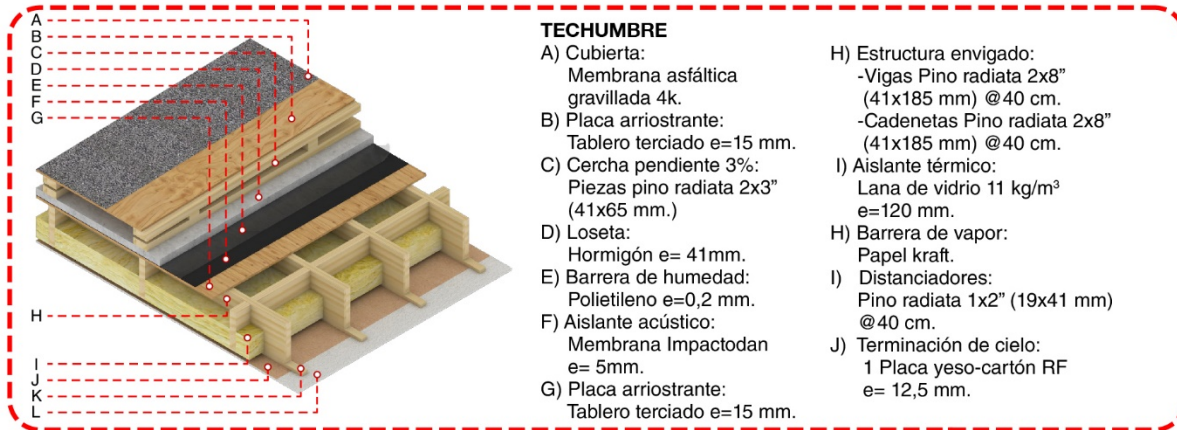
Tabla 16: Resumen de requerimientos normativos para vivienda de 3 y 4 pisos

NORMATIVA	REQUERIMIENTO	ELEMENTO CONSTRUCTIVO	REQUERIMIENTO MÍNIMO
Art 4.3.3 y 4.3.5 OGUC	Protección al fuego	Muros estructurales	F-60
		Muro divisorio	F-60
Art 4.1.6 OGUC	Requerimiento Acústico	Muro divisorio	45 dB(A) de reducción 75 dB máx impacto
Art 4.1.10 OGUC	Requerimiento Térmico	Techo	0,84 W/m ² K
		Muro	4,0 W/m ² K
		Piso ventilado	3,6 W/m ² K
Art 5.6.7 y 5.6.13 OGUC + Art 2.6.1 Itemizado D.S 49	Exigencia Estructural	Proyecto de cálculo estructural	Si se requiere.
		Revisión de proyecto de cálculo estructural	

Posteriormente, se muestra la composición de las diferentes soluciones constructivas utilizadas en la vivienda de ejemplo. Cabe destacar que las soluciones detalladas cumplen con la normativa, y en los apartados siguientes se explicará el porqué de cada una de ellas.



Infografía 3: Soluciones constructivas de muros del proyecto de vivienda de 3 pisos



Notas:

-Todos los elementos de pino radiata utilizado consideran: -Grado estructural C16.

-Cepillado.

-Seco. Contenido de humedad (CH) entre 12 y 15%.

-Impregnado de presión vacío 4 kg/m³ CCA o equivalente.

-En muros y cielos de recintos húmedos reemplazar placas de yeso-cartón por placas yeso-cartón RH del mismo espesor.

-Los productos especificados son referenciales. Pueden ser reemplazados por otros técnicamente equivalentes.

Infografía 4: Soluciones constructivas de techumbre y entrepiso del proyecto de vivienda de 3 pisos

I. NORMATIVA ESTRUCTURAL APLICADA

Lo muros, techumbre, entrepisos y muros no estructurales deben estar elaborados a partir de madera de pino radiata, cepillado, seco (entre un 12 y un 15% de humedad), impregnada según NCh 819, clasificada

estructuralmente de forma visual o mecánica. Todo esto para el cumplimiento de las normas NCh819, NCh 1207 y NCh755, las que consideran las tolerancias dimensionales de espesor, que en este caso corresponden a +1 mm, ancho +2 mm, distanciamiento +/- 2 mm.

Tabla 17: tensiones admisibles y clasificación estructural según grado. Caso de estudio 3 a 4 pisos

GRADO ESTRUCTURAL	TENSIONES ADMISIBLES DE:					MODULO DE ELASTICIDAD EN FLEXIÓN	INDICE DE APLASTAMIENTO EN COMPRESIÓN NORMAL
	FLEXIÓN	COMPRESIÓN PARALELA	TRACCIÓN PARALELA	COMPRESIÓN NORMAL	CIZALLE		
	F f	F cp	F tp	F cn	F cz	E f 2)	E cn,h
	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	Mpa/mm
a) Visuales							
GS	11.0	8.5	6.0	2.5	1.1	10500	5.65
G1	7.5	7.5	5.0	2.5	1.1	10000	
G1 y mejor	9.5	7.8	5.5	2.5	1.1	10100	
G2	5.4	6.5	4.0	2.5	1.1	8900	
b) Mecánicos							
C24	9.3	8.0	4.7	2.5	1.1	10200	5.65
C16	5.2	7.5	3.5	2.5	1.1	7900	
MGP10	8.4	10.0	4.0	2.5	1.3	10000	
MGP12	13.5	15.5	6.0	2.5	1.3	12700	

Es importante destacar que para los edificios de hasta 4 pisos se hace uso de la tecnología Hold Down (HD), que consiste en generar un amarre con anclaje roscado entre el primer piso y las fundaciones, y entre cada uno de los pisos superiores en los muros estructurales.

ii. NORMATIVA HIGROTÉRMICA Y DE HERMETICIDAD APLICADA

Para el caso de análisis de esta vivienda de 3 pisos de tipología pareada en la ciudad de Chañaral, en primer lugar, se debe identificar la zona térmica a la que pertenece, en este caso a la Zona 1, como se puede ver en la siguiente imagen.



ZONA	TECHUMBRE		MUROS		PISOS VENTILADOS	
	U W/m²K	Rt m²K/W	U W/m²K	Rt m²K/W	U W/m²K	Rt m²K/W
1	0,84	1,19	4,0	0,25	3,60	0,28
2	0,60	1,67	3,0	0,33	0,87	1,15
3	0,47	2,13	1,9	0,53	0,70	1,43
4	0,38	2,63	1,7	0,59	0,60	1,67
5	0,33	3,03	1,6	0,63	0,50	2,00
6	0,28	3,57	1,1	0,91	0,39	2,56
7	0,25	4,00	0,6	1,67	0,32	3,13

Figura 46: Zona térmica de la ciudad de Chañaral. Imagen intervenida de “Manual de la aplicación de la reglamentación térmica”.

Las transmitancias térmicas de los diferentes elementos están definidas por su solución constructiva, y se obtiene mediante el cálculo definido en la norma NCh 853/2007.

Como menciona la OGUC en su Art 4.1.10, una consideración constructiva importante para minimizar la ocurrencia de puentes térmicos es que los materiales aislantes térmicos solo puedan encontrarse interrumpidos por elementos estructurales y/o por tuberías, ductos o cañerías de las instalaciones domiciliarias. Asimismo, al incorporar aislante térmico en las soluciones constructivas que lo requieran, es preciso tener en cuenta que se deberá instalar lo más al exterior posible, para reducir el riesgo de condensación intersticial.

A continuación, se describen las soluciones constructivas para cada elemento, donde se observa un cumplimiento de los requerimientos exigidos por la Zona 1. La razón de la diferencia entre el mínimo requerido y el U de la solución se debe a que este proyecto cuenta con un alto estándar de eficiencia energética. En el anexo b del presente documento se entregan las fichas correspondientes a estas soluciones constructivas.

Sistema constructivo	Descripción (exterior-interior)	U Solución (W/m²K)	U Zona 1 (W/m²K)
Muros (tabique exterior de madera)	Placa yesocartón ST 15mm	0,42	4,00
	Placa yesocartón ST 15mm		
	Placa arriostrante OSB 11,1mm		
	Lana de vidrio 80mm		
	Placa arriostrante OSB 11,1mm		
	Gyplac Aquaboard 12,5 mm		
Cubierta	Placa arriostrante Terciado 15mm	0,24	0,84 (cubierta)
	Cámara de aire 65mm		
	Loseta hormigón 41mm		
	Placa arriostrante Terciado 15mm		
	Lana de vidrio 120mm		
	Placa yesocartón RF 12,5mm		
Piso ventilado (envigado de madera)	Cerámica 4mm	0,37	3,60 (piso ventilado)
	Sobrelosa 4 cm		
	Placa arriostrante Terciado 15mm		
	Placa arriostrante terciado 12mm		
	Lana de vidrio 80mm		
	Placa yesocartón RF 12,5mm		
Radier	Poliestireno extruido 20mm	1,49	-
	Hormigón armado 70mm		
	Cerámica 4mm		
Ventana (marco aluminio)	Vidrio simple 4mm	5,9	-

Figura 47: Soluciones constructivas caso estudio vivienda 3 pisos

Dada la oscilación térmica diaria y la alta radiación solar, se favorece la utilización de elementos con inercia térmica para amortiguar la variación entre las temperaturas del día y la noche. Por esta razón se deben incorporar sobrelosas de hormigón, las que deben ser cubiertas por elementos pétreos que potencien la inercia térmica, y no usar recubrimientos como pisos de madera o alfombras. Además, es de vital importancia estudiar la mejor orientación y diseño, esto para lograr favorecer la captación de radiación de manera pasiva en los recintos durante el invierno y mantenerlos frescos durante el verano.

Posteriormente, y siguiendo las recomendaciones del capítulo III.b de este manual, se muestran las especificaciones

técnicas utilizadas para muros perimetrales y techumbres. Donde se destaca la importancia de los aislantes, barreras y sellos.

MURO PERIMETRAL

- Revestimiento exterior: sobre los distanciadores verticales que generan la cámara de aire, se deberá colocar una placa de Gyplac Aquaboard o similar de 12.5 mm, malla y mortero Direct Applied.
- Cámara Ventilada: distanciadores de Pino Radiata 1x2, (19x41 mm.), cepillado, seco (entre un 12 y un 18 % de humedad), impregnado con presión al vacío según NCh 819. Lo que en su conjunto genera una cámara de aire de 19mm al exterior de la Barrera de Humedad.

- En el caso de tabiques de zonas húmedas, se deberá utilizar Yeso Cartón RH 15mm.
- Arriostramiento: tablero OSB PLUS estructural de 11,1 mm., al plomo exterior del entramado de muro.
- Entramado estructural: pino Radiata 2x5 (41x114 mm), cepillado, seco (entre un 12 y un 18 % de humedad), impregnado con presión al vacío según NCh819. Con pies derechos cada 40cm y cadenas cada 0.80 m, clavados con clavos galvanizados.
- Aislación térmica: lana de Vidrio 18kg/m3 de densidad y espesor de 50mm, al interior del entramado estructural.
- Barrera de Fuego: dos placas de Yeso Cartón de 12.5 mm de espesor, con canto rebajado de industria.
- En el caso de tabiques para zonas húmedas, se deberá utilizar yeso cartón RH 15mm.
- Revestimiento Interior: empastado y pintado blanco.

TECHUMBRE

- Cubierta: membrana asfáltica gravillada 4k, con traslapes mínimos de 10 cm, sobre terciado estructural.
- Arriostramiento: placa terciado estructural de 15 mm, sobre las vigas y costaneras.
- Cercha: pendiente 3% piezas pino radiata 2x3" (41x65 mm).
- Loseta de piso: hormigón in situ de 41 mm de espesor.
- Barrera humedad: polietileno de e=0.2 mm.

- Barrera acústica: membrana acústica Impactodan o similar de 5mm.
- Placa arriostrante: tablero terciado 15mm.
- Entramado estructural: vigas y cadenas de Pino Radiata 2x8 (41x185 mm), cepillado, seco (entre un 12 y un 15 % de humedad), impregnado con presión al vacío según NCh819, cada 40 cm máximo, clavados con clavos galvanizados.
- Aislación térmica: lana de Vidrio 11kg/m3 de densidad y espesor de 120mm, al interior del entramado estructural.
- Barrera de vapor: papel kraft.
- Distanciadores: pino Radiata 1x2, (19x41 mm.), cepillado, seco (entre un 12 y un 18 % de humedad), impregnado con presión al vacío según NCh 819,. lo que en su conjunto genera una cámara de aire de 19 mm, al exterior de la Barrera de Humedad.
- Revestimiento cielo: yeso-Cartón RF 12,5 mm.

iii. NORMATIVA DE FUEGO APLICADA

Se debe identificar el requerimiento al fuego que se exige para cada elemento de construcción de la edificación. Para esto se debe situar esta edificación en uno de los 4 tipos de edificaciones (edificación tipo a, b, c o d), de acuerdo con su uso y cantidad de pisos, tal como se establece en la tabla 1 del artículo 4.3.4 de la OGUC. En este caso, el uso es habitacional y el número de pisos es 3, por lo tanto, esta edificación corresponde a tipo c.

SUPERFICIE EDIFICADA (M²)	NÚMERO DE PISOS						
	1	2	3	4	5	6	7 O MÁS
CUALQUIERA	D	D	C	C	B	A	A

Figura 48: Tipo de edificación según uso y cantidad de pisos, según tabla 1 del artículo 4.3.4 OGUC (intervenida).

Una vez que se cuenta con el tipo de edificación correspondiente a la vivienda, según el Art. 4.3.3 de la OGUC, se debe identificar la resistencia al fuego requerida por cada tipo de elemento. Siendo el valor más restrictivo el del muro medianero o muro divisorio entre viviendas, cuya resistencia debe ser de por lo menos F-60.

ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN									
TIPO	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
a	F-180	F-120	F-120	F-120	F-120	F-30	F-60	F-120	F-60
b	F-150	F-120	F-90	F-90	F-90	F-15	F-30	F-90	F-60
c	F-120	F-90	F-60	F-60	F-60	-	F-15	F-60	F-30
d	F-120	F-60	F-60	F-60	F-30	-	-	F-30	F-15

SIMBOLOGÍA
ELEMENTOS VERTICALES
(1) MUROS CORTAFUEGO
(2) MUROS ZONA VERTICAL DE SEGURIDAD Y CAJA DE ESCALERA
(3) MUROS CAJA ASCENSORES
(4) MUROS DIVISORIOS ENTRE UNIDADES (HASTA LA CUBIERTA)
(5) ELEMENTOS SOPORTANTES VERTICALES
(6) MUROS NO SOPORTANTES Y TABIQUES
ELEMENTOS VERTICALES Y HORIZONTALES
(7) ESCALERAS
ELEMENTOS HORIZONTALES
(8) ELEMENTOS SOPORTANTES HORIZONTALES
(9) TECHUMBRE INCLUIDO CIELO FALSO

Figura 49: Resistencia al fuego según elemento constructivo, según Art. 4.3.3 OGUC (intervenida).

Al momento de aplicar los requerimientos de fuego para una vivienda de este tipo, se puede observar que los tabiques o muros no soportantes deberán cumplir solo con resistencia F-15, luego muros divisorios y entramados de piso deberán cumplir con requerimientos F-60, al igual que los muros soportantes verticales.

Se debe tener especial cuidado en el diseño de los muros medianeros y/o sobre tabiques, ya que estos deben garantizar la hermeticidad hasta la cubierta, es decir, no permitir infiltración de calor, llamas o humo hasta el elemento de terminación de cubierta, con el objetivo de evitar puentes de fuego que puedan afectar al resto de las soluciones constructivas en caso de

incendio. Es tal la importancia que presenta un muro de esta categoría en una edificación, que según la resolución 6624 exenta (Res. Ex. 6624 Aprueba Itemizado Técnico de Construcción Para Proyectos Del Programa Fondo Solidario de Elección de Vivienda y Deroga Resolución N° 9.020 Exenta (V. Y U.), de 9 de noviembre de 2012, 2016), se recomienda evitar la instalación de cajas eléctricas en muros medianeros, esto debido a que presentan un mayor riesgo de iniciar un incendio, razón por la cual está prohibida la instalación de cajas eléctricas confrontadas, es decir, que conectan una vivienda con la otra. Siguiendo así las recomendaciones del capítulo III.c del presente documento.

iv. NORMATIVA ACÚSTICA APLICADA

La normativa acústica según la OGUC en el Art. 4.1.6 para el caso de viviendas de 3 a 4 pisos, se enfoca principalmente en un elemento que debe asegurar un buen comportamiento acústico, el muro divisorio y entrepiso acústico.

Al igual que para el requerimiento de fuego, el muro divisorio es una de las soluciones constructivas que debe tener un mejor comportamiento al paso del ruido entre unidades de vivienda. Esto se debe a que como es un elemento estructural compartido

entre viviendas, es el más propenso a traspasar ondas sonoras directamente de una vivienda a otra. Es por esto que, para muros medianeros, las uniones y encuentros entre elementos de distintas materialidades que conforman esta solución constructiva se deben considerar, por una parte, sellos adecuados para dar cumplimiento a las exigencias señaladas en el art. 4.1.6 de la OGUC, y a la vez, que el elemento constructivo presente una configuración que disminuya los ruidos aéreos o de impacto, ya sea mediante la incorporación de aislantes acústicos u otras soluciones.

De acuerdo con el Art 4.1.6 de la OGUC los elementos constructivos anteriormente señalados, ya sean elementos verticales u horizontales deberán tener un índice de reducción acústica mínima de 45dB. Sumándose a este requerimiento, y solo para elementos constructivos horizontales o inclinados, se sugiere un nivel de presión acústica de impacto normalizado máximo de 75dB.

A continuación, se muestra una imagen en planta de las viviendas, en la que se puede apreciar su composición y observar la importancia de una correcta aislación acústica para asegurar el confort al interior de las viviendas.

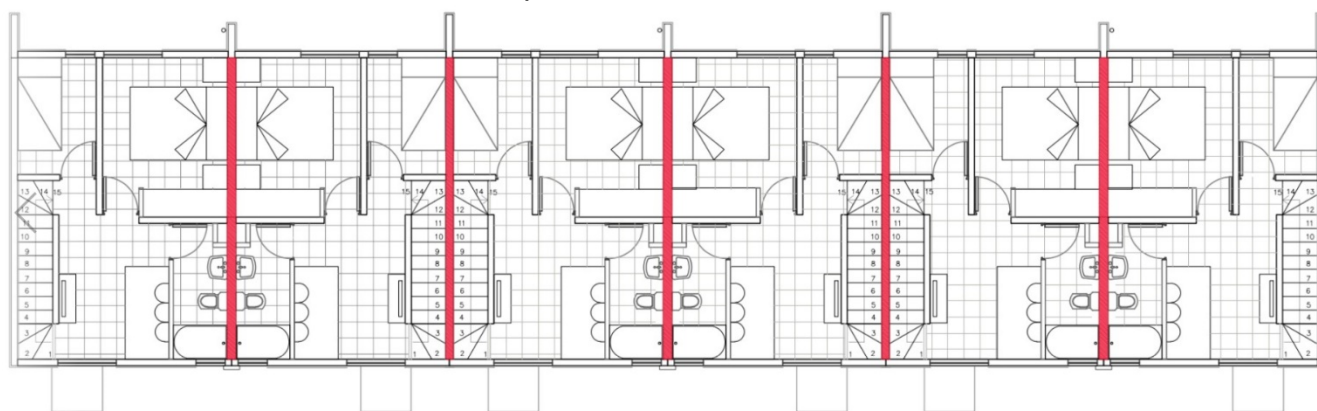


Figura 50: planta tercer nivel de la vivienda en estudio de 3 pisos. Fuente: elaboración propia.

En este caso queda graficada claramente la importancia que tiene el muro divisorio para una vivienda pareada, ya que se puede ver en la planta del tercer nivel cómo este muro divide directamente habitaciones. Esto es clave para mantener el confort acústico de una vivienda y para mantener una buena calidad de vida.

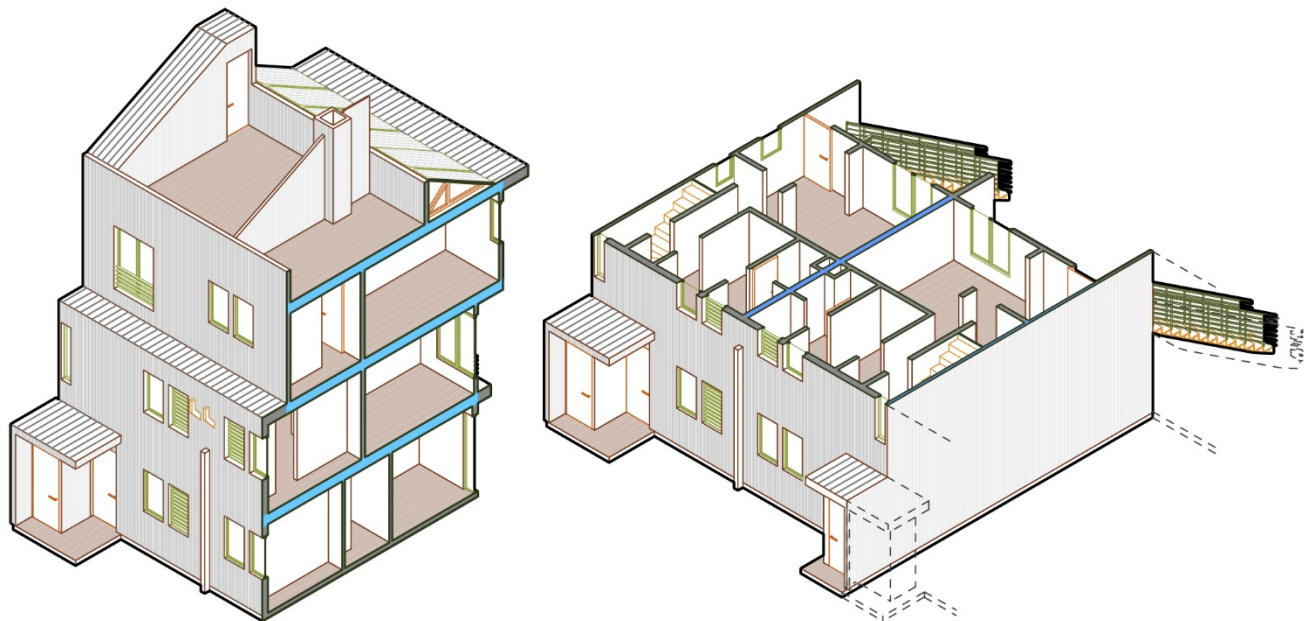


Figura 51: Elementos constructivos que deben cumplir con la exigencia acústica en viviendas estudio 3 pisos. Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, un aspecto importante a señalar es que, en muros medianeros conformados por tabiquerías de madera o metálicas, se deberán considerar sellos adecuados en las soleras inferiores para evitar la ocurrencia de puentes acústicos.

Para el caso analizado, correspondiente a una vivienda continua de tres pisos, el elemento constructivo que debe cumplir con un requerimiento acústico específico es el muro divisorio anteriormente señalado. Para este caso, la solución constructiva propuesta es un muro estructural que tiene la particularidad de presentar una estructura de pies derechos en forma de “zigzag” dentro del muro. Esto genera un muro que presenta su estructura de pies derechos y placa OSB desvinculada e independiente a cada lado del muro, lo que ayuda considerablemente a disminuir el traspaso

de ruido entre viviendas pareadas, ya que también permite la continuidad del aislante.

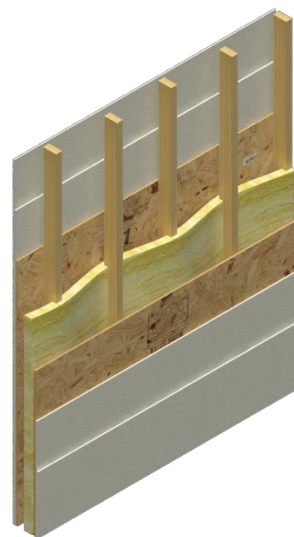


Figura 52: Muro acústico con estructura desvinculada. Fuente: elaboración propia.

C. CASO VIVIENDA DE 5 A 6 PISOS

El tercer caso de estudio es un edificio de 6 pisos de altura, el cual contempla diferentes tipologías de viviendas. El primer piso presenta viviendas para personas con movilidad reducida o adultos mayores; entre el piso 2 y 4 se encuentran departamentos de un nivel; mientras que los pisos 5 y 6 son departamentos tipo dúplex. Este caso de estudio fue desarrollado en la comuna de Rancagua, y se enmarca en la modalidad de subsidio Fondo Solidario de Elección de Vivienda D.S 19.

A continuación, se explica cada normativa específica aplicada a esta vivienda de seis pisos, abarcando requerimientos estructurales, higrotérmicos y de hermeticidad, de protección al fuego, y requerimientos acústicos para elementos constructivos. En la tabla siguiente se muestran las normativas y los requerimientos mínimos que se deben cumplir.

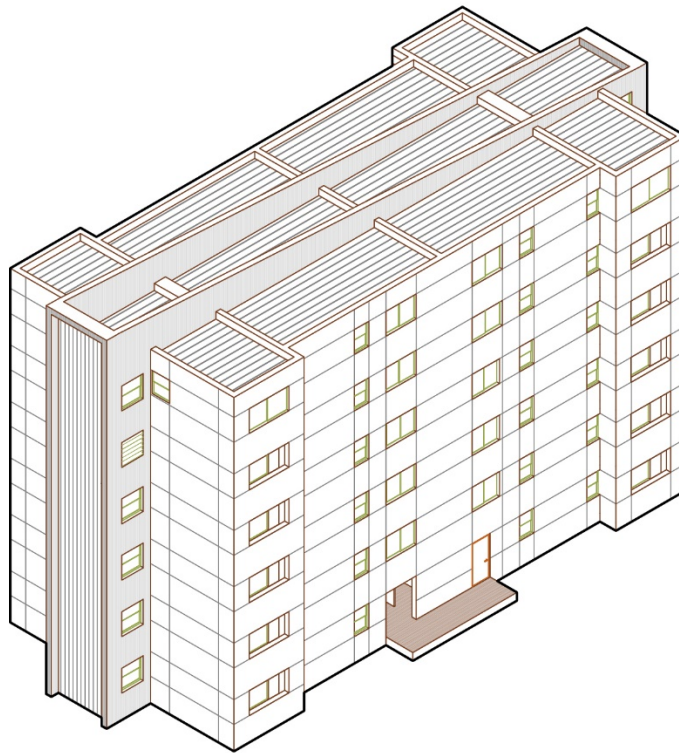


Figura 53: axonométrica de edificio de viviendas de 6 pisos. Fuente: elaboración propia.

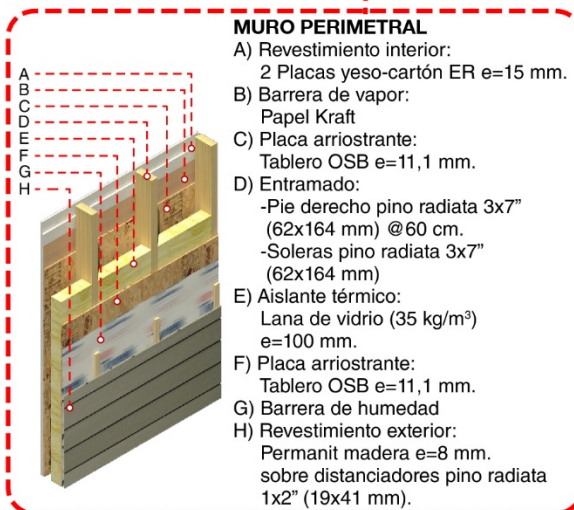
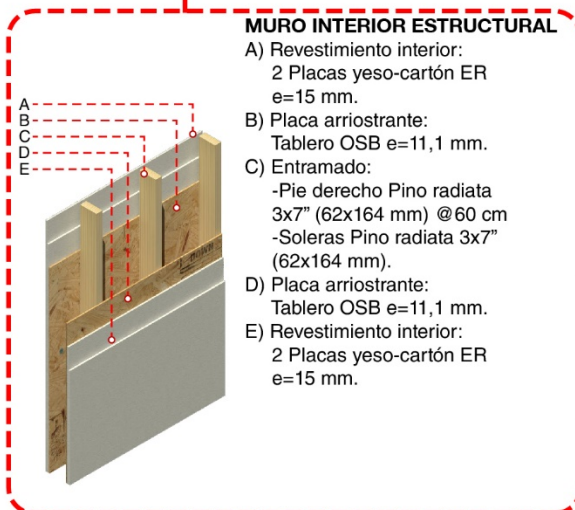
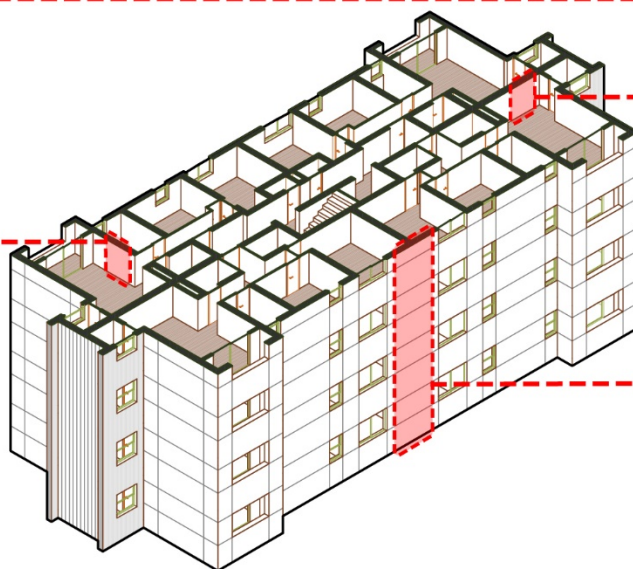
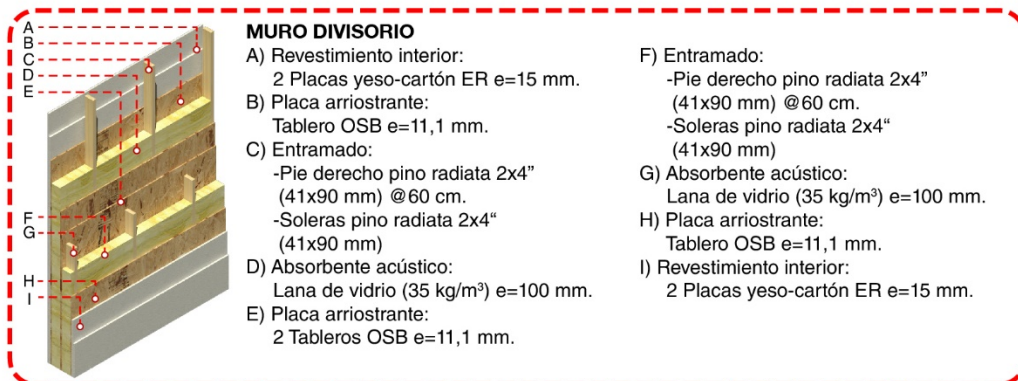
A continuación, se explica cada normativa específica aplicada a esta vivienda de seis pisos, abarcando requerimientos estructurales, higrotérmicos y de hermeticidad, de protección al fuego, y

requerimientos acústicos para elementos constructivos. En la tabla siguiente se muestran las normativas y los requerimientos mínimos que se deben cumplir.

Tabla 18: Resumen de requerimientos normativos que debe cumplir un edificio de viviendas de 6 pisos de altura. Fuente: elaboración propia

Normativa	Requerimiento	Elemento constructivo	Requerimiento mínimo
Art 4.3.3 y 4.3.5 OGUC	Protección al fuego	Muros estructurales	F-120
		Muro divisorio	F-120
Art 4.1.6 OGUC	Requerimiento Acústico	Muro divisorio	45 dB(A) de reducción 75 dB máx impacto
Art 4.1.10 OGUC	Requerimiento Térmico	Techo	0,47 W/m ² K
		Muro	1,9 W/m ² K
		Piso ventilado	0,7 W/m ² K
Art 5.6.7 y 5.6.13 OGUC + Art 2.6.1 Itemizado D.S 49	Exigencia Estructural	Proyecto de cálculo estructural	Si se requiere.
		Revisión de proyecto de cálculo estructural	

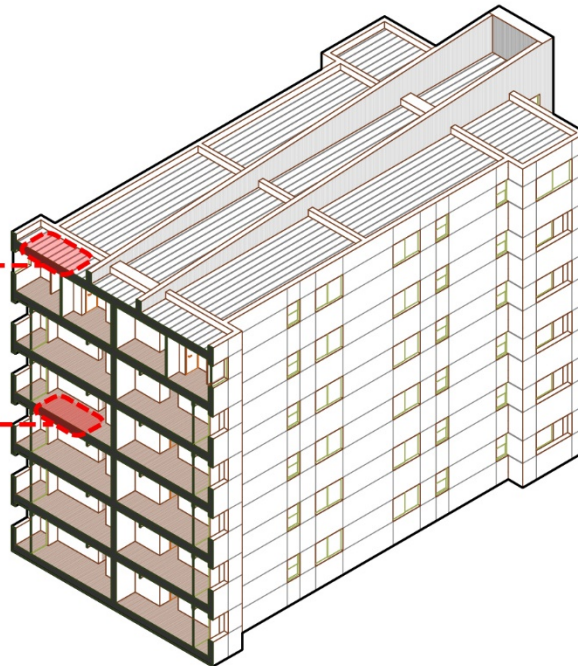
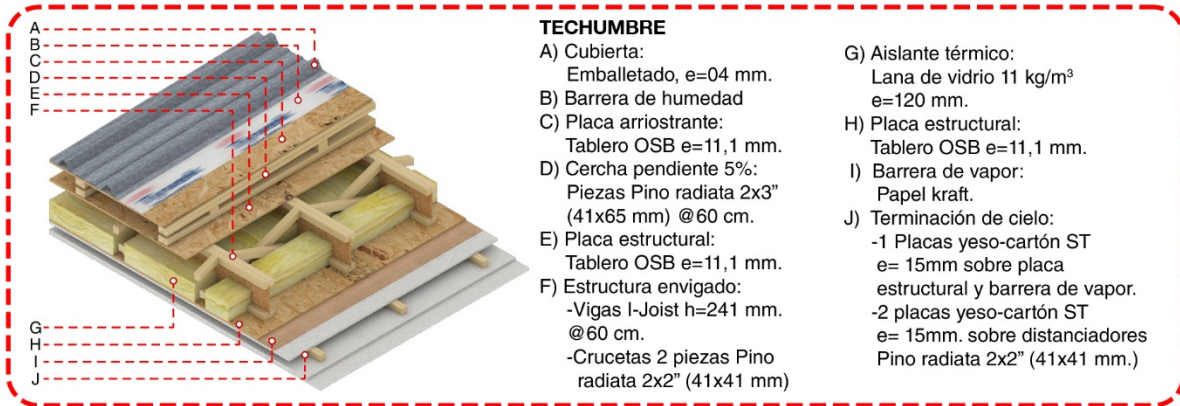
Posteriormente, se presentan los detalles de las soluciones constructivas verticales y horizontales. Cabe señalar que los correspondientes análisis para obtener estas soluciones se encuentran en los apartados siguientes.



Notas:

- Todos los elementos de pino radiata utilizado consideran: -Grado estructural C16.
- Cepillado.
- Seco. Contenido de humedad (CH) entre 12 y 15%.
- Impregnado de presión vacío 4 kg/m³ CCA o equivalente.
- En recintos húmedos remplazar placas de yeso-cartón ST por RH de e=12,5 mm. en muros y RH de e=15 mm. en cielos.
- Los productos especificados son referenciales. Pueden ser remplazados por otros técnicamente equivalentes.

Infografía 5: Soluciones constructivas de muros del proyecto de vivienda de 6 pisos



Notas:

- Todos los elementos de pino radiata utilizado consideran:
 - Grado estructural C16.
 - Cepillado.
 - Seco. Contenido de humedad (CH)<20%
 - Impregnado de presión vacío 4 kg/m³ CCA o equivalente.
- En recintos húmedos reemplazar placas de yeso-cartón ST por RH de e=12,5 mm. en muros y RH de e=15 mm. en cielos.
- Los productos especificados son referenciales. Pueden ser reemplazados por otros técnicamente equivalentes.

Infografía 6: Soluciones constructivas de techumbre y entrepiso del proyecto de vivienda de 6 pisos

i. NORMATIVA ESTRUCTURAL APLICADA

Para los elementos estructurales de este edificio se deberá utilizar la tecnología Anchor Tiedown System (ATS), debido a un incremento considerable en los volcamientos de los muros que hacen que el sistema HD no sea factible de utilizar. El sistema ATS consiste en una barra roscada que produce un efecto de amarre de forma continua, desde las fundaciones hasta el entramado horizontal del cielo del último piso, esto en cada extremo de los muros estructurales.

Todos los paneles de todos los pisos deben ser montados sobre una solera de montaje de pino radiata cepillado e impregnado 62x164 mm. Además, debe estar anclada a los sobrecimientos según los planos y memoria de cálculo estructural, sobre caucho impermeabilizante, y con retorno de 3 cm por ambos costados de la solera.

Si bien en Chile no existen requerimientos de altura máxima para la construcción de edificaciones en madera, estas mismas edificaciones son limitadas exclusivamente por la capacidad de los sistemas constructivos para cumplir con requerimientos técnicos de carácter estructural. Esto sucede porque la norma vigente en Chile de diseño sísmico de edificios fue desarrollada considerando valores máximos de deriva de entrepisos admisible (drift admisible), derivados de la construcción de edificaciones rígidas en hormigón. Lo anterior significa que la normativa requiere que una edificación con estructura de madera flexible se comporte de manera similar ante un sismo que una de hormigón. Esto se traduce en un sobre

dimensionamiento de los sistemas de estructuras en madera y en un incremento importante en los costos de construcción²⁰.

ii. NORMATIVA HIGROTÉRMICA Y DE HERMETICIDAD APLICADA

Para el caso de análisis de esta edificación de 6 pisos de tipología departamentos en la ciudad de Rancagua, en primer lugar, se identifica la zona térmica a la que pertenece, en este caso a la Zona 3, como se puede ver en la siguiente imagen.

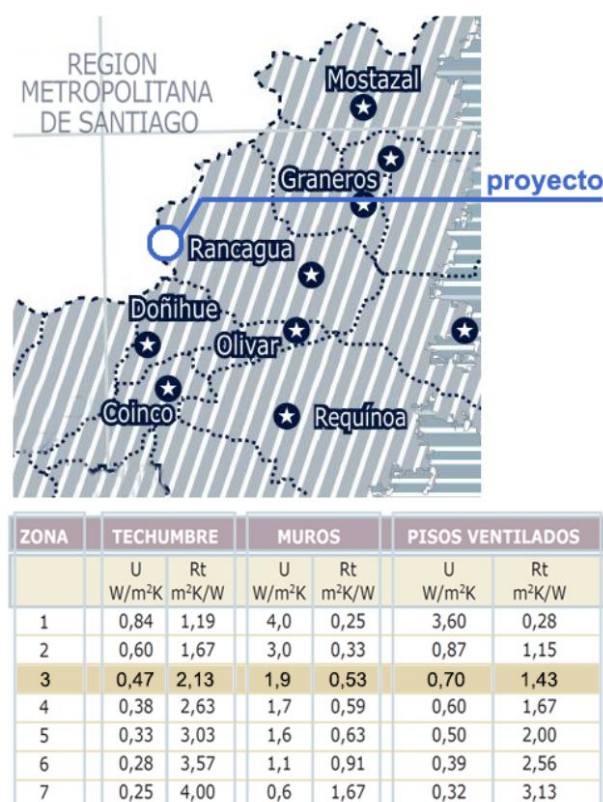


Figura 54: Zona térmica de la ciudad de Rancagua. Imagen intervenida de "Manual de la aplicación de la reglamentación térmica".

Las transmitancias térmicas de los diferentes elementos están definidas por su solución constructiva, y se obtiene mediante

²⁰ Santa María, H. (2016). Contexto en Chile para cálculo en altura con madera (sistema marco y plataforma). Presentación, Seminario Ingeniería, Semana de La Madera.

el cálculo definido en la norma NCh 853/2007.

Como menciona la OGUC en su Art 4.1.10, una consideración constructiva importante para minimizar la ocurrencia de puentes térmicos es que los materiales aislantes térmicos solo puedan estar interrumpidos por elementos estructurales y/o por tuberías, ductos o cañerías de las instalaciones domiciliarias. Asimismo, al incorporar aislante térmico en soluciones constructivas que lo requieran, este se deberá instalar lo más al exterior posible, para reducir el riesgo de condensación intersticial.

A continuación, se presentan las especificaciones técnicas de las soluciones constructivas más relevantes:

- Revestimiento exterior: sobre cámara ventilada se instalará revestimiento exterior permanit de 8mm de espesor, cuya modulación y color se definirá por arquitectura. Estos se fijarán mediante tornillos autoperforantes cabeza de trompeta punta broca #6x. Se considera macilla para disimular las cabezas de tornillos.
- Cámara Ventilada: distanciadores de Pino Radiata 1x2", (19x41 mm), cepillado, seco (entre un 12 y un 15 % de contenido de humedad), impregnado mediante presión al vacío según NCh819, generando una cámara de aire libre de 19 mm.
- Arriostramiento exterior: tablero OSB LP Flame-Block o en su defecto OSB PLUS estructural de 11,1 mm al plomo exterior del entramado de muro + membrana hidrófuga respirante tipo TYPAR o equivalente técnico por la cara exterior del OSB PLUS. Se considera cinta de sellado en empalmes de la membrana con encuentro de vanos, perforaciones de instalaciones y sobrecimientos para asegurar la continuidad de la instalación de la Barrera de Viento y la hermeticidad de la vivienda.
- Entramado estructural: madera estructural MGP10 Pino Radiata cepillado en sus 4 caras, seca (entre un 12 y un 15 % de contenido de humedad) e impregnado. Para marcos y uniones entre placas estructurales y pies derechos, se utilizará pino radiata 3x7" (62x164mm) clavados con clavos galvanizados.
- Aislación térmica: lana de Vidrio 35 kg/m3 de densidad y espesor de 100 mm, al interior del entramado estructural.
- Arriostramiento interior: tablero OSB HWRAP o en su defecto OSB PLUS estructural de 11,1 mm al plomo interior del entramado de muro. Se considera cinta de sellado en empalmes de la membrana con encuentro de vanos, perforaciones de instalaciones y sobrecimientos para asegurar la hermeticidad de la vivienda.
- Barrera semipermeable de vapor tipo papel Kraft o similar.
- Barrera de Fuego interior: 2 placas yeso cartón ER de 15 mm de espesor, con canto rebajado de industria. Se deben considerar juntas invisibles en todas las uniones de yeso cartón en muros. Se considera también el revestimiento de terminación con 2 manos de pintura resistente a la humedad y sello de neopreno del tipo compriband bajo solera.
- Se considera la colocación de caucho impermeabilizante para las piezas de madera asentadas sobre hormigón con retorno de 3 cm por ambos costados de la solera.
- Los muros perimetrales contarán con perfiles esquineros 50/50 mm en los vértices de fachada exterior.

- Se considera cortagotera en zinc de espesor 0,4 mm en parte inferior del muro, entre sobrecimiento y compriband, con pendiente de 6 % hacia el exterior de la vivienda y cortagotera de mínimo 30 mm.

En edificaciones de mayor altura, donde existen entramados estructurales de madera de mayor sección, se permite la instalación de más aislación térmica perimetral, por lo que se logra un mejor desempeño en comparación a otras materialidades.

iii. REQUERIMIENTOS FRENTE AL FUEGO

Es importante identificar el requerimiento para enfrentar el fuego según corresponda a cada elemento de construcción de la edificación. Para esto se debe situar este proyecto en uno de los 4 tipos de edificaciones (edificación tipo a, b, c o d), de acuerdo con su uso y cantidad de pisos, según lo definido en la tabla 1 del artículo 4.3.4 de la OGUC. En este caso, el uso es habitacional y el número de pisos es 6, por lo tanto, esta edificación corresponde al tipo a.

DESTINO DEL EDIFICIO	SUPERFICIE EDIFICADA (M ²)	NÚMERO DE PISOS						
		1	2	3	4	5	6	7 O MÁS
HABITACIONAL	CUALQUIERA	D	D	C	C	B	A	A

Figura 55: Tipo de edificación según uso y cantidad de pisos, según tabla 1 del artículo 4.3.4 OGUC (intervenida).

Una vez que se tiene conocimiento de la clasificación de la edificación, según el Art. 4.3.3 de la OGUC, se debe identificar la resistencia al fuego requerida por cada tipo de elemento. En este caso, el valor más restrictivo corresponde al muro medianero o muro divisorio entre viviendas, cuya resistencia debe ser de por lo menos F-120. Cabe destacar que según el numeral 7 del Art. 4.3.5 OGUC, solo en edificios de 7 pisos o más se deben cumplir las resistencias al fuego indicadas para muros de zona vertical de seguridad y caja de escalera indicadas por la tabla del artículo 4.3.3.

ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN									
TIPO	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
a	F-180	F-120	F-120	F-120	F-120	F-30	F-60	F-120	F-60
b	F-150	F-120	F-90	F-90	F-90	F-15	F-30	F-90	F-60
c	F-120	F-90	F-60	F-60	F-60	-	F-15	F-60	F-30
d	F-120	F-60	F-60	F-60	F-30	-	-	F-30	F-15

SIMBOLOGÍA	
ELEMENTOS VERTICALES	
(1)	MUROS CORTAFUEGO
(2)	MUROS ZONA VERTICAL DE SEGURIDAD Y CAJA DE ESCALERA
(3)	MUROS CAJA ASCENSORES
(4)	MUROS DIVISORIOS ENTRE UNIDADES (HASTA LA CUBIERTA)
(5)	ELEMENTOS SOPORTANTES VERTICALES
(6)	MUROS NO SOPORTANTES Y TABIQUES
ELEMENTOS VERTICALES Y HORIZONTALES	
(7)	ESCALERAS
ELEMENTOS HORIZONTALES	
(8)	ELEMENTOS SOPORTANTES HORIZONTALES
(9)	TECHUMBRE INCLUIDO CIELO FALSO

Figura 56: Resistencia al fuego según elemento constructivo, según Art. 4.3.3 OGUC (intervenida).

Al momento de aplicar los requerimientos para enfrentar el fuego en el caso estudiado, se puede apreciar que los tabiques y muros no soportantes deben cumplir con una resistencia F-30, las escaleras y la techumbre con F-60, y los demás elementos deben cumplir con una exigencia de F-120. Esto puede representar un mayor costo, ya que la solución constructiva F-120 posee más capas con mayores resistencias al fuego lo que encarece la construcción.

Es importante mencionar que la normativa vigente en Chile no hace especial referencia a la compartimentación de edificaciones frente al fuego y propagación del humo, en comparación a normativas de países con mayor tradición y experiencia en construcción en madera marco plataforma, tales como EEUU, Canadá, Australia, entre otros. Así, se destaca una brecha normativa

que podría ser preocupante, sobre todo cuando nos enfrentamos a edificaciones en madera de mayor altura.

iv. NORMATIVA ACÚSTICA APLICADA

Los requerimientos acústicos para este tipo de edificaciones corresponden a los mismos criterios que para edificaciones de menor altura. A continuación, se muestra un corte transversal del edificio donde se indican los elementos que deben cumplir con estos requerimientos, según el Art. 4.1.6 de la OGUC. Los elementos constructivos anteriormente señalados, ya sean elementos verticales u horizontales, deberán tener un índice de reducción acústica mínima de 45dB. Sumándose a este requerimiento, y solo para elementos constructivos horizontales o inclinados un nivel de presión acústica de impacto normalizado máximo de 75dB.

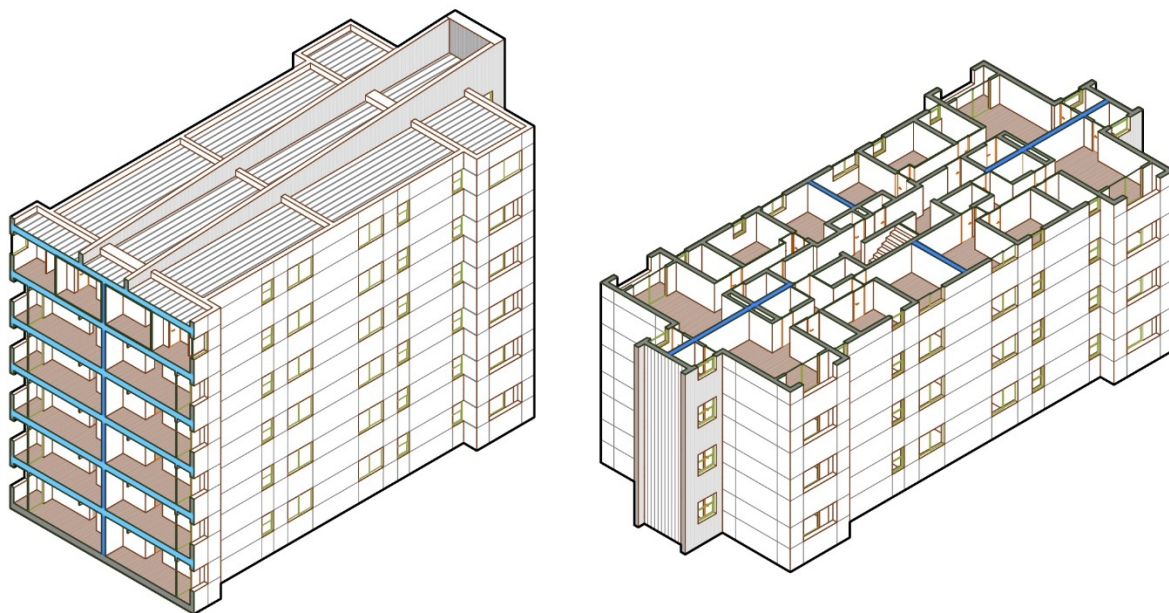


Figura 57: Elementos constructivos que deben cumplir con los requerimientos acústicos.
Fuente: elaboración propia.

Como se mencionó en el capítulo III de este manual, existen algunas recomendaciones de diseño para fomentar el confort acústico al interior de las viviendas, estas corresponden a la utilización de soluciones constructivas que permitan la continuidad del aislante para evitar puentes acústicos.

A continuación, se muestra la planta del caso de estudio, la que es preciso analizar pues en ella se observa que los dormitorios de dos unidades de viviendas diferentes se encuentran divididos por un muro acústico que debe cumplir con las exigencias normativas previamente definidas.

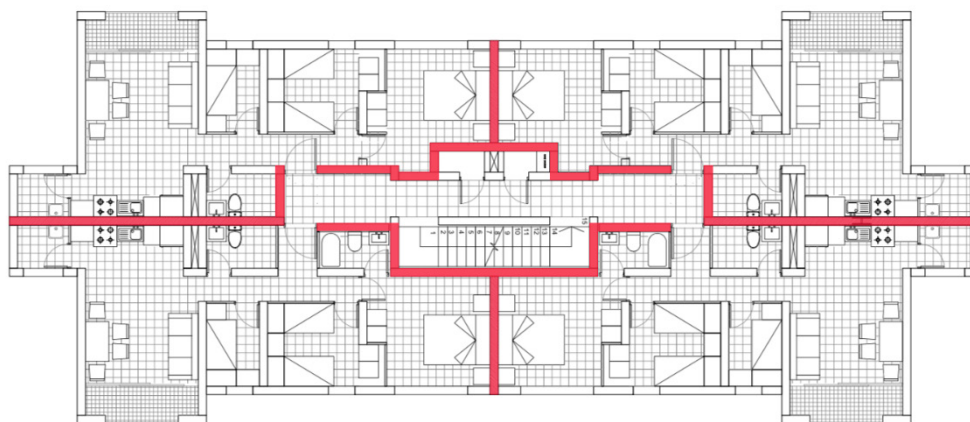


Figura 58: planta tipo edificio 6 pisos. Fuente: elaboración propia

Para analizar con mayor detalle todo lo referente a las soluciones constructivas utilizadas en el proyecto, se recomienda ver el material adjunto en el anexo b del presente documento.

D. CONCLUSIONES GENERALES DE LOS 3 CASOS

1. Flexibilidad de la normativa estructural en viviendas de 1 a 2 pisos.

La utilización de madera en edificaciones de 1 y 2 pisos aumentó su participación en el sector de la construcción, y pasó de tener una presencia del 20,6 % en 2002 a una del 38,9 % en 2017, según datos del INE, un aumento significativo del uso de madera para esta tipología de viviendas. Por su parte, la OGUC en su artículo 5.6.7 determina que las viviendas de menos de 7 pisos podrán no contar con el estudio de cálculo estructural, esto implica que los sistemas constructivos en madera estén disponibles y bien estudiados de manera previa, para asegurar la calidad de las viviendas construidas.

2. Los PDA aplicados a ciudades contaminadas pretenden elevar estándares de eficiencia energética de las viviendas.

Si bien es sabido que los altos niveles de contaminación de las ciudades del sur del país tienen relación con problemas de calefacción de las viviendas, hoy es necesario realizar una mejor planificación y ejecución de las obras para apuntar hacia un mayor estándar de eficiencia energética, y por ende disminuir la contaminación

3. Los requerimientos para hacer frente al fuego se logran cumplir sin mayores dificultades, debido a que existe una variedad de soluciones para cada elemento.

Estas soluciones consideran distintas resistencias al fuego y necesidades constructivas. Para ver algunos ejemplos de soluciones ensayadas, revisar anexo b: correspondiente a las fichas de soluciones constructivas, donde en un apartado se indica la resistencia al fuego y el número de informe del ensayo de desempeño.

4. Los muros aislantes acústicos demuestran gran innovación en cuanto al desempeño acústico de las soluciones constructivas de muros.

Una ventaja de la construcción con el sistema constructivo de marco y plataforma es que todo el espesor de muro puede ser aislante. Con esto se pueden lograr soluciones más eficientes energéticamente.

BIBLIOGRAFÍA

CChC. (2012). Humedad por Condensación en Viviendas.

CitecUBB, & Decon UC. (2014). Manual de Hermeticidad al aire de Edificaciones.

Chapple, P (2010) Sistemas constructivos y su resistencia al fuego. Altas temperaturas. pp.40-43 Revista BIT, n.71

CONAF. (2019). Plantaciones Forestales Efectuadas Durante el Año 2018. 230. https://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1577455171PlantacionesForestales2018_CONAF.pdf

Coudert, L., Blais, J.-F., Mercier, G., Cooper, P., & Janin, A. (2013). 21—Remediation processes for wood treated with organic and/or inorganic preservatives.

DIN 68800-4, 2019, p. 68800

Henke, K. R. (2009). Environmental chemistry, health threats and waste treatment. John Wiley & Sons: West Sussex, United Kingdom.

INFOR. (2020). El Mercado de la Madera Aserrada para Uso Estructural en Chile.

Instituto Nacional de Normalización INN (1987). Maderas - Parte 1: Clasificación de maderas comerciales por su durabilidad natural.

Instituto Nacional de Normalización INN (2009). NCh819:2009 Madera preservada - Pino radiata - Clasificación según uso y riesgo en servicio y muestreo.

Instituto Nacional de Normalización INN (2019). NCh173:2019 Madera – Terminología general

Instituto Nacional de Normalización INN (1979). NCh724:1979 Paneles a base de madera – Tableros – Vocabulario.

Instituto Nacional de Normalización INN (2019). NCh922 Madera – Defectos a considerar en la clasificación, terminología y métodos de medición.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2006). Aplicación Práctica Artículo 4.1.10. Manual de Aplicación de La Reglamentación Térmica, 11.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2018). Requisitos de rotulado de la madera aserrada para construcción.

MINVU (2016). Resolución exenta N° 01369

MINVU. (2006). Manual de Reglamentación Acústica

MINVU. (2018). Estándares de construcción sustentable para viviendas de Chile Tomo I: Salud y bienestar.

Simpson Strong-Tie. (2018). Conectores para la construcción en madera 2017-2018.

ANEXOS

ANEXO A: ACTUALIZACIÓN DE NORMAS TÉCNICAS NCH ASOCIADAS A LA CONSTRUCCIÓN EN MADERA

*Normas en proceso de actualización por DITEC MINVU

- *NCh 433 Diseño sísmico de edificios.
- *NCh 1198 Madera – Construcción en Madera – Cálculo.
- NCh 1990 Madera – Tensiones admisibles para madera estructural.
- NCh 2151 Madera laminada encolada estructural – Vocabulario.
- *NCh 2165 Tensiones admisibles para la madera laminada encolada estructural de pino radiata.
- NCh 1989 Maderas - Agrupamiento de especies madereras según su resistencia - procedimiento.
- NCh 1970/1 Maderas - Parte 1: Especies latifoliadas - Clasificación visual para uso estructural - Especificaciones de los grados de calidad.
- NCh 1970/2 Maderas - Parte 2: Especies coníferas - Clasificación visual para uso estructural - Especificaciones de los grados de calidad.
- *NCh 1207 Pino radiata - Clasificación visual para uso estructural - Especificaciones de los grados de calidad.
- NCh 1079 Arquitectura y construcción - Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico.
- NCh 789/1 Maderas - Parte 1: Clasificación de maderas comerciales por su durabilidad natural.
- *NCh 819 Madera preservada - Pino radiata - Clasificación según uso y riesgo en servicio y muestreo.
- NCh 3390 Madera - Metodología de medición de emisión de formaldehído por micro cámara.
- NCh 3391 Madera - Tableros de fibra y tableros de partículas – Límite máximo de emisión de formaldehído.
- NCh 762 Planchas y tableros a base de madera - Determinación del contenido de humedad.
- NCh 2148 Madera laminada encolada estructural - Requisitos, métodos de muestreo e inspección.
- NCh 790 Madera - Preservación - Clasificación, composición y requisitos de los preservantes para madera.
- NCh 1969/1 Maderas - Especies latifoliadas - Clasificación visual por despiece o aprovechamiento - Parte 1: Madera aserrada o cepillada proveniente de bosques secundarios nativos de las especies coigüe, raulí y roble.
- NCh 3223 Maderas - Especies latifoliadas - Clasificación visual de trozas provenientes de bosques secundarios nativos de las especies coigüe, raulí y roble.

- NCh 3226 Madera - Bosques secundarios nativos de las especies coigüe, raulí y roble - Clasificación visual para uso estructural - Especificaciones de los grados de calidad.
- NCh 3222 Madera - Especies latifoliadas - Clasificación visual de árboles en pie de bosques secundarios nativos de las especies coigüe, raulí y roble.
- NCh 3177 Madera-Plástico - Determinación de propiedades físicas y mecánicas - Métodos de ensayo.
- *NCh 173 Madera - Terminología general.
- NCh 1969 Madera - Especies latifoliadas - Clasificación visual por despiece o aprovechamiento.
- NCh 3028/2 Madera estructural - Determinación de propiedades físicas y mecánicas de la madera clasificada por su resistencia - Parte 2: Muestreo y evaluación de los valores. Características de piezas en tamaño estructural.
- NCh 3112 Adhesivos - Clasificación de adhesivos termoplásticos para madera de uso no estructural.
- NCh 3079 Madera - Uniones realizadas con elementos de unión mecánicos - Determinación de las características de resistencia y deformación - Principios generales
- NCh 3060 Preservantes de la madera - Determinación de la eficacia contra termitas subterráneas - Método de laboratorio.
- NCh 980 Madera - Determinación de la contracción e hinchamiento volumétrico.
- NCh 3053 Madera - Determinación del hinchamiento radial y tangencial.
- *NCh 174 Maderas - Unidades, dimensiones nominales, tolerancias y especificaciones.
- NCh 177 Madera - Planchas de fibra de madera – Especificaciones.
- NCh 3065 Madera - Especies latifoliadas - Madera para muebles - Requisitos y clasificación.
- NCh 3028/1 Madera estructural - Determinación de propiedades físicas y mecánicas de la madera clasificada por su resistencia - Parte 1: Métodos de ensayo en tamaño estructural.
- NCh 775: 1980 Paneles a base de madera - Tableros - Extracción de muestras y probetas y determinación de las dimensiones de las probetas.
- NCh 1207: 2005 Pino radiata - Clasificación visual para uso estructural - Especificaciones de los grados de calidad.
- NCh 3004 Madera - Métodos de ensayo para determinar las propiedades mecánicas de madera de chapas laminadas para uso estructural.
- NCh 3005 Madera - Evaluación estructural de madera de chapas laminadas.
- NCh 3003 Adhesivos - Adhesivos para madera de chapas laminadas de uso exterior (uso húmedo) - Requisitos y métodos de ensayo.
- NCh 2957/0 Madera - Material de propagación de uso forestal – Parte 0: Producción y comercialización.

- NCh 2957/1 Madera - Material de propagación de uso forestal – Parte 1: Requisitos generales para Pino radiata.
- NCh 2957/2 Madera - Material de propagación de uso forestal – Parte 2: Requisitos generales para Eucaliptus globulus y Eucalyptus nitens.
- NCh 2957/4 Madera - Material de propagación de uso forestal – Parte 4: Requisitos generales para pino Oregón.
- NCh 760 Madera - Tableros de partículas – Especificaciones.
- NCh 351/3 Construcción - Escalas - Parte 3: Requisitos para las escalas de madera.
- NCh 2999 Maderas - Madera aserrada de álamo – Requisitos.
- NCh 793 Madera - Planchas y tableros lignocelulósicos - Determinación de la absorción de agua y del hinchamiento después de la inmersión en agua.
- NCh 794 Madera - Planchas y tableros lignocelulósicos - Determinación de la resistencia a la flexión.
- NCh 2059 Madera - Tableros de fibra de densidad media y tableros de partículas - Determinación del contenido de formaldehído - Método de extracción denominado del perforador.
- NCh 999 Andamios de madera de doble pie derecho – Requisitos.
- NCh 2957/5 Madera - Material de propagación de uso forestal – Parte 5: Requisitos generales para Raulí.
- *NCh 178 Madera aserrada de pino radiata - Clasificación por aspecto.
- NCh 2122 Maderas - Postes de pino radiata - Especificaciones y dimensiones.
- *NCh 354 Hojas de puertas lisas de madera - Requisitos generales.
- *NCh 723 Hojas de puertas lisas de madera - Métodos de ensayo.
- *NCh 2824 Maderas - Pino radiata - Unidades, dimensiones y tolerancias.
- *NCh 2827 Calibración y uso de xilohigrómetros portátiles
- *NCh 631 Madera preservada - Extracción de muestras.
- *NCh 176/1 Madera - Parte 1: Determinación del contenido de humedad.
- NCh 2100 Madera - Molduras - Designación, perfiles y dimensiones.
- NCh 2093 Madera - Tableros de fibra de densidad media y tableros de partículas - Límites del contenido de formaldehído total extraíble.
- *NCh 630 Madera - Preservación – Terminología.
- NCh 1438 Madera preservada - Preparación de la muestra, por incineración húmeda, para análisis químico.
- *NCh 755 Madera - Preservación - Medición de la penetración de preservantes en la madera.
- NCh 763/2 Madera - Preservación - Parte 2: Método estándar de madera tratada y soluciones de tratamiento mediante espectrofotometría de absorción atómica.

- NCh 763/1 Maderas - Preservación - Parte 1: Análisis de madera preservada y soluciones preservantes mediante espectroscopia de fluorescencia de rayos X.
- NCh 1439 Madera - Preservación - Preservantes hidrosolubles - Análisis químico clásico.
- NCh 2284 Maderas - Preservantes - Métodos de muestreo.
- *NCh 2150 Madera laminada encolada - Clasificación mecánica y visual de madera aserrada de pino radiata.
- NCh 2149 Madera - Madera aserrada - Determinación del módulo de elasticidad en flexión - Método de ensayo no destructivo.
- *NCh 1970/1 Maderas - Parte 1: Especies latifoliadas – Clasificación visual para uso estructural - Especificaciones de los grados de calidad.
- *NCh 1970/2 Maderas - Parte 2: Especies coníferas - Clasificación visual para uso estructural - Especificaciones de los grados de calidad.
- NCh 176/2 Madera - Parte 2: Determinación de la densidad.
- NCh1989 Maderas - Agrupamiento de especies madereras según su resistencia – Procedimiento.
- *NCh789/1 Maderas - Parte 1: Clasificación de maderas comerciales por su durabilidad natural.
- NCh968 Madera - Selección, obtención y acondicionamiento de muestras y probetas para la determinación de propiedades físicas y mecánicas.
- *NCh969 Madera - Determinación de las propiedades mecánicas - Condiciones generales para los ensayos.
- *NCh 973 Madera - Determinación de las propiedades mecánicas - Ensayo de compresión paralela.
- *NCh 974 Madera - Determinación de las propiedades mecánicas - Ensayo de compresión perpendicular a las fibras.
- *NCh 975 Madera - Determinación de las propiedades mecánicas - Ensayo de tracción perpendicular a las fibras.
- *NCh 976 Madera - Determinación de las propiedades mecánicas - Ensayo de cizalle paralelo a las fibras.
- NCh 724 Paneles a base de madera - Tableros – Vocabulario.
- NCh 795 Tableros de partículas - Determinación de la tracción perpendicular al plano.
- *NCh 977 Madera - Determinación de las propiedades mecánicas - Ensayo de clivaje.
- *NCh 978 Madera - Determinación de las propiedades mecánicas - Ensayo de dureza.
- *NCh979 Madera - Determinación de las propiedades mecánicas - Ensayo de extracción de clavo.
- *NCh986 Madera - Determinación de las propiedades mecánicas - Ensayo de tenacidad.
- *NCh987 Madera - Determinación de las propiedades mecánicas - Ensayo de flexión estática.
- NCh176/3 Madera - Parte 3: Determinación de la contracción radial y tangencial.

- NCh792 Paneles a base de madera - Tableros - Determinación de la densidad.
- NCh761 Paneles a base de madera - Tableros - Determinación de las dimensiones y de la forma.
- *NCh993 Madera - Procedimiento y criterios de evaluación para clasificación.
- NCh1320 Madera destinada a preservación – Requisitos.
- NCh 356 Parquet.
- *NCh 992 Madera - Defectos a considerar en la clasificación, terminología y métodos de medición.
- *NCh 355 Ventanas de madera.
- *NCh1989:2017 Maderas - Agrupamiento de especies madereras según su resistencia – Procedimiento, pendiente oficialización
- *NCh1990 Madera - Tensiones admisibles para madera estructural, pendiente oficialización.
- *NCh3028/1 Madera estructural - Determinación de propiedades físicas y mecánicas de la madera clasificada por su resistencia - Parte 1: Métodos de ensayo en tamaño estructural.
- *NCh3028/2 Madera estructural - Determinación de propiedades físicas y mecánicas de la madera clasificada por su resistencia - Parte 2: Muestreo y evaluación de los valores característicos de piezas en tamaño estructural.
- *NCh3390 Madera - Metodología de medición de emisión de formaldehído por microcámara.
- *NCh3391 Madera - Tableros de fibra y tableros de partículas - Límite máximo de emisión de formaldehído.
- NCh2369 Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales.
- NCh3617 Madera contrachapada estructural.



FICHA TÉCNICA

Centro **UC**
de Innovación
en Madera



Proyecto apoyado por
CORFO



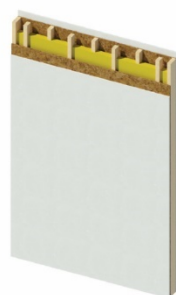
ELEMENTO CONSTRUCTIVO VERTICAL

MURO DIVISORIO (ENTRE UNIDADES)

MD0001-E

ESTRUCTURAL			
GRAVITACIONAL	X	LATERAL	X
RECINTO		A	B
HÚMEDO		SECO	X

IMAGEN 3D



Vista desde la cara izquierda interior

DESEMPEÑO



RESISTENCIA AL FUEGO
(CLASIFICACIÓN)

F60

LABORATORIO
DICTUC

N° INFORME
1428042



ÍNDICE DE REDUCCIÓN
ACÚSTICA
[dB(A)]

49

LABORATORIO
CPIA

N° INFORME
0251-2-AE

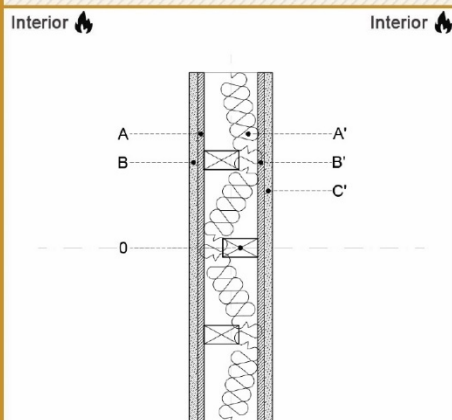


NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA
DE IMPACTO NORMALIZADO
[dB]

N/A

N/A

DETALLE EN PLANTA



(Recinto A)

(Recinto B)

PESO (POR METRO LINEAL)	CARGA ADMISIBLE	ESPESOR
143 [kg/m] (Según criterios plataforma)	1375 [kg/m] (Según criterios plataforma)	146.2 [mm]

DESCRIPCIÓN

INTERIOR (A)	H												
	G												
	F												
	E												
	D												
INTERIOR (B)	C												
	B	Plancha Yeso Cartón ER Gyplac Romeral 15[mm]											
	A	Plancha OSB Estructural Home Plus LP 11.1[mm]											
NÚCLEO	O	RECOMENDACIONES PROPIEDADES DE LA MADERA				ESPECIFICACIÓN TABIQUE DE MADERA				S/CADENETA			
	Especie		Terminación		Preservación NCh 819		Cantidad	Solera	Grado Estructural NCh 1198		Otros		
	Pino Radiata		Cepillado / Dimensionado (Según informe de fuego)		Preservado		-	N/A 33x94 [mm]			C24		
					C. Humedad Nch 1198		Cantidad	Pie Derecho			Distanciamiento		
					CH<20%		1	N/A 33x61 [mm]			@ 400 [mm]		
	A	Aislación Lana de Vidrio Romeral 50[mm] (11[kg/m3])											
	B	Plancha OSB Estructural Home Plus LP 11.1[mm]											
	C	Plancha Yeso Cartón ER Gyplac Romeral 15[mm]											
	D												
	E												
F													
G													
H													

CONSIDERACIONES

1- Para la descripción de los materiales (exterior e interior), propiedades de la madera y especificación tabique, las recomendaciones estarán mencionadas en color **GRIS**, mientras que la información especificada en ensayos estará expresada en **NEGRO**.

2- La solución propuesta sin grado estructural (según NCh 1198) es considerada elemento constructivo no soportante. Para descarga de antecedentes de ensayos, estudios y memorias acceder a enlaces adjuntos. Los antecedentes entregados, consideran material necesario para dar cumplimiento a requerimientos normativo, ante dirección de obra municipal pertinente. El uso de los antecedentes entregados es de exclusiva responsabilidad de quien los utilice.

(www.disenamadera.cl)

NORMATIVAS

MADERA	ESTRUCTURAL	FUEGO	ACÚSTICO	TÉRMICO
NCh 173 NCh 176/1 NCh 789/1 NCh 819 NCh 1079 NCh 2824 OGUC 5.6.8	NCh 1198 NCh 1207	NCh935/1 OGUC 4.3.1-4.3.5	ISO 140-7 ISO 140-9 ISO 717-1 ISO 717-2 NCh 2765 NCh 2786 OGUC 4.1.6	NCh 850 NCh 851 NCh 853 NCh 1973 NCh 2251 OGUC 4.1.10/ 4.1.10 Bis NCh 1079 ECS (MINVU)



AÑO 2020



FICHA TÉCNICA

Centro **UC**
de Innovación
en Madera



Proyecto apoyado por
CORFO



ELEMENTO CONSTRUCTIVO HORIZONTAL

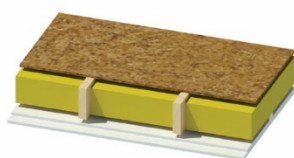
TECHUMBRE

TE0001-E

ESTRUCTURAL

GRAVITACIONAL	X	LATERAL	X
RECINTO	B		B
HÚMEDO		SECO	X

IMAGEN 3D



Vista desde la cara superior

DESEMPEÑO



RESISTENCIA AL FUEGO
(CLASIFICACIÓN)

F30

LABORATORIO
DICTUC

N° INFORME
1428085



TRANSMITANCIA TÉRMICA
[W/(m².K)]

0,33

LABORATORIO
CIM UC

N° INFORME
2019145

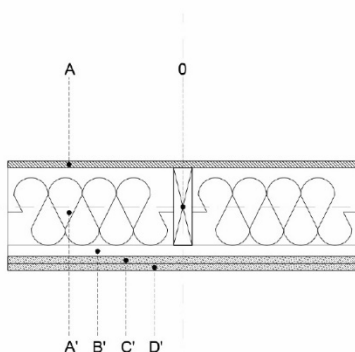


ZONAS TÉRMICAS
Nch 1079 - Estándar Construcción Sustentable

A	ARICA SANTO AGASTA	X
B	MALENA COPIAPO	X
C	COQUIMBO VALPARAISO	X
D	SANTIAGO TALCA	X
E	CONSTITUCION CONCEPCION	X
F	CHILLAN TEMUCO	
G	OSORNO PUERTO MONTT	
H	PUTRE LONGUMAY	
I	COPIAQUE PUNTA ARENAS	

DETALLE EN CORTE

Exterior



Interior

(Recinto B)

PESO (POR METRO CUADRADO)	LUZ MÁXIMA ADMISIBLE	ESPESOR
43 [kg/m²] (Según criterios plataforma)	3.3 [m] (Según criterios plataforma)	193.1 [mm]

DESCRIPCIÓN

EXTERIOR

H
G
F
E
D
C
B
A

A Plancha OSB Estructural Home Plus LP 11.1[mm]

NÚCLEO

O

RECOMENDACIONES PROPIEDADES DE LA MADERA				ESPECIFICACIÓN ENTRAMADO DE MADERA		
Especie	Terminación	Preservación Nch 819	Cantidad	Viga Perimetral	Grado Estructural Nch 1198	Otros
Pino Radiata	Cepillado / Dimensionado (Según informe de fuego)	Preservado	-	1 1/2x6 33x138 [mm]	C24	CCADENETA
		C. Humedad Nch 1198	Cantidad	Viga		
		CH<20%	1	1 1/2x6 33x138 [mm]	@ 400 [mm]	

A Aislación Lana de Vidrio Romeral 120[mm] (11[kg/m³])

B Estructura Secundaria Madera 19x41[mm] c/400[mm] ⊥

C Plancha Yeso Cartón RF Gyplac Romeral 12.5[mm]

D Plancha Yeso Cartón RF Gyplac Romeral 12.5[mm]

INTERIOR

B
C
D
E
F
G
H

CONSIDERACIONES

1- Para la descripción de los materiales (exterior e interior), propiedades de la madera y especificación tabique, las recomendaciones estarán mencionadas en color **GRIS**, mientras que la información especificada en ensayos estará expresada en **NEGRO**.
2- Barrera de vapor y barrera de humedad a incluir según requerimiento del proyecto (según Nch 1973).
Para descarga de antecedentes de ensayos, estudios y memorias acceder a enlaces adjuntos. Los antecedentes entregados, consideran material necesario para dar cumplimiento a requerimientos normativo, ante dirección de obra municipal pertinente. El uso de los antecedentes entregados es de exclusiva responsabilidad de quien los utilice.

(www.disenamadera.cl)

NORMATIVAS

MADERA	ESTRUCTURA	FUEGO	ACÚSTICO	TÉRMICO
Nch 173 Nch 176/1 Nch 789/1 Nch 819 Nch 1079 Nch 2824 OGUC 5.8.8	Nch 1198 Nch 1207	Nch935/1 OGUC 4.3.1-4.3.5	ISO 140-7 ISO 140-9 ISO 717-1 ISO 717-2 Nch 2765 Nch 2786 OGUC 4.1.6	Nch 850 Nch 851 Nch 853 Nch 1973 Nch 2251 OGUC 4.1.10/4.1.10 Bis Nch 1079 ECS (MINVU)



AÑO 2020



FICHA TÉCNICA

Centro **UC**
de Innovación
en Madera



Proyecto apoyado por
CORFO



ELEMENTO CONSTRUCTIVO HORIZONTAL

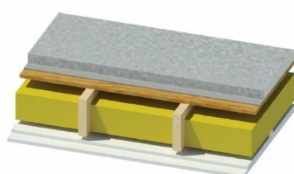
ENTREPISO (ACÚSTICO)

EP0001-G

ESTRUCTURAL

GRAVITACIONAL	X	LATERAL	X
RECINTO	A B	A B	
HÚMEDO	X	SECO	X X

IMAGEN 3D



Vista desde la cara superior

DESEMPEÑO



RESISTENCIA AL FUEGO
(CLASIFICACIÓN)

F60

LABORATORIO
DICTUC

N° INFORME
1454803



ÍNDICE DE REDUCCIÓN
ACÚSTICA
[dB(A)]

49

LABORATORIO
CPIA

N° INFORME
0251-7-AE



NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA
DE IMPACTO NORMALIZADO
[dB]

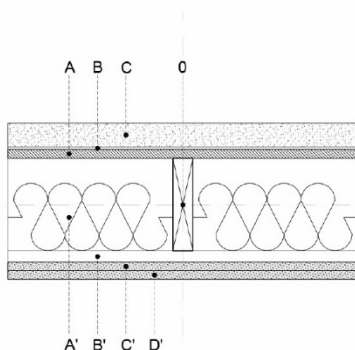
67

LABORATORIO
CPIA

N° INFORME
0251-1-IM

DETALLE EN CORTE

Interior (Recinto A)



Interior (Recinto B)

PESO (POR METRO CUADRADO)	LUZ MÁXIMA ADMISIBLE	ESPESOR
150 [kg/m ²] (Según criterios plataforma)	2.9 [m] (Según criterios plataforma)	275 [mm]

DESCRIPCIÓN

INTERIOR (A)	H	
	G	
	F	
	E	
NÚCLEO	D	
	C	Sobrelosa Hormigón Genérico 41[mm]
	B	Gránulos Caucho Genérico 5[mm]
	A	Plancha Terciado Estructural Genérico 15[mm]
INTERIOR (B)	H	
	G	
	F	
	E	
NÚCLEO	D	
	C	Sobrelosa Hormigón Genérico 41[mm]
	B	Gránulos Caucho Genérico 5[mm]
	A	Plancha Terciado Estructural Genérico 15[mm]
INTERIOR (B)	H	
	G	
	F	
	E	
NÚCLEO	D	
	C	Sobrelosa Hormigón Genérico 41[mm]
	B	Gránulos Caucho Genérico 5[mm]
	A	Plancha Terciado Estructural Genérico 15[mm]

RECOMENDACIONES PROPIEDADES DE LA MADERA				ESPECIFICACIÓN ENTRAMADO DE MADERA			
Especie	Terminación	Preservación NCh 819	Cantidad	Viga Perimetral	Grado Estructural NCh 1198	Otros	
Pino Radiata	Cepillado / Dimensionado (Según informe de fuego)	Preservado	-	N/A	MGP10		
		C. Humedad NCh 1198	Cantidad	Viga	Distanciamiento		
		CH<20%	1	N/A	@ 400 [mm]		

A Aislación Lana de Vidrio Romeral 120[mm] (11[kg/m³])

B Estructura Secundaria Madera 20x41[mm] c/400[mm] ⊥

C Plancha Yeso Cartón RF Gyplac Romeral 15[mm]

D Plancha Yeso Cartón RF Gyplac Romeral 15[mm]

CONSIDERACIONES

1- Para la descripción de los materiales (exterior e interior), propiedades de la madera y especificación tabique, las recomendaciones estarán mencionadas en color **GRIS**, mientras que la información especificada en ensayos estará expresada en **NEGRO**.
Para descarga de antecedentes de ensayos, estudios y memorias acceder a enlaces adjuntos. Los antecedentes entregados, consideran material necesario para dar cumplimiento a requerimientos normativo, ante dirección de obra municipal pertinente. El uso de los antecedentes entregados es de exclusiva responsabilidad de quien los utilice.

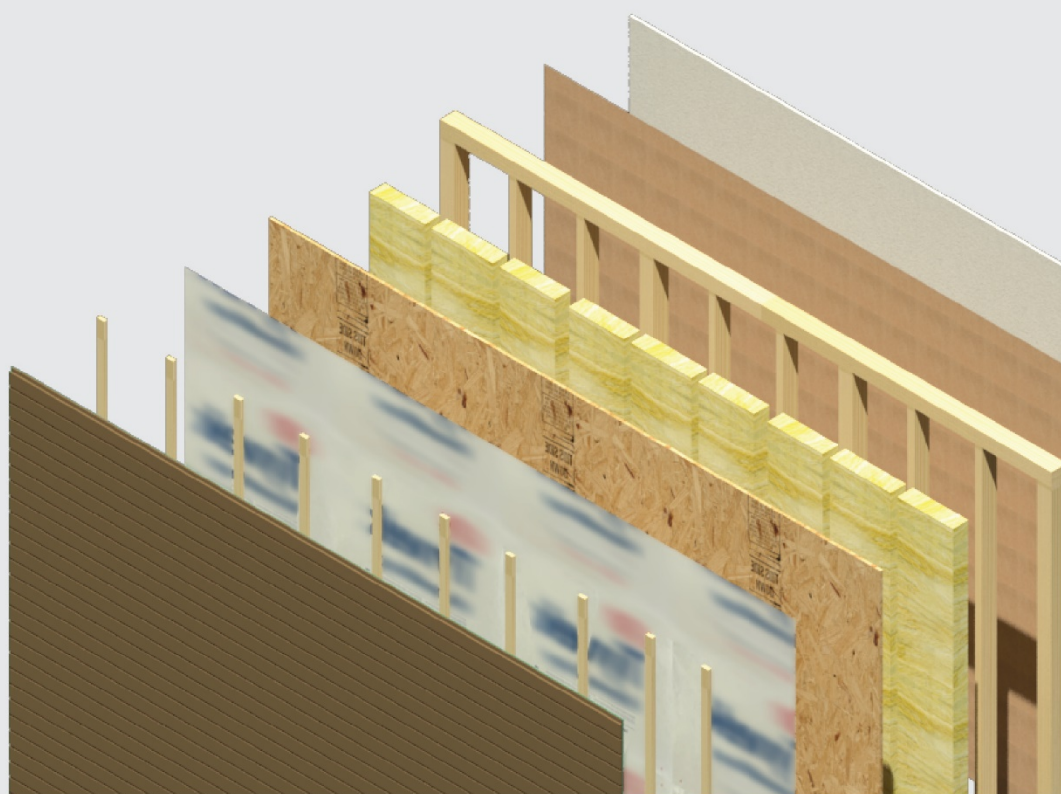
(www.disenamadera.cl)

NORMATIVAS

MADERA	ESTRUCTURA	FUEGO	ACÚSTICO	TÉRMICO
NCh 173 NCh 176/1 NCh 789/1 NCh 819 NCh 1079 NCh 2824 OGUC 5.6.8	NCh 1198 NCh 1207	NCh935/1 OGUC 4.3.1-4.3.5	ISO 140-7 ISO 140-9 ISO 717-1 ISO 717-2 NCh 2765 OGUC 4.1.10/4.1.10 Bis NCh 1079 ECS (MINVU)	NCh 850 NCh 851 NCh 853 NCh 1973 NCh 2251 OGUC 4.1.10/4.1.10 Bis NCh 1079 ECS (MINVU)



AÑO 2020



MANUAL DE SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS

DE ENTRAMADO LIGERO EN MADERA MARCO PLATAFORMA