

6. TABLEROS ESTRUCTURALES

6.1. TABLEROS CONTRACHAPADOS

Las propiedades mecánicas y densidad de los tableros contrachapados usualmente están disponibles en las páginas web de los fabricantes. A modo informativo, en el **ANEXO A** se presenta información sobre las propiedades estructurales de los tableros contrachapados de producción nacional.

6.2. TABLEROS OSB

Al igual que en el caso de los tableros contrachapados, las propiedades estructurales de los tableros OSB se encuentran tabuladas en las páginas web de los fabricantes. A modo informativo, en el **ANEXO A** se presenta información sobre las propiedades físico-mecánicas de los tableros OSB.

7. ELEMENTOS DE FIJACIÓN

7.1. CALIDAD Y TIPO DE PROTECCIÓN DEL ACERO DE LA TORNILLERÍA Y HERRAJES

El acero de los elementos metálicos utilizados en las uniones de estructuras de madera deberá tener una calidad mínima S-275-JR, de límite elástico 275 kN/mm², según las normas europeas EN 10025:2004 para productos laminados en caliente de acero para estructuras.

El acero debe ser resistente a la corrosión o estar protegidos contra ella. El Eurocódigo 5 plantea unos requerimientos mínimos de protección contra la corrosión y en la Tabla 12 se presentan los requerimientos de protección recomendados contra la corrosión de las uniones metálicas para las distintas clases de servicio.

Tabla 12. Recomendaciones de tipo de protección contra la corrosión del acero en caso de condiciones normales de exposición

Tipo de unión metálica	Clase de servicio		
	1	2	3
Pernos, pasadores, clavos y tornillos con d>4mm	Galvanizado en caliente Z275	Galvanizado en caliente Z275	Galvanizado en caliente Z350
Placas dentadas y placas de acero ≤6 mm de espesor	Galvanizado en caliente Z275	Galvanizado en caliente Z275	Acero inoxidable AISI-304
Placas de acero ≥6mm	Galvanizado en caliente Z275	Galvanizado en caliente Z275	Galvanizado en caliente Z350

NOTA: En caso de condiciones especialmente corrosivas (ej. En línea costera) o con el uso de madera que contenga extractivos que corroen el acero (ej. madera de castaño), se debería utilizar siempre acero inoxidable AISI 316



En resumen, el tratamiento protector recomendado en los herrajes, clavos y tornillería será el galvanizado en caliente Z275 para edificaciones lejos de la costa y ambientes no agresivos y acero inoxidable AISI 316 para las edificaciones ubicadas en la línea costera o en ambientes agresivos.

7.2. DETALLES CONSTRUCTIVOS

La Tabla 13 presenta los diámetros de pretaladros recomendados en la madera para la colocación de diferentes medios de unión tipo clavija.

Tabla 13. Diámetros de pretaladros para colocación de diferentes medios de unión tipo clavija (adaptado del Eurocódigo 5)

Tipo conector metálico	Clavos	Pernos	Pasadores ($\geq 6\text{mm}$)	Tirafondos ($d_{\text{caña}} \leq 6\text{mm}$)	Tirafondos ($d_{\text{caña}} > 6\text{mm}$)
$d_{\text{pretaladro en madera}}$	$\leq 0,8d$	$\leq (d+1\text{mm})$	$= d_{\text{pasador}}$	Coníferas: sin pretaladro Fronosas: Pretaladro $\text{caña} = d_{\text{caña}}$; Pretaladro $\text{rosca} = 0,7d_{\text{caña}}$	Pretaladro $\text{caña} = d_{\text{caña}}$ Pretaladro $\text{rosca} = 0,7d_{\text{caña}}$
$d_{\text{pretaladro en chapa metálica}}$	-	$\leq \text{mín} [(d+2\text{mm}); 0,01d]$	-	-	-

El diámetro de la arandela colocada en pernos debería ser 3 veces el diámetro del perno ($d_{\text{arandela}} \geq 3d_{\text{perno}}$) y con un espesor mayor o igual a 0,3 veces el diámetro del perno ($\text{esp} \geq 0,3d_{\text{perno}}$).

8. DECLARACIÓN DE PRODUCTO ESTRUCTURAL Y CONTROL DE PRODUCCIÓN EN FÁBRICA

8.1. DECLARACIÓN DE MADERA ASERRADA ESTRUCTURAL

La declaración de producto estructural de la madera aserrada se puede realizar a través de un sello de calidad estructural (ver **ANEXO A**) emitido por un organismo certificador homologado. En el caso de no existir organismo certificador, como es el caso de Uruguay, la madera aserrada nacional debe cumplir con lo detallado en el **ANEXO D**.

8.2. DECLARACIÓN DE MLE Y CLT ESTRUCTURAL

Una vez definidos los requisitos de fabricación, cada industria deberá declarar cuáles son las propiedades físico-mecánicas de sus productos. Para ello, deberán realizar los “Ensayos de tipo inicial” (EIT), definidos en el **ANEXO D** del presente documento, cuyo informe de resultados deberá ser entregado al cliente siempre que este lo requiera. Dicho informe se realiza una vez, cuando se declaran las propiedades del producto, y será válido siempre y cuando no se modifiquen las condiciones de fabricación ni el material utilizado.



Además de los ensayos iniciales de tipo, el fabricante deberá implementar un sistema de control de producción en fábrica (CPF) que garantice que los elementos comercializados cumplen con los valores declarados en el EIT y con los requisitos mínimos de fabricación. Los ensayos de CPF se presentan en el **ANEXO D** del presente documento.

Los EIT deberán ser realizados por una tercera parte independiente (laboratorio o universidad), mientras que los ensayos CPF podrán ser realizados por el propio fabricante.

9. CONTROL DE CALIDAD DE RECEPCIÓN DE LA MADERA ESTRUCTURAL

Por su parte, el cliente podrá establecer un sistema de control de calidad de recepción de producto con el fin de verificar lo declarado en el EIT.

9.1. HIPÓTESIS

Para evaluar un valor característico (de resistencia, rigidez o densidad) de un lote determinado, se debe ensayar una muestra de ese lote conforme al presente capítulo. En el apartado siguiente se indica el tamaño de la muestra y los requisitos de evaluación para los valores medios (percentil 50 %) y los valores de percentil 5 %.

El procedimiento ha sido propuesto por Domenech (2019) y se basa en la teoría del control de calidad, considerando las siguientes tres hipótesis:

1. Los parámetros de resistencia, rigidez y densidad se ajustan a una distribución log-normal, según lo establecido en el Anexo C del Eurocódigo 0 (EN 1990:2002/A1:2005/AC:2010). Para la determinación de los valores característicos, se supone que el fabricante utilizó entre 30 y 50 piezas.
2. La probabilidad de que un lote de calidad aceptable (cuyo valor característico sea mayor al declarado) sea rechazado es menor al 5 % (EN 14358:2016).
3. La probabilidad de que ocurra simultáneamente:
 - a. que un lote de calidad no aceptable (cuyo valor característico sea menor al declarado) sea aceptado, y
 - b. que un elemento de ese lote tenga un parámetro (de resistencia, rigidez o densidad) menor al valor de cálculo (valor característico dividido del coeficiente de seguridad del material) para una clase de fiabilidad RC1, es menor a la probabilidad de que un elemento de un lote aceptable tenga un parámetro menor al valor de cálculo para una clase de fiabilidad RC2 (EN 1990:2002/A1:2005/AC:2010).

La segunda hipótesis asegura que el fabricante no se vea perjudicado significativamente por el control de calidad realizado por el usuario al reducir la probabilidad de rechazar un lote de calidad aceptable a un valor menor al 5 %. La tercera hipótesis asegura que, cualquiera sea la calidad del lote provisto por el fabricante, si el usuario realiza un



adecuado control de calidad, la fiabilidad estructural sea al menos la requerida a un edificio semejante a un galón agrícola.

9.2. METODOLOGÍA

Recibido el lote, se debe seleccionar un muestreo de 5 piezas de forma aleatoria. Estas se deben ensayar según la norma EN 408:2011, de manera de obtener $n = 5$ valores de ensayo, designados como x_i con $i = 1, 2, \dots, n$. A partir de estos valores se debe determinar el valor medio \bar{x} y los valores normalizados y_i cómo se indica a continuación:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$y_i = \ln\left(\frac{x_i}{\bar{x}}\right), \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Hallados los valores normalizado de y_i , se debe calcular el valor medio \bar{y} y la desviación estándar de la muestra s_y según las siguientes ecuaciones (en las que $CV_{x,d}$ corresponde al coeficiente de variación de la propiedad declarado por el fabricante):

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

$$s_y = \max \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \\ \sqrt{\ln(1 + CV_{x,d}^2)} \end{array} \right.$$

Con estos dos valores y el coeficiente $k_c(p)$ se debe determinar el valor característico de comparación normalizado $y_{p,c}$ (correspondiente al percentil p) y el valor característico de comparación $x_{p,c}$ (correspondiente al percentil p) según se expresa a continuación:

$$y_{p,c} = \bar{y} - k_c(p) s_y$$

$$x_{p,c} = \bar{x} \exp(y_{p,c})$$

El coeficiente $k_c(p)$ depende de la propiedad que se esté evaluando a partir del percentil p . Para la determinación de valores característicos correspondientes al percentil $p = 5\%$ se debe considerar $k_c(5\%) = 1,05$; mientras que para la determinación de valores característicos medios correspondientes al percentil $p = 50\%$ se debe considerar $k_c(50\%) = -0,64$.

Sea x_k el valor característico declarado por el fabricante. De la comparación con el valor obtenidos de $x_{p,c}$ surgen dos posibilidades:

1. Si $x_{p,c} > x_k$, el lote presenta una calidad aceptable, por lo que debe ser aceptado.
2. Si $x_{p,c} < x_k$, el lote presenta una calidad no aceptable, por lo que debe ser rechazado.

10. TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO Y CONTROL DE EJECUCIÓN EN OBRA



Durante el almacenamiento y transporte de la madera estructural es importante mantener las mismas condiciones que las de servicio de la estructura. En caso de que las condiciones de transporte y almacenamiento sean diferentes y peores a las de servicio de la estructura, las piezas de madera se deberán proteger mediante la envoltura con algún tipo de material plástico para evitar el contacto con la humedad ambiental y el agua.

El almacenamiento se debe realizar sobre una superficie plana, evitando el contacto directo de la madera con el suelo y permitiendo la ventilación entre los diferentes elementos de madera, en caso de que estos se apilen.

Tanto el Director de Obra como el Capataz o encargado de ejecución de la obra, deberá velar por el cumplimiento de los requisitos que garanticen que las piezas de madera colocadas en obra mantengan las condiciones iniciales reflejadas en el proyecto de ejecución.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Argüelles Álvarez, R.; Arriaga, F.; Iñiguez, G; Esteban, M; Argüelles Bustillo, R (2013). Estructuras de madera. Bases de cálculo. AITIM. 1° Edición. Madrid, España

ASTM D 1990-07 (2011). Standard practice for establishing allowable properties for visually-graded dimension lumber from in-grade tests of full-size specimens. Annual Book of ASTM Standards. Vol 04.10. West Conshohocken, PA.

Baño, V., Godoy, D., Figueredo, D, Vega, A. (2018). Characterization and structural performance in bending of CLT panels made from small-diameter logs of Loblolly/Slash pine. Materials 11(12):2436

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6317170/>

CTE-DB-SE-M (2009). Código Técnico de la Edificación. Documento Básico Seguridad Estructural: Madera. Ministerio de Fomento. Madrid, España.

de Castro, R. (2010). Secado al aire de tablas y rollizos en diferentes regiones del país y variación estacional de la humedad de equilibrio. Maderexpo 2010. Montevideo, Uruguay

Domenech, L. (2019). Análisis estructural de puentes de madera en Uruguay. Tesis de maestría en curso. Facultad de Ingeniería, Universidad de la República (Uruguay).

Dieste, A. (2014). Mitigación del impacto ambiental de madera tratada químicamente. Informe 4. Dirección Nacional de Industrias. Ministerio de Industrias, Energía y Minería. Consejo Sectorial Forestal-Madera. Montevideo, Uruguay.

EN 335 (2013). Durability of wood and wood-based products - Use classes: definitions, application to solid wood and wood-based products. CEN/TC 38 (European Committee for Standardization/ Technical Committee 38). Brussels, Belgium

EN 300 (2006). Oriented Strand Boards (OSB) - Definitions, classification and specifications. CTN 56. Brussels, Belgium

EN 338 (2016). Structural timber - Strength classes. CEN/TC 124. Brussels, Belgium

EN 351-1 (2008). Durability of wood and wood-based products - Preservative-treated solid wood - Part 1: Classification of preservative penetration and retention. CEN/TC 38. Brussels, Belgium

EN 384 (2016). Structural timber - Determination of characteristic values of mechanical properties and density. CEN/TC 124. Brussels, Belgium



EN 408 (2010+A1:2012). Timber structures - Structural timber and glued laminated timber - Determination of some physical and mechanical properties. CEN/TC 124. Brussels, Belgium

EN 1990 (2002/A1:2005/AC:2010). Eurocode 5. Basis of structural design

EN 1995 (2004+A2:2014). Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings. CEN/TC 250. Brussels, Belgium

EN 10025 (2004). Hot rolled products of structural steels - Part 1: General technical delivery conditions. ECIS/TC 103. Brussels, Belgium

EN 14080 (2013). Timber structures - Glued laminated timber and glued solid timber – Requirements. CEN/TC 124. Brussels, Belgium

EN 14358 (2016). Timber structures - Calculation and verification of characteristic values

EN 16351 (2016). Timber structures - Cross laminated timber - Requirements

Moya, L.; Pérez Gomar, C.; Vega, A.; Sánchez, A.; Torino, I.; Baño, V. (2019). Relación entre parámetros de producción y propiedades estructurales de madera laminada encolada de *Eucalyptus grandis*. *Maderas-Cienc Tecnol* 21(3). Ahead of print. <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/MCT/article/view/3474/3500>

NDS (2018). National Design Specification for Wood construction. Supplement. Design values for Wood construction. American Wood Council, USA

UNIT 1261 (2018). Madera aserrada de uso estructural. Clasificación visual. Madera de pino taeda y pino elliotti (*Pinus taeda* y *Pinus elliottii*). Instituto Uruguayo de Normas Técnicas. Uruguay

UNIT 1262 (2018). Madera aserrada de uso estructural. Clasificación visual. Madera de eucalipto (*Eucalyptus grandis*). Instituto Uruguayo de Normas Técnicas. Uruguay

UNIT 1263 (2018). Madera aserrada de uso estructural. Método para la determinación de las dimensiones y tolerancias. Instituto Uruguayo de Normas Técnicas. Uruguay



ANEXO A. CLASES RESISTENTES Y MERCADO DE CALIDAD ESTRUCTURAL

A.1. MERCADO CE EUROPEO

El mercado CE en la madera estructural, tanto aserrada como laminada encolada, es un sello obligatorio tanto para la venta de productos de madera estructural en Europa como para la importación de productos de madera estructural a Europa. Este mercado exige una serie de ensayos y controles de calidad, tanto por parte del fabricante como por parte del organismo certificador.

A.1.1. MADERA ASERRADA

La Fig. A.1.1 muestra un ejemplo de marcado CE para una pieza de madera aserrada estructural. En ella se muestra un ejemplo de marcado estructural para madera de conífera de la especie picea (PCAB-*Picea abies*), clasificada visualmente según la norma de los países nórdicos INSTA 142 como calidad visual T2, que se corresponde con las propiedades mecánicas de la clase resistente C24. Se especifica además, que la madera se clasificó en seco y se detalle su clase de durabilidad natural.

a)	b)
 1070	 1070
0001 Ciudad 10 1280-CPD-000Compañía 0001 Ciudad	0001 Ciudad 10 1280-CPD-000Compañía 0001 Ciudad
14081-1 Madera aserrada estructural Clase resistente: C14 Calidad visual: T2 Clasificación en seco Código de especie: PCAB Norma clasificación visual: INSTA142 Clase de durabilidad natural: 4 EN 14081-1	EN 14081-1:2005+A1:2011 Estructuras de madera. Madera estructural con sección transversal rectangular clasificada por su resistencia. Parte 1: Requisitos generales
	País que clasifica visualmente: Países nórdicos INSTA 142 Nordic visual strength grading rules for timber.
	Especie: <i>Picea abies</i>

Figura A.1.1. Marcado CE en: a) las piezas de madera aserrada; b) documentación a entregar por el suministrador junto a las piezas vendidas

A.1.1.1. Información de propiedades estructurales de las clases resistentes

Las Tablas A.1.1.1 y A.1.1.2. muestran los valores característicos y medios de las clases resistentes de la madera aserrada de coníferas y frondosas obtenidos de ensayos a flexión (EN 338:2016), con valores de resistencia en MPa, valores de módulo de elasticidad en GPa y de densidad en Kg/m³.



Tabla A.1.1.1. Tabla de clases resistentes de la madera de coníferas (para cálculo según el método de los estados límite) obtenido a partir de ensayos de flexión (tomado de EN 338:2016)

	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
$f_{t,0,k}$	7,2	8,5	10	11,5	13	14,5	16,5	19	22,5	26	30	33,5
$f_{t,90,k}$						0,4						
$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	24	25	27	29	0,4
$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,5	2,7	2,7	2,8	2,9	30
$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0
$E_{m,0,medio}$	7,0	8,0	9,0	9,5	10,0	11,0	11,5	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0
$E_{m,0,k}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,1	10,7
$E_{m,90,medio}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,5	0,53
G_{medio}	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00
ρ_k	290	310	320	330	340	350	350	360	380	390	410	330
ρ_{medio}	350	370	380	400	410	420	430	460	470	480	490	520

$f_{m,k}$: flexión; $f_{t,0,k}$: tracción paralela a la fibra; $f_{t,90,k}$: tracción perpendicular a la fibra; $f_{c,0,k}$: compresión paralela a la fibra; $f_{c,90,k}$: compresión perpendicular a la fibra; $f_{v,k}$: cortante; $E_{m,0,medio}$: módulo de elasticidad medio paralelo a la fibra en flexión; $E_{m,0,k}$: valor característico (5° percentil) del módulo de elasticidad paralelo a la fibra en flexión; $E_{t,0,medio}$: módulo de elasticidad medio paralelo a la fibra en tracción; G_{medio} : módulo medio de cortante; ρ_k : densidad característica y ρ_{medio} : densidad media.

Tabla A.1.1.2. Tabla de clases resistentes de la madera de frondosas para cálculo según el método de los estados límite) obtenido a partir de ensayos de flexión (tomado de EN 338:2016)

	D18	D24	D27	D30	D35	D40	D45	D50	D55	D60	D65	D70	D75	D80
$f_{m,k}$	18	24	27	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
$f_{t,0,k}$	11	14	16	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48
$f_{t,90,k}$							0,6							
$f_{c,0,k}$	18	21	22	24	25	27	29	30	32	33	35	36	37	38
$f_{c,90,k}$	4,8	4,9	5,1	5,3	5,4	5,5	5,8	6,2	6,6	10,5	11,3	12,0	12,8	13,5
$f_{v,k}$	3,5	3,7	3,8	3,9	4,1	4,2	4,4	4,5	4,7	4,8	5,0	5,0	5,0	5,0
$E_{m,0,medio}$	9,5	10,0	10,5	11,0	12,0	13,0	13,5	14,0	15,5	17,0	18,5	20,0	22,0	24,0
$E_{m,0,k}$	8,0	8,4	8,8	9,2	10,1	10,9	11,3	11,8	13,0	14,3	15,5	16,8	18,5	20,2
$E_{m,90,medio}$	0,63	0,67	0,70	0,73	0,80	0,87	0,90	0,93	1,03	1,13	1,23	1,33	1,47	1,60
G_{medio}	0,59	0,63	0,66	0,69	0,75	0,81	0,84	0,88	0,97	1,06	1,16	1,25	1,38	1,50
ρ_k	475	485	510	530	540	550	580	620	660	700	750	800	850	900
ρ_{medio}	570	580	610	640	650	660	770	740	790	840	900	960	1020	1080

$f_{m,k}$: flexión; $f_{t,0,k}$: tracción paralela a la fibra; $f_{t,90,k}$: tracción perpendicular a la fibra; $f_{c,0,k}$: compresión paralela a la fibra; $f_{c,90,k}$: compresión perpendicular a la fibra; $f_{v,k}$: cortante; $E_{m,0,medio}$: módulo de elasticidad medio paralelo a la fibra en flexión; $E_{m,0,k}$: valor característico (5° percentil) del módulo de elasticidad paralelo a la fibra en flexión; $E_{t,0,medio}$: módulo de elasticidad medio paralelo a la fibra en tracción; G_{medio} : módulo medio de cortante; ρ_k : densidad característica y ρ_{medio} : densidad media.

A.1.1.2. Asignación de clase resistente de la madera uruguaya

La madera uruguaya de pino clasificada visualmente según la norma UNIT 1261:2018 puede asignarse a una clase resistente C14 y la madera de eucalipto clasificada visualmente según la norma UNIT 1262:2018 a una clase resistente C20.

A.1.2. MADERA LAMINADA ENCOLADA

La Fig. A.1.2.1 muestra un ejemplo de marcado CE europeo para una pieza de madera laminada encolada estructural. El marcado incluye información de la industria fabricante de las piezas de MLE, que se realizó según los requisitos de fabricación especificados en la norma EN 14080, utilizando adhesivo estructural PUR, y que los resultados de los ensayos



mecánicos para determinar sus propiedades estructurales se corresponden con los de la clase resistente GL24h. Además, se incluye la sección de las piezas, el tipo de ensayo de delaminación que verifica (método B), además de otra información independiente a la calidad estructural de la madera.

a)	b)
	
1070	1070
Compañía 0001 Ciudad	Compañía 0001 Ciudad
10	10
1280-CPD-000Compañía	1280-CPD-000Compañía
EN 14080:2013 Madera laminada encolada	EN 14080:2013 Madera laminada encolada para utilización en edificios y puentes
Clase resistente: GL 24 h	Resistencia mecánica y al fuego:
Tipo de adhesivo: PUR-Tipo IEN	Geometría (mm): 160x800 Clase resistente: GL 24 h
	Resistencia del encolado:
	Clase resistente: GL 24 h Ensayo resistencia encolado: B
	Reacción al fuego: D-s2,d0
	Emisión de formaldehído: E1
	Durabilidad de la resistencia del encolado:
	Especie de madera: <i>Picea abies</i> Adhesivo: MUF, Tipo IGP70s
	Durabilidad natural:
	Contra hongos xilófagos: Clase 5

Figura A.1.2.1. Marcado CE en: a) las piezas de MLE; b) documentación a entregar por el fabricante junto a las piezas vendidas

A.1.2.1. Información de propiedades estructurales

Las Tablas A.1.2.1 y A.1.2.2. muestran los valores característicos y medios de las clases resistentes de la madera laminada encolada homogénea y combinada (EN 14080:2013), con valores de resistencia en MPa, valores de módulo de elasticidad en GPa y de densidad en Kg/m³.



Tabla A.1.2.1. Tabla de clases resistentes de la madera laminada encolada homogénea para cálculo según el método de los estados límite) (tomado de EN 14080:2013)

	GL20h	GL22h	GL24h	GL26h	GL28h	GL30h	GL32h
$f_{m,g,k}$	20	22	24	26	28	30	32
$f_{t,0,g,k}$	16	17,6	19,2	20,8	22,3	24	25,6
$f_{t,90,g,k}$				0,5			
$f_{c,0,g,k}$	20	22	24	26	28	39	32
$f_{c,90,k}$				2,5			
$f_{v,g,k}$				3,5			
$E_{m,0,g,medio}$	8400	10500	11500	12100	12600	13600	14200
$E_{0,g,05}$	7000	8000	9600	10100	10500	11300	11800
$E_{90,g,medio}$				300			
$E_{90,g,05}$				250			
$G_{g,medio}$				650			
$G_{g,05}$				540			
$G_{r,g,medio}$				65			
$G_{r,g,05}$				54			
$\rho_{g,k}$	340	370	385	405	425	430	440
$\rho_{g,medio}$	370	410	420	445	460	480	490

$f_{m,g,k}$: flexión; $f_{t,0,g,k}$: tracción paralela a la fibra; $f_{t,90,g,k}$: tracción perpendicular a la fibra; $f_{c,0,g,k}$: compresión paralela a la fibra; $f_{c,90,g,k}$: compresión perpendicular a la fibra; $f_{v,g,k}$: cortante; $E_{0,g,medio}$: módulo de elasticidad medio paralelo a la fibra en flexión; $E_{0,g,05}$: valor característico (5° percentil) del módulo de elasticidad paralelo a la fibra en flexión; $E_{90,g,medio}$: módulo de elasticidad medio perpendicular a la fibra en flexión; $E_{90,g,05}$: valor característico (5° percentil) del módulo de elasticidad perpendicular a la fibra en flexión; $G_{g,medio}$: módulo medio de cortante; $G_{g,05}$: módulo característico de cortante; $G_{r,g,medio}$: módulo medio de cortante por rodadura; $G_{r,g,05}$: módulo característico de cortante por rodadura; $\rho_{g,k}$: densidad característica y $\rho_{g,medio}$: densidad media.

Tabla A.1.2.2. Tabla de clases resistentes de la madera laminada encolada combinada para cálculo según el método de los estados límite) (tomado de EN 14080:2013)

	GL20c	GL22c	GL24c	GL26c	GL28c	GL30c	GL32c
$f_{m,g,k}$	20	22	24	26	28	30	32
$f_{t,0,g,k}$	15	16	17	19	19,5	19,5	19,5
$f_{t,90,g,k}$				0,5			
$f_{c,0,g,k}$	18,5	20	21,5	23,5	24	24,5	24,5
$f_{c,90,k}$				2,5			
$f_{v,g,k}$				3,5			
$E_{m,0,g,medio}$	10400	10400	11000	12000	12500	13000	13500
$E_{0,g,05}$	8600	8600	9100	10000	10400	10800	11200
$E_{90,g,medio}$				300			
$E_{90,g,05}$				250			
$G_{g,medio}$				650			
$G_{g,05}$				540			
$G_{r,g,medio}$				65			
$G_{r,g,05}$				54			
$\rho_{g,k}$	355	355	365	385	390	390	400
$\rho_{g,medio}$	390	390	400	420	420	430	440

$f_{m,g,k}$: flexión; $f_{t,0,g,k}$: tracción paralela a la fibra; $f_{t,90,g,k}$: tracción perpendicular a la fibra; $f_{c,0,g,k}$: compresión paralela a la fibra; $f_{c,90,g,k}$: compresión perpendicular a la fibra; $f_{v,g,k}$: cortante; $E_{0,g,medio}$: módulo de elasticidad medio paralelo a la fibra en flexión; $E_{0,g,05}$: valor característico (5° percentil) del módulo de elasticidad paralelo a la fibra en flexión; $E_{90,g,medio}$: módulo de elasticidad medio perpendicular a la fibra en flexión; $E_{90,g,05}$: valor característico (5° percentil) del módulo de elasticidad perpendicular a la fibra en flexión; $G_{g,medio}$: módulo medio de cortante; $G_{g,05}$: módulo característico de cortante; $G_{r,g,medio}$: módulo medio de cortante por rodadura; $G_{r,g,05}$: módulo característico de cortante por rodadura; $\rho_{g,k}$: densidad característica y $\rho_{g,medio}$: densidad media.



Las combinaciones de clase resistente de las láminas y resistencia de las uniones *finger joint* que deben cumplir cada una de las clases resistentes se detallan en las Tablas 2 y 3 de la norma EN 14080:2013.

A.2. MARCADO DE MADERA ASERRADA ESTADOUNIDENSE

El estampado de sellos en la madera aserrada para uso estructural es realizado por organismos independientes a las empresas madereras, y su propósito es garantizar que cada pieza de madera que se comercializa en el mercado cuenta con las propiedades estructurales que el fabricante declara. Estos sellos indican el cumplimiento con una serie de ensayos y controles de calidad, tanto por parte del fabricante como por la agencia u organismo certificador. La Fig. A.2.1 muestra un ejemplo de sello para una pieza de madera aserrada clasificada según SPIB.



Figura A.2.1. Sello de clasificación según reglas del Southern Pine International Bureau.

Se puede encontrar más información sobre las reglas de clasificación de SPIB y de las propiedades estructurales en los siguientes enlaces:

http://www.spib.org/docs/2dimension_sp.pdf

<http://www.spib.org/pdfs/design-values-tables-footnotes-2014.pdf>

A.2.1. Información de propiedades estructurales

El sello de la Fig. A.2.1. indica el grado estructural de la madera aserrada. A modo informativo, la Tabla A.2.1 indica las propiedades de referencia para el diseño según el método de las tensiones admisibles, de la madera de pino impregnado grado Nº1, importada de EEUU y clasificada según las reglas del SPIB.

Tabla A.2.1. Valores de diseño (para el diseño según el método de las tensiones admisibles) de referencia para madera aserrada grado N°1 de pino del sur (mixed southern pine) (Adaptado de NDS, 2018)

Propiedad		2 x 4 ¹	2 x 6 ¹	3 x 6 ¹	3 x 8 ¹
		(38 x 89 mm)	(38 x 140 mm)	(76 x 140 mm)	(76 x 185 mm)
Flexión	F_b (N/mm ²)	9,9	8,9	8,9	8,3
Tracción paralela a la fibra	$F_{t,0}$ (N/mm ²)	6,0	5,2	5,2	4,8
Corte paralelo a la fibra	F_v (N/mm ²)	1,2	1,2	1,2	1,2
Compresión perpendicular a la fibra	$F_{c,90}$ (N/mm ²)	3,9	3,9	3,9	3,9
Compresión paralela a la fibra	$F_{c,0}$ (N/mm ²)	11,4	10,7	10,7	10,0
Propiedades de rigidez					
Módulo de elasticidad medio	E (N/mm ²)	10342	10342	10342	10342
Módulo de elasticidad mínimo	E_{min} (N/mm ²)	3792	3792	3792	3792

¹ Denominación de origen (en pulgadas). Entre paréntesis dimensiones netas en mm (4 caras cepilladas)

A efectos orientativos, la Tabla A.2.2 presenta valores característicos de resistencias estimados a partir de los establecidos en la Tabla A.2.1, y de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$F_k = F_{adm} \times n$$

donde,

n es un coeficiente de ajuste que depende del tipo de sollicitación: $n=2,1$ para flexión y tracción paralela, $n=1,9$ para compresión paralela, $n=1,7$ para compresión perpendicular y $n=4,5$ para corte paralelo (ASTM D 1990-07, 2011).



Tabla A.2.2. Valores característicos de resistencias y valores medios de rigidez para madera aserrada grado N°1 de pino del sur (mixed southern pine) (Estimados de acuerdo a ASTM D 1990-07, 2011)

Propiedad		2 x 4 ¹	2 x 6 ¹	3 x 6 ¹	3 x 8 ¹
		(38 x 89 mm)	(38 x 140 mm)	(76 x 140 mm)	(76 x 185 mm)
Flexión	$F_{b,k}$ (N/mm ²)	20,7	18,7	18,7	17,4
Tracción paralela a la fibra	$F_{t,0,k}$ (N/mm ²)	12,6	10,9	10,9	10,0
Corte paralelo a la fibra	$F_{v,0,k}$ (N/mm ²)	5,4	5,4	5,4	5,4
Compresión perpendicular a la fibra	$F_{c,90,k}$ (N/mm ²)	6,6	6,6	6,6	6,6
Compresión paralela a la fibra	$F_{c,0,k}$ (N/mm ²)	21,6	20,3	20,3	17
Propiedades de rigidez					
Módulo de elasticidad medio	E (N/mm ²)	10342	10342	10342	10342
Módulo de elasticidad mínimo	E_{min} (N/mm ²)	3792	3792	3792	3792

¹ Denominación de origen (en pulgadas). Entre paréntesis dimensiones netas en mm (4 caras cepilladas)

A.3. SELLO DE TABLEROS CONTRACHAPADOS

Los tableros contrachapados de producción nacional cuentan con sellos de certificación técnica de la agencia estadounidense TECO, y de la británica BM TRADA. Los sellos de cada agencia son estampados alternativamente en los tableros en función del mercado al cual son dirigidos: i) para América las especificaciones del sello de TECO están en unidades del sistema imperial y son consistentes con las normas de cálculo estructural NDS for Wood Construction (2018), y de ensayos norteamericanas; ii) para Europa las especificaciones del sello de BM TRADA están en unidades del sistema internacional y son consistentes con los Eurocódigos y las normas europeas.

La Fig. A.3.1 muestra un ejemplo de sello de la agencia TECO para tablero contrachapado de *Eucalyptus grandis* producido y comercializado en Uruguay. Se puede encontrar información adicional sobre los contenidos del sello en el siguiente enlace:

http://www.tecotested.com/techtips/pdf/tt_gradestamps1ps2



Producto que cumple con la norma de producción voluntaria PS 1 para contrachapado estructural del Dpto. de Comercio de EEUU

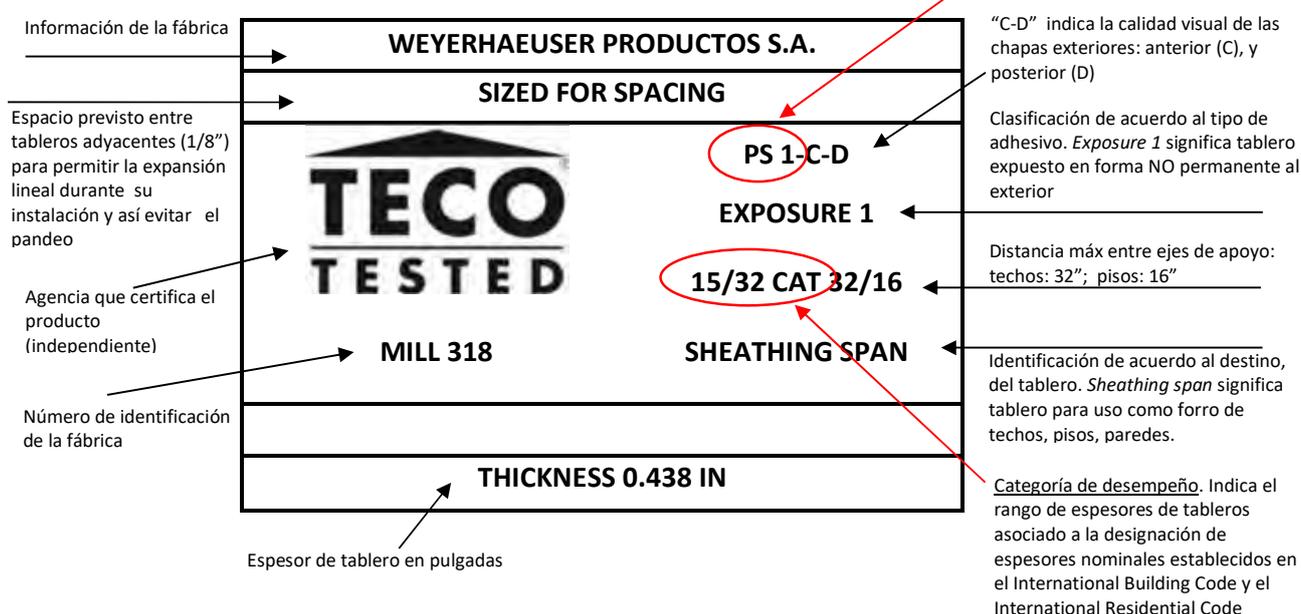


Figura A.3.1. Sello de certificación técnica de tablero contrachapado producido en Uruguay (Adaptado de <http://www.tecotested.com/>)

A.3.1. Información de propiedades estructurales de tableros contrachapados de producción nacional

Las propiedades mecánicas y densidad de los tableros contrachapados estructurales de eucalipto y pino, respectivamente, se encuentran disponibles en la página del fabricante a través de los siguientes enlaces:

https://www.lumin.com/repo/arch/ecdoptgeucaenglish_0.pdf

https://www.lumin.com/repo/arch/ecdopsqpineenglish_0.pdf

A modo informativo, se presentan las Tablas A.3.1.1 y A.3.1.2 con las propiedades estructurales de los tableros de *Eucalyptus grandis*.



Tabla A.3.1.1. Propiedades mecánicas y densidad de tableros contrachapados de eucalipto
(Adaptado de: https://www.lumin.com/repo/arch/ecdoptgeucaenglish_0.pdf)

Propiedades estructurales		Desempeño según espesor		
		12 mm	15 mm	18 mm
Panel Layup ¹		EEE	EEEE	EEEE
		EPPE	EPEPE	EPEPE
			EEPEE	EEPEE
				EPPE
Resistencia característica^{2,3} (N/mm²)				
Flexión paralela a la fibra	$f_{m,0,k}$	20.0	20.0	20.0
Flexión perpendicular a la fibra	$f_{m,90,k}$	10.0	10.0	10.0
Compresión paralela a la fibra	$f_{c,0,k}$	NPD*	NPD*	NPD*
Tracción paralela a la fibra	$f_{t,0,k}$	NPD*	NPD*	NPD*
Cortante a través del espesor	$f_{v,k}$	3.0	3.0	3.0
Cortante de rodadura	$f_{r,k}$	0.5	0.5	0.5
Rigidez media⁴ (N/mm²)				
Flexión paralela a la fibra	$E_{m,0}$	3000	3000	3000
Flexión perpendicular a la fibra	$E_{m,90}$	1000	1000	1000
Cortante a través del espesor	G_v	300	300	300
Cortante de rodadura	G_r	20	20	20
Densidad (kg/m³)				
Densidad característica ²	ρ_k	430	430	430
Densidad media ⁵	ρ_{mean}	480	480	480

¹ P=Pino; E=Eucalipto

² "Característico"=5to percentil inferior, calculado de acuerdo a EN 636:2012+A1:2015

³ Los valores característicos están de acuerdo a los especificados en EN 12369-2:2004 y deben ser modificados para la clase de servicio establecida en EN 1995-1-1 usando los factores de modificación k_{mod} y k_{def} relevantes

⁴ El valor característico de la rigidez debe considerarse como 0.8 del valor medio

⁵ El valor medio de la densidad para diseño debe considerarse como 1.1 del valor característico

* NDP: Parámetro No Determinado

La Tabla A.3.1.1 permite simplificar la elección del tablero a partir del destino (techos o pisos), la categoría de uso y espesor/separación máxima entre apoyos, según datos de la empresa fabricante (Lumin, 2017).



Tabla A.3.1.2. Propiedades de desempeño de tableros contrachapados de eucalipto (adaptado de https://www.lumin.com/repo/arch/ecdoptgeucaenglish_0.pdf)

Propiedades fundamentales	Desempeño según espesor			
	12 mm	15 mm	18 mm	
Panel Layup ¹			EEEEEE	
		EEE	EEEE	
		EPPE	EPEPE	
			EEPEE	
			EPPE	
Techos- Categoría de uso H- separación máxima entre apoyos:		610mm		
Carga puntual característica (kN)	$F_{max,k}$	2.50	2.50	4.04
Rigidez media (kN)	R_{mean}	107	109	77
Carga puntual de servicio (kN)	$F_{ser,k}$	1.81	2.35	3.20
Clase de resistencia de impacto de cuerpo blando		I	I	I
Techos- Categoría de uso H- separación máxima entre apoyos:		1220mm		
Carga puntual característica (kN)	$F_{max,k}$	NPD*	NPD*	4.04
Rigidez media (kN)	R_{mean}	NPD*	NPD*	99
Carga puntual de servicio (kN)	$F_{ser,k}$	NPD*	NPD*	5.78
Clase de resistencia de impacto de cuerpo blando		NPD*	NPD*	II
Pisos- Categoría de uso A- separación máxima entre apoyos:		500mm		
Carga puntual característica (kN)	$F_{max,k}$	NPD*	NPD*	4.04
Rigidez media (kN)	R_{mean}	NPD*	NPD*	496
Carga puntual de servicio (kN)	$F_{ser,k}$	NPD*	NPD*	5.78
Clase de resistencia de impacto de cuerpo blando		NPD*	NPD*	I

NOTA: En aplicaciones para pisos o techos los tableros deben colocarse con su lado menor soportado por vigas/cabios/tirantes principales

¹ P=Pino; E=Eucalipto; *NPD: Parámetro No Determinado

A.4. SELLO APA DE TABLEROS OSB

La mayoría de los tableros OSB que se ofrecen en el mercado nacional cuentan con certificación de calidad de la agencia estadounidense APA, cuyos sellos de certificación están en unidades del sistema imperial y son consistentes con las normas de cálculo estructural NDS for Wood Construction, y de ensayos norteamericanas.

La Fig. A.4.1 muestra un ejemplo de sello para tablero OSB que se comercializa en Uruguay. Los contenidos del sello son similares a los del tablero contrachapado. Se puede encontrar información adicional en el siguiente enlace:

<http://lpcorp.com/media/1332/lp-longlength-osb-sheathing-specification-english.pdf>





Figura A.4.1. Sello de certificación técnica de tablero OSB (Extraído de <http://www.apawood.org/>)

En el siguiente enlace se encuentra información adicional, guías prácticas de instalación, etc, generalmente están disponibles en las páginas de las empresas productoras, y en las de las agencias certificadoras (ejemplo: LP, APA, TECO, etc): <http://osbguide.tecotested.com/pdfs/en/tm420.pdf>

A.4.1. Información de propiedades estructurales de tableros OSB

Las propiedades mecánicas y densidad de los tableros OSB estructurales se encuentran disponibles en la página de los respectivos fabricantes.

A modo orientativo, la Tabla A.4.1 reproduce parte de la ficha técnica de tableros para uso en ambiente seco (OSB/2) y para uso en ambiente húmedo (OSB/3) clasificados de acuerdo a la norma EN 300 (2007).

Tabla A.4.1. Propiedades físicas y mecánicas de tableros OSB para uso en ambiente seco, y para uso en ambiente húmedo (Adaptado de CTE SE-M, 2009)

Propiedades estructurales		Espesor nominal	
		$t \leq 10 \text{ mm}$	$10 < t < 18 \text{ mm}$
Resistencia característica (N/mm²)			
Flexión paralela a la fibra	$f_{m,0,k}$	18,0	16,4
Flexión perpendicular a la fibra	$f_{m,90,k}$	9,0	8,2
Compresión paralela a la fibra	$f_{c,0,k}$	15,9	15,4
Compresión perpendicular a la fibra	$f_{c,90,k}$	12,9	12,7
Tracción paralela a la fibra	$f_{t,0,k}$	9,9	9,4
Tracción perpendicular a la fibra	$f_{t,90,k}$	7,2	7,0
Cortante a través del espesor	$f_{v,k}$	6,8	6,8
Cortante de rodadura	$f_{r,k}$	1,0	1,0
Rigidez media (N/mm²)			
Flexión paralela a la fibra	$E_{m,0,p}$	4930	4930
Flexión perpendicular a la fibra	$E_{m,90,p}$	1980	1980
Compresión paralela a la fibra	$E_{c,0,p}$	3800	3800
Compresión perpendicular a la fibra	$E_{c,90,p}$	3000	3000
Tracción paralela a la fibra	$E_{t,0,p}$	3800	3800
Tracción perpendicular a la fibra	$E_{t,90,p}$	3000	3000
Cortante a través del espesor	$G_{v,p}$	1080	1080
Cortante de rodadura	$G_{r,p}$	50	50
Densidad (kg/m³)			
Densidad característica	ρ_k	550	550



ANEXO B. REQUISITOS MÍNIMOS DE FABRICACIÓN DE LA MADERA LAMINADA ENCOLADA

Los requisitos de fabricación de la madera laminada encolada en Uruguay que se presentan a continuación se basan en resultados de trabajos de investigación que han adaptado las exigencias de la norma europea EN 14080:2013 a la tecnología disponible en el país.

B.1. TOLERANCIAS DIMENSIONALES

La Tabla b.1.1 presenta las tolerancias dimensionales de las piezas de MLE, expresadas en desviaciones máximas en las medidas para elementos rectos y curvos, obtenido de la norma EN 14080:2013.

Tabla B.1.1. Desviaciones máximas en las medidas de la MLE

Medidas nominales para		Desviaciones máximas	
		Elementos rectos	Elementos curvos
Ancho sección transversal (b)		2mm	
Canto	$h \leq 400\text{mm}$	+4mm a -2mm	
	$h > 400\text{mm}$	+1% a -0,5%	
Desviación angular máxima de la sección transversal respecto al ángulo recto		1:50	
Longitud de un elemento recto o longitud desarrollada de un elemento curvo	$l \leq 2\text{m}$	2mm	
	$2\text{m} \leq l \leq 20\text{m}$	0,1%	
	$l > 20\text{m}$	20mm	
Curvatura longitudinal medida por la deformación máxima de un tramo de 2m sin considerar contraflecha		4mm	-
Flecha medida por metro de longitud desarrollada	≤ 6 láminas	-	4mm
	> 6 láminas	-	2mm

B.2. SECADO DE TABLAS

Las tablas de madera se secarán a un contenido de humedad en el momento de encolado entre el 6% y el 15% para madera sin tratamiento protector y entre el 11% y el 18% cuando la madera fue tratada en profundidad mediante la aplicación de tratamiento protector en autoclave.

La diferencia de contenido de humedad de las tablas a encolar debe ser menor o igual al 5%.



B.3. CLASIFICACIÓN ESTRUCTURAL

Las tablas utilizadas para formar las láminas que configurarán los elementos de MLE serán clasificadas visualmente de acuerdo a las normas UNIT 1261:2018 y UNIT 1262:2018 para madera de *Pinus elliottii/taeda* y *Eucalyptus grandis* respectivamente. Las especificaciones de clasificación se presentan, a efectos informativos, en las Tablas 5 y 8 del presente documento.

B.4. TIPOS DE ADHESIVOS ESTRUCTURALES PARA EL ENCOLADO DE LAS LÁMINAS Y DE LAS UNIONES *FINGER*

Los tipos de adhesivos estructurales aceptados por la norma EN 14080 (2013) para la fabricación de productos de madera laminada encolada, así como los grosores máximos permitidos para cada tipo de adhesivo se presentan en la Tabla B.4.1. Si el fabricante de adhesivo especifica un grosor máximo, se aplicará el menor entre el indicado por el fabricante y el indicado en la Tabla B.4.1.

Tabla B.4.1. Tipos de adhesivos estructurales para fabricación de MLE y grosores máximos de línea de cola

Tipo de adhesivo	Grosor máximo de línea de cola	
	Aplicación conjunta de adhesivo y endurecedor	Aplicación separada de adhesivo y endurecedor
Fenólicos y aminoplásticos (MF, MUR, PRF, UF)	0,6 mm	0,3 mm
Poliuretano monocomponente de curado en húmedo (PUR)		
Isocianato y polímeros de emulsión (EPI)		0,3 mm

Adicionalmente la Tabla B.4.2 indica los tipos de adhesivos estructurales aceptados por la norma EN 14080 (2013) y su posible aplicación para las distintas clases de servicio.

Tabla B.4.2. Tipos de adhesivos estructurales a aplicar en función de la clase de servicio

Tipo de adhesivo	Clase de servicio		
	1	2	3
Fenólicos y aminoplásticos (MF, MUR, PRF, UF)	SI	SI	SI
Poliuretano monocomponente de curado en húmedo (PUR)	SI	SI	NO
Isocianato y polímeros de emulsión (EPI)	SI	SI	NO

B.5. EMPALMES POR UNIÓN DENTADA (*FINGER-JOINT*) PARA PRODUCCIÓN DE LÁMINAS

Las uniones dentadas o *finger-joint* permiten generar láminas de longitudes ilimitadas, a partir de trozos de madera denominados “bloques”, extraídos de tablas de madera aserrada, que son unidos por sus testas mediante adhesivos estructurales y presión. La técnica del *finger-joint*, permite obtener bloques “saneados”, esto es, libres de zonas defectuosas o singularidades mayores a los límites definidos en las normas de



clasificación visual estructural UNIT. Estos empalmes son puntos débiles generados por concentración de tensiones en la zona cercana al diente, por lo cual es deseable fabricar láminas con la menor cantidad de uniones dentadas; es decir con bloques de la mayor longitud posible. En todos los casos, la longitud de los bloques deberá ser igual o mayor a 400 mm.

Además, la zona de unión dentada debe de estar libre de singularidades o defectos de la madera y la distancia mínima entre un eventual nudo y el *finger-joint* debe ser de tres veces el diámetro del nudo ($3d$), tal como se indica en la Fig. A5.1.

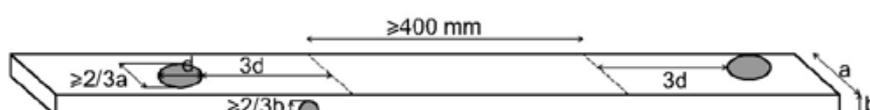


Figura A5.1. Esquema de saneado de tablas

Las uniones se encolarán con el mismo tipo de adhesivo estructural que el utilizado para la unión entre láminas. El adhesivo se aplicará de forma manual cuando sea necesario realizar la mezcla de adhesivo y endurecedor previamente; o con máquina, normalmente aplicando adhesivo y endurecedor por separado.

La Figura B.5.2 muestra la geometría de la unión dentada y la Tabla A5.1 los valores mínimos recomendados de dicha geometría.

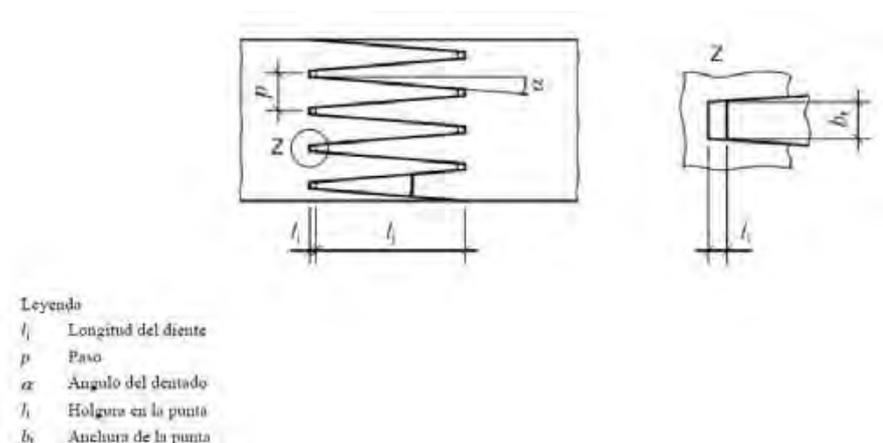


Figura B.5.2. Empalmes *finger-joint* en tablas para configurar las láminas (EN 14080:2013)

Tabla B.5.1. Geometría mínima para el diente

Longitud de diente, l (mm)	Paso, p (mm)	Anchura de diente, b_t (mm)	Factor de reducción, $\beta = b_t/p$
15	3,8	0,42	0,11

La Tabla B.5.2 recoge las exigencias del proceso de fabricación de la unión dentada o *finger joint*.

Tabla B.5.2. Exigencias en la fabricación de la unión dentada o *finger joint*

Tiempo entre mecanizado y dentado (horas)	Presión de prensado mínima (N/mm ²)	Tiempo de prensado de la unión (s)	T ³ de la madera en la línea de cola durante el curado (°C)
6	10	1	18

A.6. CEPILLADO DE LÁMINAS

Una vez realizadas las uniones dentadas, las láminas se cepillarán hasta alcanzar un espesor constante (mm). El espesor de las láminas para las clases de servicio 1, 2 y 3, así como el tiempo máximo entre el cepillado de las láminas y el encolado se presenta en la Tabla B.6.1.

Tabla B.6.1. Espesor de láminas y tiempo máximo entre cepillado de láminas y encolado

Espesor de lámina (mm)		Tiempo máximo entre cepillado y encolado (horas)	
Clases servicio 1 y 2	Clase servicio 3	Madera sin impregnar	Madera impregnada
6-45	≤ 35	24	6

Para la MLE de directriz curva, el grosor de la lámina máximo se definirá en función del radio de curvatura según la ecuación:

$$t = (r/250) [1 + (f_{m,j,dc,k}/150)]$$

donde,

t , es el espesor de lámina,

r , es el radio de curvatura de la lámina de menor radio del elemento (mm)

$f_{m,j,dc,k}$, es el valor característico de resistencia a flexión declarado por el fabricante para los empalmes por unión dentada (N/mm²).

A.7. TOLERANCIAS DE GROSOR MEDIO DE LAS LÁMINAS

La Tabla A7.1 muestra las tolerancias de grosor medio de las láminas que configuran las vigas de MLE en función del tipo de adhesivo utilizado.



Tabla B.7.1. Tolerancia en el grosor medio de las láminas en función del tipo de adhesivo

Tipo de adhesivo utilizado en el encolado de las láminas	Desviación máxima respecto al grosor medio (mm)	
	En el ancho (b)	En una longitud de lámina de 1 m
Adhesivo fenólico y aminoplástico mezclados antes de la aplicación		0,2mm
Adhesivo fenólico y aminoplástico con aplicación por separado entre cola y endurecedor	mín (0,0015b; 0,3)	0,1mm
Adhesivos de poliuretano monocomponentes de curado en húmedo (PUR) y adhesivos de isocianato y polímeros de emulsión (EPI) con grosor de línea de cola de 0,5mm	mín (0,0015b; 0,15)	0,1mm

B.8. ENCOLADO DE LÁMINAS Y CONFIGURACIÓN DE ELEMENTOS DE MLE

Las láminas que conforman la MLE, serán apiladas de forma tal de mantener una distancia entre ententados de dos láminas contiguas mayor a 120 mm, tal como se indica en la Figura B.8.1.

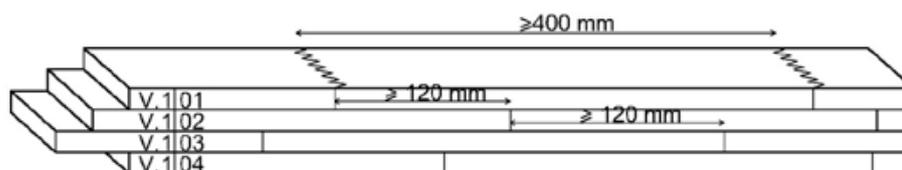


Figura B.8.1. Configuración de vigas

Adicionalmente, en la clase de servicio 3 se exige que las láminas se orienten, según la dirección transversal, con el corazón o médula hacia el mismo lado, excepto las láminas exteriores donde el corazón se orientará hacia el exterior. Se deberá tener especial precaución en que cada uno de los bloques que conforman una lámina esté orientado hacia el mismo lado, de modo tal que la lámina resultante quede con la médula hacia el mismo lado.

En las clases de servicio 1 y 2, se admite que todas las láminas que configuran la MLE estén orientadas hacia el mismo lado, aunque se recomienda que se orienten de la misma manera que en la clase de servicio 3. La Figura B.8.2 muestra la orientación de láminas dentro de la sección transversal de un elemento de MLE para las distintas clases de servicio.

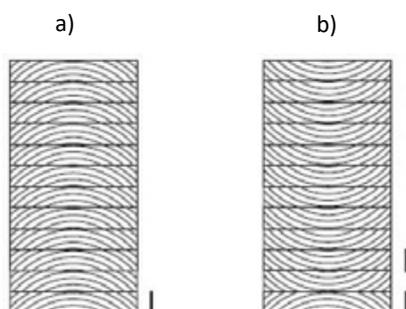


Figura B.8.2. Orientación de láminas de acuerdo a la clase de servicio: a) para clases 1 y 2, b) para clase 3

B.9. PRENSADO Y FRAGUADO

La presión debe mantenerse constante durante el prensado.

Los valores de presión de prensado se indican en la Tabla B.9.1.

Tabla B.9.1. Presión de prensado de las láminas

Espesor de lámina (mm)	≤ 35 mm	35-45 mm
Presión de prensado (N/mm ²)	0,6-0,8	0,8

Durante el curado bajo presión y durante el tiempo requerido después del curado, la temperatura de la madera debe ser mayor o igual a 18°C.

B.10. CEPILLADO FINAL Y ACABADO

Una vez finalizado el proceso de fabricación de los elementos de MLE, se realizará un cepillado final para eliminar los restos de adhesivo entre láminas.

B.11. CONDICIONES DE LAS INSTALACIONES DE FABRICACIÓN Y ALMACENAMIENTO

La Tabla B.11.1 especifica las condiciones de temperatura y humedad relativa del aire que debe existir en las instalaciones durante el proceso de fabricación y curado de las vigas de MLE y son éstas las condiciones que debe reflejar el informe de control de calidad del producto entregado por el fabricante.

Tabla B.11.1. Temperatura y humedad relativa ambiental de las instalaciones

Proceso	T° ambiente (°C)	Humedad relativa aire (%)
Fabricación	≤15	40-75
Curado	≤18	≤30

B.12. CLASES RESISTENTES DE MADERA LAMINADA ENCOLADA DE PRODUCCIÓN NACIONAL

A la fecha no existe en el mercado MLE estructural de producción nacional y tampoco normas UNIT para la misma.

A efectos informativos se presenta la Tabla B.12.1 con valores de las propiedades de flexión de MLE fabricada con láminas de *Eucalyptus grandis* clasificadas como EF1 de acuerdo con la norma UNIT 1262:2018 y adhesivo estructural de poliuretano monocomponente (PUR), y de acuerdo a los requisitos de fabricación establecidos en el presente **ANEXO B**, obtenidos a partir de trabajos de investigación.

Tabla B.12.1. Propiedades de flexión y densidad de vigas de madera laminada encolada de *Eucalyptus grandis* de sección 74x194 mm² (Moya et al. 2018)

Resistencia de flexión, valor medio: $f_{m,g,m}$	44,7 N/mm ² (COV=25%)
Resistencia característica de flexión ⁽¹⁾ : $f_{m,g,k}$	25,3 N/mm ²
Módulo de elasticidad global, valor medio ⁽²⁾ : $E_{0,g,m}$	13760 N/mm ² (COV=12%)
Densidad característica ⁽²⁾ : $\rho_{g,k}$	504 kg/m ³

⁽¹⁾ Valor corregido a la altura de referencia de 600 mm de la viga y al espesor de referencia de 40 mm de la lámina de acuerdo a EN 14080;

⁽²⁾ Valores corregidos al contenido de humedad de referencia de 12% de acuerdo a EN 14080

Las propiedades de la MLE indicadas en la Tabla B.12.1 permitirían su asignación a la clase resistente GL24h de la norma EN 14080:2013.



ANEXO C. REQUISITOS MÍNIMOS DE FABRICACIÓN DE LA MADERA CONTRALAMINADA

Los requisitos de fabricación de la madera contralaminada encolada en Uruguay que se presentan a continuación, se basan en resultados de trabajos de investigación que han adaptado las exigencias de la norma europea EN 16351:2016 a la tecnología disponible en el país.

C.1. LAMINAS

La fabricación de los paneles CLT presenta varios puntos en común con los pasos seguidos en la confección de elementos de madera laminada encolada (Figura C1.1) siendo la principal diferencia la conformación geométrica del elemento. Es por ello que aplican los mismos requisitos de fabricación de las láminas de MLE para el secado, clasificación mecánica, adhesivos, *finger joint*, cepillado y tolerancias que se detallan en los apartados C.2, C.3, C.4, C.5, C.6 y C.7 respectivamente.

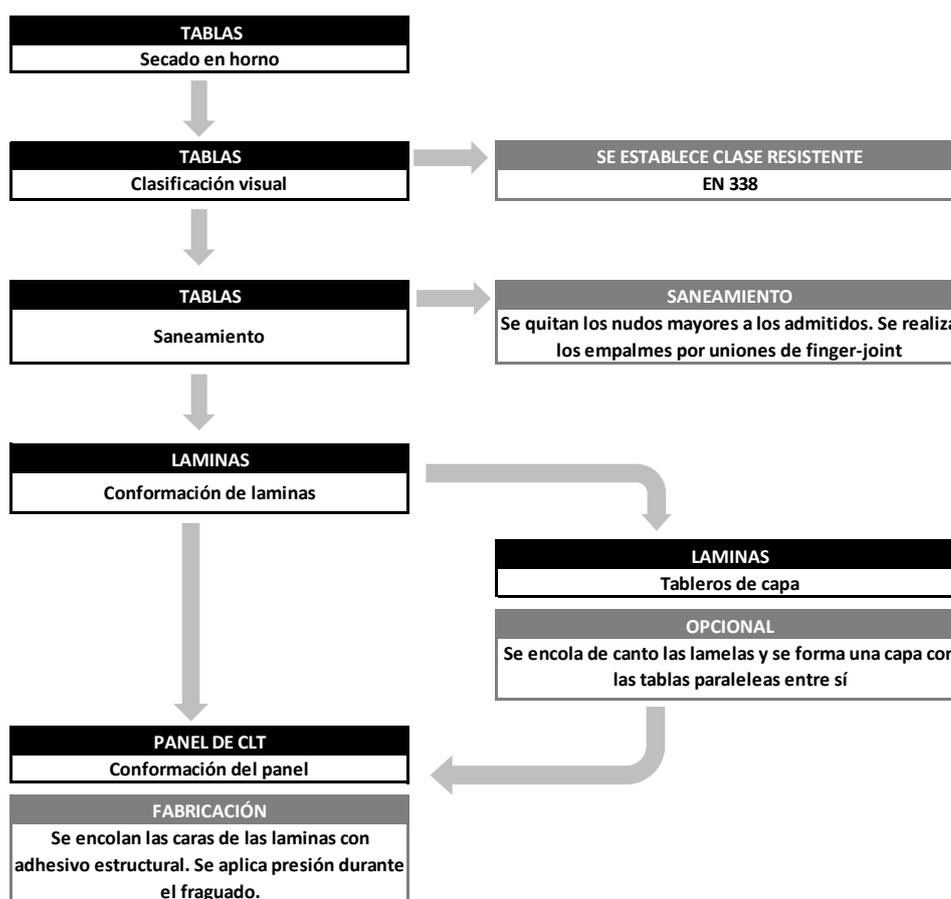


Figura C.1.1. Esquema de fabricación de la madera contralaminada

C.2. CAPAS

Cada panel deberá componerse de al menos tres capas, que deberán estar dispuestas de forma ortogonal entre sí, cada una de las capas debe estar constituida por tablas de la misma clase resistente.

El espesor cepillado de cada lámina deberá ser mayor o igual 12mm y menor que 40mm. El ancho máximo de las láminas deberá ser menor o igual a 300mm. La relación entre el ancho y el espesor de las láminas deberá ser inferior a 4. El espesor total del panel de madera contralaminada no podrá superar los 400mm.

Láminas contiguas en una capa puede encolarse de canto o no, siendo el espesor de las separaciones entre láminas menor que 6mm.

C.3. ENCOLADO DE LÁMINAS Y APLICACIÓN DEL ADHESIVO

Las superficies de unión deben estar limpias y libres de polvo. Se recomienda no dejar pasar más de 24 horas entre el cepillado de las láminas y el encolado del panel.

El adhesivo se podrá aplicar de forma manual o con máquina, siguiendo las recomendaciones del fabricante del mismo en cuanto a temperaturas de aplicación, tiempo máximo de aplicación y la dosificación por m².

C.4. PRENSADO Y FRAGUADO

Aplican los requisitos del apartado B.9.

C.5. CEPILLADO FINAL Y ACABADO

Una vez finalizado el proceso de fabricación de los elementos madera contralaminada, se realizará un cepillado final para eliminar los restos de adhesivo entre láminas.

C.6. CONDICIONES DE LAS INSTALACIONES DE FABRICACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Aplican los requisitos del apartado B.11.



ANEXO D. INFORMES DE LOS ENSAYOS INICIAL TIPO (EIT) Y CONTROL DE PRODUCCIÓN EN FÁBRICA (CPF) A SUMINISTRAR POR EL FABRICANTE DE MADERA ESTRUCTURAL

D.1. MADERA ASERRADA

D.1.1. Madera clasificada visualmente según normas UNIT 1261 Y UNIT 1262

La madera clasificada visualmente según las calidades visuales de las normas UNIT 1261 y UNIT 1262 deberá estar debidamente marcada (en la tabla o en el paquete) y el suministrador deberá entregar un certificado que garantice que las tablas se han clasificado de acuerdo con dichas normas. En ese caso, las propiedades mecánicas de la madera que se podrían usar en el cálculo estructural serían las mostradas en los anexos de las correspondientes normas.

El certificado a entregar por el suministrador deberá incluir, al menos, la siguiente información: calidad visual, contenido de humedad, sección en milímetros, propiedades mecánicas o clase resistente, normas de referencia y especie. Las tolerancias dimensionales de las piezas deberán cumplir lo exigido en la norma UNIT 1263:2018.

Para más información de contenido de los certificados o sellos de calidad estructural ver **ANEXO A.**

D.1.2. Madera clasificada de forma diferente a las normas UNIT 1261 y UNIT 1262

En el caso de declarar que la madera se ha clasificado de forma diferente a la de la norma, deberá incluirse la información correspondiente a los ensayos que se definen en la Figura D.1.1.

La declaración de las nuevas limitantes propuestas a los criterios de calidad deberá presentarse en un formato similar al presentado en las Tablas 5 y 8 del presente documento. La Tabla D.1.1 muestra el modelo de registro requerido para la asignación de los valores característicos de las propiedades estructurales de una calidad visual y una procedencia.



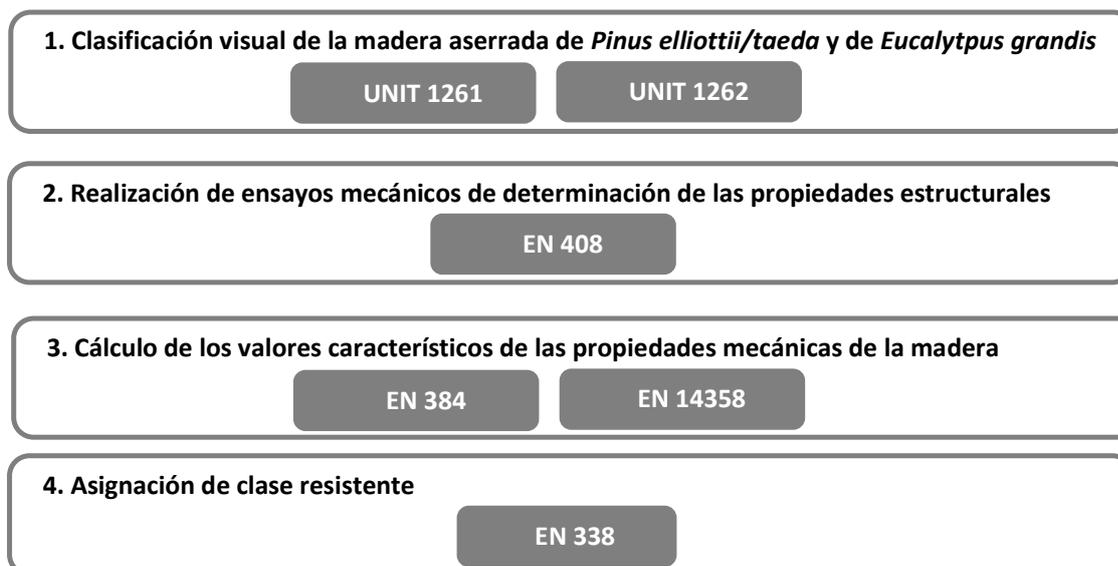


Figura D.1.1. Normativa para la determinación de los valores característicos de las propiedades estructurales

Tabla D.1.1. Modelo de registro para declarar los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad de una clase y una procedencia (tomada de EN 384:2016)

Características de la submuestra para la calidad estudiada:	Calidad Δ	Contenido de humedad de ensayo [%]		Resistencia corregida ^a [MPa]				Módulo de elasticidad corregido ^a [GPa]		Densidad corregida ^a [kg/m ³]		
		Media	COV	Media	COV	P/NP ^b	$f_{05,4}$	\bar{E}_1	COV	Media	COV	$\rho_{05,1}$
Procedencia	Nº de probetas (N ≥ 40)											
				Véase EN 14358:2006 apartado 4.2				Véase EN 14358:2000 apartado 4.3		Véase EN 14358:2000 apartado 4.2		
Media y COV para la calidad												

NOTA. Las referencias a las normas son solamente orientativas.

^a Valores corregidos se refiere a los resultados después de aplicar a los resultados de ensayo los ajustes del apartado 5.4.

^b Aplicación de cálculo paramétrico o no paramétrico.

La norma EN 384 remite a la norma EN 14358 para determinar los valores característicos (quinto percentil o valor medio) de la resistencia a flexión, módulo de elasticidad longitudinal y densidad.

D.2. MADERA LAMINADA ENCOLADA

El productor de madera laminada encolada estructural (MLE) debe declarar cuáles son los valores característicos de las propiedades físico-mecánicas de la madera laminada



encolada estructural (MLE), necesarios para el dimensionado de vigas, pilares, etc., de acuerdo con sus condiciones de fabricación. Para ello, es necesario que realice los ensayos iniciales tipo (EIT) correspondientes a la declaración de su producto estructural.

D.2.1. Informe del Ensayo Inicial Tipo

La empresa declarará las propiedades mecánicas de la MLE para las condiciones de fabricación declaradas. El Ensayo Inicial Tipo es el realizado sobre un número de probetas definido por norma por cada producto y turno de producción y se hace para demostrar la conformidad con la norma europea EN 14080:2013, siendo estrictamente rigurosos con el método de ensayo y requisitos de fabricación.

Este es obligatorio siempre que se inicie la fabricación de un nuevo producto o se modifique uno existente, cuando se modifica el método de fabricación y cuando se produzcan cambios de diseño de los productos, de las materias primas, etc. El informe resultante del Ensayo Inicial Tipo debe ser conservado por el fabricante durante 10 años desde la fecha de fabricación y debe ser suministrado al comprador siempre que este lo requiera.

Se presentará un informe que incluya los resultados de todos los ensayos exigidos, definidos en la Tabla D.2.1., e incluirá una declaración de propiedades estructurales para sus condiciones de fabricación, con los contenidos mínimos definidos en la Tabla D.2.2.

Tabla D.2.1. Resumen de EIT para cada especie, adhesivo y declaración de resistencia

	PRODUCTO	TIPO DE ENSAYO	NORMA	Nº ENSAYOS	RESULTADOS
1	LÁMINAS DE MADERA	CLASIFICACIÓN VISUAL ¹	UNIT 1262:2018		Declaración de la calidad visual EF11
2	“FINGER-JOINT” EN LÁMINAS	ENSAYO DE FLEXIÓN O DE TRACCIÓN	EN 408 EN 384 EN 14358	100 láminas	Valor característico de resistencia a flexión y/o tracción
3	MADERA LAMINADA ENCOLADA	ENSAYO DE FLEXIÓN	EN 408 EN 14358	30 vigas	Valor característico de la resistencia a flexión, del módulo de elasticidad y de la densidad ²
		EN EL “FINGER JOINT”	EN 408	Se determina sobre las mismas 100 láminas	% probetas con rotura por madera
4	CALIDAD DEL ENCOLADO	EN LOS PLANOS DE ENCOLADO DE LAS LÁMINAS	ENSAYO DELAMINACIÓN: EN 14080-ANEXO C ENSAYO DE CORTANTE EN LÍNEA DE COLA: EN 14080-ANEXO D	Se realiza sobre las mismas ensayadas previamente Se realiza sobre las mismas ensayadas previamente	% de delaminación Resistencia al esfuerzo cortante
5	OTROS (ver EN 14080)	Durabilidad frente a ataques biológicos; Resistencia al fuego; Reacción al fuego; Emisión de formaldehído (Anexo A-EN 14080)			

1 En el caso de que el fabricante considere que las láminas de madera usadas para la fabricación de las vigas es mejor que la correspondiente a la calidad visual EF1, se podrán presentar los valores característicos obtenidos de ensayos normalizados de al menos 30 probetas (Normas: EN 408 (6), EN 384 (7), EN 14358 (8)).

2 El resto de propiedades pueden deducirse empíricamente



Tabla D.2.2. Contenidos del informe de resultados del EIT y declaración de propiedades estructurales

PRODUCTO	TIPO DE ENSAYO	NORMA	CONTENIDOS DEL INFORME	
1	LÁMINAS DE MADERA	CLASIFICACIÓN VISUAL ¹	UNIT 1261:2018 UNIT 1262:2018	<ol style="list-style-type: none"> 1. Declaración de la calidad visual EF1¹ o mejor. 2. En caso de ser mejor, definir nuevas limitantes, siguiendo el modo de presentación de la UNIT 1261 y de la UNIT 1262 (Ver Tabla 3) 3. Firma del responsable de clasificación
2	"FINGER-JOINT" EN LÁMINAS	ENSAYO DE FLEXIÓN O DE TRACCIÓN	EN 408 EN 384 EN 14358	<ol style="list-style-type: none"> 1. Línea de producción 2. Norma utilizada 3. Fecha de fabricación 4. Fecha de ensayo 5. Especie de madera 6. Clase resistente declarada por el fabricante 7. Tratamiento protector, si es el caso 8. Tipo de adhesivo 9. Porcentaje adhesivo y endurecedor, si es el caso 10. Densidad y contenido de humedad 11. Anchura y grosor de lámina 12. Perfil del empalme por unión dentada 13. orientación del empalme por unión dentada 14. carga de rotura en el ensayo 15. resistencia a flexión o a tracción 16. descripción del modo de rotura (% de rotura por madera) 17. Valor medio de la resistencia a flexión ($f_{m,j,medio}$) o a tracción ($f_{t,0,j,medio}$) y coeficiente de variación 18. Valor característico de la resistencia y coeficiente de variación según norma EN 14358 13. Firma del responsable de ensayo
3	MADERA LAMINADA ENCOLADA	ENSAYO DE FLEXIÓN	EN 408 EN 14358	<ol style="list-style-type: none"> 1. Descripción de probeta, especificación y calidad del material 2. Medidas de la probeta, tipo de adhesivo y número de láminas 3. país, región o aserradero de procedencia 4. método de selección de las probetas 5. métodos de ensayo empleados 6. T^a y humedad relativa en el momento de ensayo 7. descripción del dispositivo de carga 8. valores medios y característicos de resistencia y módulos de elasticidad 9. localización y modo de rotura 10. porcentaje de rotura por línea de cola y por madera en plano de encolado en las uniones dentadas 11. tiempo hasta alcanzar la carga



		máxima
PLANOS DE ENCOLADO DE LAS LÁMINAS	ENSAYO DELAMINACIÓN: EN 14080- ANEXO C	<ol style="list-style-type: none"> 1. Norma utilizada 2. Fecha de ensayo 3. Identificación de las probetas ensayadas y de las vigas de dónde se extrajeron 4. Definición de las condiciones de acondicionado 5. Tratamiento protector, si es el caso 6. Especie de madera 7. Tipo de adhesivo 8. Porcentaje adhesivo y endurecedor, si es el caso 9. Medidas de la probeta 10. Método de ensayo: A, B o C 11. Delaminación total y delaminación máxima después del número de ciclos indicados en el método aplicado 12. Cualquier otra información relevante 13. Firma del responsable de ensayo
	ENSAYO DE CORTANTE EN LÍNEA DE COLA: EN 14080- ANEXO D	<ol style="list-style-type: none"> 1. Norma utilizada 2. Fecha de ensayo 3. Identificación de las probetas ensayadas y de las vigas de dónde se extrajeron 4. Definición de las condiciones de acondicionado 5. Tratamiento protector, si es el caso 6. Especie de madera 7. Tipo de adhesivo 8. Porcentaje adhesivo y endurecedor, si es el caso 9. Medidas de la probeta 10. Carga de rotura y resistencia a esfuerzo cortante en cada línea de cola de cada probeta ensayada 12. Cualquier otra información relevante 13. Firma del responsable de ensayo

D.2.2. Informe del Control de Producción en Fábrica (CPF)

El Informe de Control de Calidad del fabricante es el resultante de la realización de ensayos durante el proceso de fabricación que asegura que los productos comercializados son conformes con lo declarado en el Informe del Ensayo Inicial Tipo, según indicaciones de la norma EN 14080 (2013).

En el proceso de encolado debe registrarse la siguiente información con el fin de tener una trazabilidad de las condiciones de fabricación de la MLE en cada turno de producción:

1. Línea de producción
2. Fecha y orden de fabricación
3. Especie de madera
4. Clasificación visual de la madera
5. Clase resistente
6. Geometría del elemento



7. CH de las tablas individuales
8. Hora del comienzo de la aplicación del adhesivo
9. Hora del comienzo y del final del proceso de prensado
10. Presión de prensado
11. Tipo de adhesivo y porcentaje de resina y endurecedor (si procede)
12. Cantidad de adhesivo aplicada (g/m²)
13. Tratamiento protector según Norma EN 15228, si las láminas han sido tratadas con producto protector de la madera contra ataques biológicos
14. Temperatura y humedad relativa de las instalaciones de almacenamiento de la madera, de las instalaciones donde se realiza el encolado y las instalaciones donde se aplica y fragua el adhesivo
15. Calibración del xilohigrómetro conforme con la especificación del fabricante del xilohigrómetro
16. Nombre del responsable del personal

Toda la documentación debe registrarse de forma que se mantenga la trazabilidad de las materias primas y las condiciones de fabricación de los productos respecto a la semana y el año de fabricación. La documentación se debe conservar por un mínimo de 10 años.

Respecto a los ensayos de control de calidad se presentará un informe que incluya los resultados de todos los ensayos exigidos, definidos en el Informe 1, con los contenidos mínimos definidos en la Tabla D.2.3.

Tabla D.2.3. Ensayos a realizar en el control de producción en fábrica

PRODUCTO	TIPO DE ENSAYO	NORMA	Nº ENSAYOS	VALIDACIÓN
1 LÁMINAS DE MADERA	CLASIFICACIÓN VISUAL ¹	UNIT 1262:2018	Todas las láminas que conformen la MLE	Cumplir con los límites de la norma
	ENSAYO DE FLEXIÓN	EN 408	2 tablas por turno	$f_{m,k,l} \geq f_{m,k,l,dc}$
2 "FINGER-JOINT" EN LÁMINAS	ENSAYO DE FLEXIÓN O DE TRACCIÓN	EN 408 EN 384 EN 14358	3 láminas por turno	Cumplir con lo exigido en el apartado D.2.3.1.
3 GEOMETRÍA	MEDICIÓN DE SECCIONES	Tabla 12. Norma EN 13080:2013	Todas las láminas que conformen la MLE	Cumplir con las tolerancias dimensionales de la Tabla B.1.1 del ANEXO B
4 PLANOS DE ENCOLADO (se puede aplicar cualquiera de los dos ensayos)	DELAMINACIÓN	ENSAYO DELAMINACIÓN: EN 14080-ANEXO C	1 probeta por cada turno de encolado o por cada 20m ³ de producción	Cumplir con lo exigido en el apartado D.2.3.2.
	CORTANTE EN LÍNEA DE COLA	ENSAYO CORTANTE: EN 14080-ANEXO D		Cumplir con lo exigido en el apartado D.2.3.3.

NOTAS: $f_{m,k,l}$: resistencia a flexión de la lámina; $f_{m,k,l,dc}$: resistencia a flexión de la lámina declarada en el ensayo inicial tipo

Los contenidos del informe de cada ensayo deben ser los mismos que los detallados en el ensayo inicial tipo.



D.2.3. Criterios de conformidad de los ensayos de control de producción en fábrica (EN 14080:2013)

D.2.3.1. Conformidad de los empalmes por unión dentada en el control de producción en fábrica

- 1) Ningún resultado individual deber ser menor al 80% del valor declarado por el fabricante en el EIT.
- 2) Analizando el historial de los últimos 100 ensayos de control de producción en fábrica, no más de 5 probetas deben presentar valores de resistencia a flexión o a tracción mayores a los declarados por el fabricante en el EIT.
- 3) La resistencia característica de los últimos 15 ensayos de control de producción en fábrica debe ser mayor o igual al valor característico declarado por el fabricante en el EIT, según la ecuación:

$$k_{15} f_{j,15,media} \leq f_{j,dc,k}$$

donde

$f_{j,15,media}$, es la resistencia media de al menos los últimos 15 empalmes

k_{15} , es un factor estadístico que se obtiene según la Tabla D.2.4

Tabla D.2.4. Factor k_{15}

COV (calculado según EN 14358)	≤0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
k_{15}	0,82	0,74	0,67	0,61	0,55

D.2.3.2. Valores máximos de porcentaje de delaminación

La Tabla D.2.5 recoge los valores máximos de porcentaje de delaminación en los planos de encolado para cada método de ensayo y número de ciclos.

Tabla D.2.5. Valores máximos del porcentaje total de delaminación (%)

	1 ciclo	2 ciclos	3 ciclos
MÉTODO A	-	5	10
MÉTODO B	4	8	-
MÉTODO C	10	-	-

D.2.3.3. Resistencia de los planos de encolado al esfuerzo cortante

La resistencia al esfuerzo cortante de los valores individuales de cada línea de cola deber ser como mínimo de 6 N/mm², admitiéndose un valor de 4 N/mm² si el porcentaje de rotura por madera es del 100%. El valor medio del porcentaje de rotura por madera de una probeta y todos los valores individuales deben ser mayores al porcentaje mínimo de rotura por madera indicado en la Tabla D.2.6.

Tabla D.2.6. Porcentaje de fallo por madera mínimo en relación con la resistencia a cortante (f_v)

f_v (N/mm ²)	Valores medios			Valores individuales	
	6	8	≥11	(4-6)	6
Valor mínimo de porcentaje de fallo por madera (%)	90	72	45	100	74

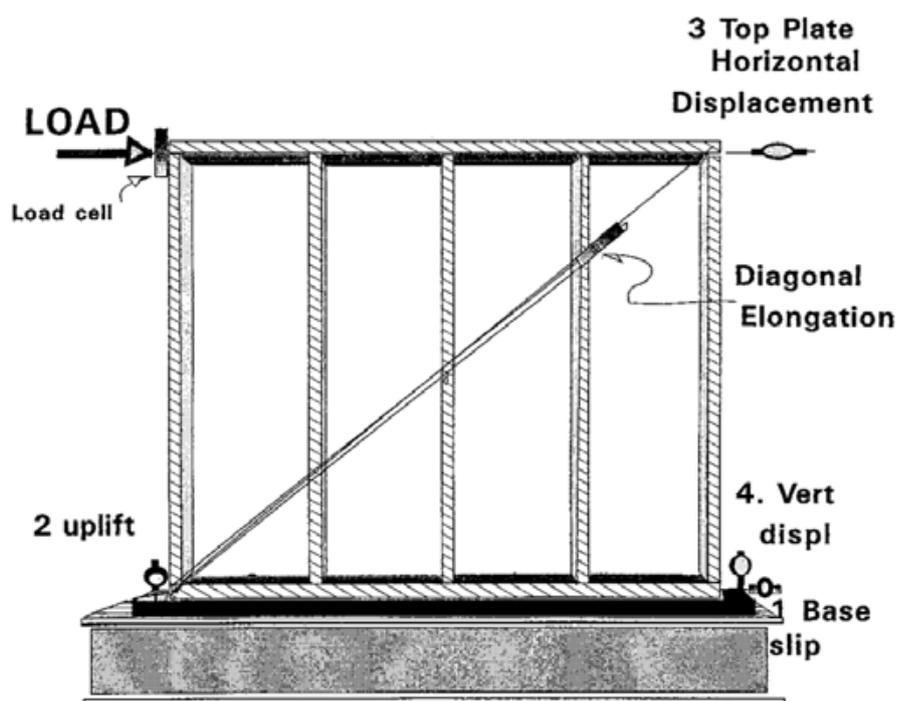
*Para los valores medios, el porcentaje mínimo de rotura por madera debe ser: $144 - (9 f_v)$

Para valores de resistencia a cortante $f_v \geq 6$ N/mm², los valores individuales del porcentaje mínimo de fallo por madera en % deben ser: $153,3 - (13,3 f_v)$



Informe Técnico N° 191

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MUROS ESTRUCTURALES DE MADERA



**INSTITUTO FORESTAL
2012**



Informe Técnico N° 191

INSTITUTO FORESTAL
UNIDAD DE TÉCNOLOGÍA E INDUSTRIAS DE LA MADERA

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MUROS ESTRUCTURALES DE MADERA

Autores

Luis Vásquez V.¹

Gonzalo Hernández C.²

Raúl Campos P.³

Marcelo González R.⁴

¹ Instituto Forestal. luis.vasquez@infor.cl

² Instituto Forestal. gonzalo.hernandez@infor.cl

³ Instituto Forestal. raul.campos@infor.cl

⁴ Instituto Forestal. marcelo.gonzalez@infor.cl





INSTITUTO FORESTAL - Chile 2012

Caracterización Mecánica de Muros Estructurales de Madera

Informe Técnico N° 191

Unidad de Tecnología e Industria de la Madera, INFOR, Sede Bio Bio.

Estudio financiado por la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO).

ISBN N° 978-956-318-079-4

www.infor.cl



PRÓLOGO

Debido a la escasa información existente en el país sobre el comportamiento mecánico de las viviendas con estructura de madera, particularmente sobre la capacidad de los muros estructurales; el Instituto Forestal, junto con el apoyo de la División Técnica del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, decidió realizar una serie de ensayos para caracterizar las tipologías de muros de madera más utilizadas en la construcción de viviendas que cuentan con financiamiento del Estado.

Esta publicación expone resultados de ensayos mecánicos de carga vertical, carga lateral, carga de flexión y carga de impacto, aplicados sobre 4 configuraciones de muros con estructura de madera, considerando dos sistemas de anclaje. Los muros de madera fueron construidos según el sistema constructivo plataforma, en base a pie derechos de madera aserrada estructural de Pino radiata y placa arriostrante OSB fijada bajo un esquema de clavado específico. A partir de los resultados de los ensayos mecánicos se estimaron capacidades admisibles de los muros frente a cargas de compresión y de corte, valores que son de utilidad para el diseño estructural.

Adicionalmente se realizaron ensayos de resistencia al fuego y aislación acústica, junto con cálculos térmicos, sobre 4 soluciones constructivas de muros considerando diferentes revestimientos de uso común en la construcción de viviendas. Esta caracterización físico-ambiental permitirá el uso de las soluciones de muros ensayadas en la construcción habitacional de nuestro país, dando cumplimiento a las exigencias de resistencia al fuego y de aislación térmica dispuesta por la División Técnica de Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

La información que entrega esta publicación tiene por objetivo ser un texto de consulta para arquitectos, ingenieros, constructores y estudiantes de carreras técnicas y universitarias relacionadas con el área de la construcción habitacional.

La presente publicación “Caracterización Mecánica de Muros Estructurales de Madera”, fue financiada con recursos provenientes de convenio 2012, suscrito entre la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) y el Instituto Forestal (INFOR).

Participaron en este estudio los profesionales y técnicos de la Unidad de Tecnología e Industrias de la Madera del INFOR Srs. Luís Vásquez Valenzuela, Gonzalo Hernández Careaga, Raúl Campos Pous y Marcelo González Retamal.



ÍNDICE

CAPITULO 1: CUADROS RESUMEN DE CARACTERIZACIÓN MECÁNICA Y FÍSICO-AMBIENTAL DE MUROS CON ESTRUCTURA DE MADERA.....	1
CAPITULO 2: CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MUROS CON ESTRUCTURA DE MADERA.....	7
2.1 METODOLOGÍA	8
2.1.1 Tipologías de muros con estructura de madera.	8
2.1.2 Metodología de ensayos	11
2.1.2.1 Ensayo de compresión	11
2.1.2.2 Ensayo de carga horizontal	12
2.1.2.3 Ensayo de flexión	13
2.1.2.4 Ensayo de impacto	14
2.2 RESULTADOS	16
2.2.1 Ensayo de compresión	16
2.2.2 Ensayo de carga horizontal	21
2.2.3 Ensayo de flexión.....	27
2.2.4 Ensayo de impacto	33
2.2.5 Cargas admisibles para el diseño estructural.....	36
2.3 CONCLUSIONES	38
2.4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
2.5 ANEXOS CARACTERIZACIÓN MECÁNICA MUROS DE MADERA.....	40
2.5.1 Capacidad admisible en compresión.....	40
2.5.2 Capacidad admisible en corte	44



CAPITULO 3: CARACTERIZACIÓN FÍSICO-AMBIENTAL DE MUROS CON ESTRUCTURA DE MADERA 51

3.1 METODOLOGÍA 52

 3.1.1 Soluciones constructivas de muros con estructura de madera 52

 3.1.2 Metodología de cálculo y ensayos 56

 3.1.2.1 Cálculos térmicos 56

 3.1.2.2 Ensayo de resistencia al fuego 56

 3.1.2.3 Ensayo de aislación acústica 60

3.2 RESULTADOS 64

 3.2.1 Comportamiento térmico 64

 3.2.2. Comportamiento frente al fuego 66

 3.2.3. Comportamiento acústico 70

3.3 CONCLUSIONES 72

3.4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 73

3.5 ANEXOS CARACTERIZACIÓN FÍSICO-AMBIENTAL MUROS DE MADERA 75

 3.5.1 Cálculos térmicos de muros 75



CAPITULO 1: CUADROS RESUMEN DE CARACTERIZACIÓN MECÁNICA Y FÍSICO-AMBIENTAL DE MUROS CON ESTRUCTURA DE MADERA



CAPACIDADES ADMISIBLES DE MUROS CON ESTRUCTURA DE MADERA					
Configuraciones		Placa arriostrante OSB			
		Fijada con clavos helicoidales de 2", distanciados en la zona perimetral a 100 mm y zona central a 200 mm			
		9,5 mm de espesor		11,1 mm de espesor	
		Capacidad admisible en compresión [kg/m]	Capacidad admisible en corte [kg/m]	Capacidad admisible en compresión [kg/m]	Capacidad admisible en corte [kg/m]
Pie derechos Madera aserrada estructural G2. Fijación con clavos helicoidales de 3"	Escuadria 45x69 mm (2x3) @ 600 mm	1.540	141	1.700	156
	Escuadría 45x94 mm (2x4) @ 600 mm	3.430	147	3.540	198

Notas:

- Las especificaciones para obtener madera estructural G2 de Pino radiata se encuentran en la norma chilena NCh 1207.
- El contenido de humedad de la madera debe ser menor a 19%, medida con xilohigrómetro según las especificaciones de la norma chilena NCh 2827. La humedad promedio de la madera utilizada en los muros ensayados fue de 16%.
- Las tolerancias dimensionales permitidas en las piezas de madera aserrada estructural se fijaron según la norma chilena NCh 2824, las cuales señalan tolerancias de 0,+3 mm en el espesor; y 0,+5 mm en el ancho.
- La madera utilizada en los ensayos se encontraba preservada para clasificación de riesgo R3, según lo especificado en la norma chilena NCh 819.
- El sistema de anclaje a fundación consideró pernos de 3/8" y escuadra de acero modelo "A66", marca Simpson Strong-Tie.
- Las capacidades admisibles de los muros ensayados pueden ser utilizadas en forma conservadora para espaciamientos entre pie derechos menores a 600 mm.



CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MUROS ESTRUCTURALES DE MADERA

MURO 45X69-YESO CARTÓN-FIBROCEMENTO							
ESTRUCTURAL		FUEGO		TÉRMICO		ACÚSTICO	
Capacidad admisible en compresión	1.540 kg/m	Resistencia al fuego	28 minutos	U	0,64 W/mK	Índice de reducción acústica	40 dBA
Capacidad admisible en corte	141 kg/m	Clasificación	F15	Cumple Zonas Térmicas	1, 2, 3, 4, 5 y 6		

DETALLE CONSTRUCTIVO

N°	Elemento	Descripción	
1	Soleras (no mostradas)	Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, su escuadría es de 45x69 mm.	
2	Pie derechos o montantes	Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, su escuadría es de 45x69 mm; separados 600 mm a eje uno de otro.	
3	Cara interior	Revestimiento	Plancha de yeso-cartón "ST" de 10 mm de espesor, fijada con clavos de yeso cartón de 1 5/8", distanciados a 250 mm a lo largo de los separadores horizontales. Sellos de unión entre planchas son con cinta de fibra de vidrio más pasta a base de yeso.
4		Separadores horizontales	Madera cepillada de Pino radiata seca en cámara, de escuadría 20 x 90 mm, colocados en sentido horizontal y distanciados a 400 mm uno de otro.
5		Barrera de vapor	Polietileno traslucido de 0,1 mm de espesor.
6	Cara exterior	Placa arriostrante	Placa de madera "OSB" de 9,5 mm de espesor, fijada con clavos helicoidales de 2", distanciados en la zona perimetral a 100 mm y zona central a 200 mm
7		Barrera de humedad	Papel fieltro de 15 lb
8		Separadores verticales	Madera cepillada de Pino radiata seca en cámara, de escuadría 20 x 70 mm, colocados en sentido vertical distanciados a 600 mm uno de otro
9		Revestimiento	Fajas de fibrocemento "Siding" tipo tinglado de 6 x 190 mm, colocadas en sentido horizontal con traslapos de 30 mm, fijado con clavos "Terrano" de 1", distanciados a 600 mm.
10	Aislación	Lana de vidrio de 50 mm de espesor y 14 kg/m ³ de densidad nominal.	



CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MUROS ESTRUCTURALES DE MADERA

MURO 45X94-YESO CARTÓN-FIBROCEMENTO							
ESTRUCTURAL		FUEGO		TÉRMICO		ACÚSTICO	
Capacidad admisible en compresión	3.430 kg/m	Resistencia al fuego	30 minutos	U	0,62 W/mK	Índice de reducción acústica	42 dBA
Capacidad admisible en corte	147 kg/m	Clasificación	F30	Cumple Zonas Térmicas	1, 2, 3, 4, 5 y 6		

DETALLE CONSTRUCTIVO

Nº	Elemento	Descripción	
1	Soleras (no mostradas)	Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, su escuadría es de 45x94 mm.	
2	Pie derechos o montantes	Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, su escuadría es de 45x94 mm; separados 600 mm a eje uno de otro.	
3	Cara interior	Revestimiento	Plancha de yeso-cartón "ST" de 10 mm de espesor, fijada con clavos de yeso cartón de 1 5/8", distanciados a 250 mm a lo largo de los separadores horizontales. Sellos de unión entre planchas son con cinta de fibra de vidrio más pasta a base de yeso.
4		Separadores horizontales	Madera cepillada de Pino radiata seca en cámara, de escuadría 20 x 90 mm, colocados en sentido horizontal y distanciados a 400 mm uno de otro.
5		Barrera de vapor	Polietileno traslucido de 0,1 mm de espesor.
6	Cara exterior	Placa arriostrante	Placa de madera "OSB" de 9,5 mm de espesor, fijada con clavos helicoidales de 2", distanciados en la zona perimetral a 100 mm y zona central a 200 mm
7		Barrera de humedad	Papel fieltro de 15 lb
8		Separadores verticales	Madera cepillada de Pino radiata seca en cámara, de escuadría 20 x 70 mm, colocados en sentido vertical distanciados a 600 mm uno de otro
9	Revestimiento	Fajas de fibrocemento "Siding" tipo tinglado de 6 x 190 mm, colocadas en sentido horizontal con traslapos de 30 mm, fijado con clavos "Terrano" de 1", distanciados a 600 mm.	
10	Aislación	Lana de vidrio de 50 mm de espesor y 14 kg/m ³ de densidad nominal.	



CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MUROS ESTRUCTURALES DE MADERA

MURO 45X69-MADERA TINGLADA-MADERA CEPILLADA							
ESTRUCTURAL		FUEGO		TÉRMICO		ACÚSTICO	
Capacidad admisible en compresión	1.700 kg/m	Resistencia al fuego	33 minutos	U	0,60 W/mK	Índice de reducción acústica	38 dBA
Capacidad admisible en corte	156 kg/m	Clasificación	F30	Cumple Zonas Térmicas	1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7		

DETALLE CONSTRUCTIVO

Nº	Elemento	Descripción
1	Soleras (no mostradas)	Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, su escuadría es de 45x69 mm.
2	Pie derechos o montantes	Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, su escuadría es de 45x69 mm; separados 600 mm a eje uno de otro.
3	Cara interior	Revestimiento Tablas de madera tinglada de Pino radiata seca en cámara, de 14 x 115 mm (14 mm de espesor en zona de tinglado), colocadas en sentido vertical y fijado con clavos "Terrano" de 1".
4		Separadores horizontales Madera cepillada de Pino radiata seca en cámara, de escuadría 20 x 90 mm, colocados en sentido horizontal y distanciados a 400 mm uno de otro.
5		Barrera de vapor Polietileno traslucido de 0,1 mm de espesor.
6	Cara exterior	Placa arriostrante Placa de madera "OSB" de 11,1 mm de espesor, fijada con clavos helicoidales de 2", distanciados en la zona perimetral a 100 mm y zona central a 200 mm
7		Barrera de humedad Papel fieltro de 15 lb
8		Separadores verticales Madera cepillada de Pino radiata seca en cámara, de escuadría 20 x 70 mm, colocados en sentido vertical distanciados a 600 mm uno de otro
9	Revestimiento Fajas de madera cepillada de Pino radiata seca en cámara, de escuadría 20 x 115 mm, colocadas en sentido horizontal con traslapos de 30 mm y su fijación es con clavos helicoidales de 2".	
10	Aislación	Lana de vidrio de 50 mm de espesor y 14 kg/m ³ de densidad nominal.



CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MUROS ESTRUCTURALES DE MADERA

MURO 45X94-MADERA TINGLADA-MADERA CEPILLADA							
ESTRUCTURAL		FUEGO		TÉRMICO		ACÚSTICO	
Capacidad admisible en compresión	3.540 kg/m	Resistencia al fuego	26 minutos	U	0,58 W/mK	Índice de reducción acústica	38 dBA
Capacidad admisible en corte	198 kg/m	Clasificación	F15	Cumple Zonas Térmicas	1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7		

DETALLE CONSTRUCTIVO

Nº	Elemento	Descripción
1	Soleras (no mostradas)	Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, su escuadría es de 45x94 mm.
2	Pie derechos o montantes	Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, su escuadría es de 45x94 mm; separados 600 mm a eje uno de otro.
3	Cara interior	Revestimiento Tablas de madera tinglada de Pino radiata seca en cámara, de 14 x 115 mm (14 mm de espesor en zona de tinglado), colocadas en sentido vertical y fijado con clavos "Terrano" de 1".
4		Separadores horizontales Madera cepillada de Pino radiata seca en cámara, de escuadría 20 x 90 mm, colocados en sentido horizontal y distanciados a 400 mm uno de otro.
5		Barrera de vapor Polietileno traslucido de 0,1 mm de espesor.
6	Cara exterior	Placa arriostrante Placa de madera "OSB" de 11,1 mm de espesor, fijada con clavos helicoidales de 2", distanciados en la zona perimetral a 100 mm y zona central a 200 mm
7		Barrera de humedad Papel fieltro de 15 lb
8		Separadores verticales Madera cepillada de Pino radiata seca en cámara, de escuadría 20 x 70 mm, colocados en sentido vertical distanciados a 600 mm uno de otro
9	Revestimiento Fajas de madera cepillada de Pino radiata seca en cámara, de escuadría 20 x 115 mm, colocadas en sentido horizontal con traslapos de 30 mm y su fijación es con clavos helicoidales de 2".	
10	Aislación	Lana de vidrio de 50 mm de espesor y 14 kg/m ³ de densidad nominal.



CAPITULO 2: CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MUROS CON ESTRUCTURA DE MADERA



2.1 METODOLOGÍA

Para caracterizar mecánicamente las tipologías de muros con estructura de madera se realizaron ensayos de compresión, carga horizontal, flexión e impacto.

2.1.1 Tipologías de muros con estructura de madera

Las tipologías de muros de madera sometidas a los ensayos de compresión y carga horizontal se observan en la tabla 2.1, todas las cuales presentaron un sistema de anclaje unido a una viga de fundación de hormigón. En tanto, los tipos de muro sometidos a los ensayos de flexión e impacto se describen en la tabla 2.2.

El tamaño de todas las probetas fue de 1,22 m de ancho por 2,44 m de alto, y la tipología típica de los muros ensayados se puede observar en la figura 2.1

Tabla 2.1: Tipologías de muros de madera sometidos a ensayos de compresión y carga horizontal

Nombre	Estructura	Placa arriostrante	Sistema de anclaje
ME-2x3-9	Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, escuadría de 45x69 mm (2x3); y pie derechos separados 600 mm a eje uno de otro.	Placa de madera "OSB" de 9,5 mm de espesor, fijada con clavos helicoidales de 2", distanciados en la zona perimetral a 100 mm y zona central a 200 mm	2 "espárragos", fierro estriado de 8 mm de diámetro
MP-2x3-9	Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, escuadría de 45x69 mm (2x3); y pie derechos separados 600 mm a eje uno de otro.	Placa de madera "OSB" de 9,5 mm de espesor, fijada con clavos helicoidales de 2", distanciados en la zona perimetral a 100 mm y zona central a 200 mm	2 pernos de anclaje, zincados, grado 2, de 3/8" de diámetro; con escuadras de acero modelo "A66", marca Simpson Strong-Tie.
MP-2x3-11	Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, escuadría de 45x69 mm (2x3); y pie derechos separados 600 mm a eje uno de otro.	Placa de madera "OSB" de 11,1 mm de espesor, fijada con clavos helicoidales de 2", distanciados en la zona perimetral a 100 mm y zona central a 200 mm	2 pernos de anclaje, zincados, grado 2, de 3/8" de diámetro; con escuadras de acero modelo "A66", marca Simpson Strong-Tie.

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MUROS ESTRUCTURALES DE MADERA

Nombre	Estructura	Placa arriostrante	Sistema de anclaje
MP-2x4-9	Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, escuadría de 45x94 mm (2x4); y pie derechos separados 600 mm a eje uno de otro.	Placa de madera "OSB" de 9,5 mm de espesor, fijada con clavos helicoidales de 2", distanciados en la zona perimetral a 100 mm y zona central a 200 mm	2 pernos de anclaje, zincados, grado 2, de 3/8" de diámetro; con escuadras de acero modelo "A66", marca Simpson Strong-Tie.
MP-2x4-11	Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, escuadría de 45x94 mm (2x4); y pie derechos separados 600 mm a eje uno de otro.	Placa de madera "OSB" de 11,1 mm de espesor, fijada con clavos helicoidales de 2", distanciados en la zona perimetral a 100 mm y zona central a 200 mm	2 pernos de anclaje, zincados, grado 2, de 3/8" de diámetro; con escuadras de acero modelo "A66", marca Simpson Strong-Tie.

Nota: M: Muro; E: Esparrago; P: Perno

Tabla 2.2: Tipologías de muros de madera sometidos a ensayos de flexión e impacto

Nombre	Estructura	Placa arriostrante	Orientación placa arriostrante
MI-2x3-9	Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, escuadría de 45x69 mm (2x3); y pie derechos separados 600 mm a eje uno de otro.	Placa de madera "OSB" de 9,5 mm de espesor, fijada con clavos helicoidales de 2", distanciados en la zona perimetral a 100 mm y zona central a 200 mm	Carga o impacto en la cara sin placa arriostrante
MS-2x3-9	Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, escuadría de 45x69 mm (2x3); y pie derechos separados 600 mm a eje uno de otro.	Placa de madera "OSB" de 9,5 mm de espesor, fijada con clavos helicoidales de 2", distanciados en la zona perimetral a 100 mm y zona central a 200 mm	Carga o impacto en la cara con placa arriostrante
MS-2x3-11	Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, escuadría de 45x69 mm (2x3); y pie derechos separados 600 mm a eje uno de otro.	Placa de madera "OSB" de 11,1 mm de espesor, fijada con clavos helicoidales de 2", distanciados en la zona perimetral a 100 mm y zona central a 200 mm	Carga o impacto en la cara con placa arriostrante



CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MUROS ESTRUCTURALES DE MADERA

Nombre	Estructura	Placa arriostrante	Orientación placa arriostrante
MS-2x4-9	Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, escuadría de 45x94 mm (2x4); y pie derechos separados 600 mm a eje uno de otro.	Placa de madera "OSB" de 9,5 mm de espesor, fijada con clavos helicoidales de 2", distanciados en la zona perimetral a 100 mm y zona central a 200 mm	Carga o impacto en la cara con placa arriostrante
MS-2x4-11	Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, escuadría de 45x94 mm (2x4); y pie derechos separados 600 mm a eje uno de otro.	Placa de madera "OSB" de 11,1 mm de espesor, fijada con clavos helicoidales de 2", distanciados en la zona perimetral a 100 mm y zona central a 200 mm	Carga o impacto en la cara con placa arriostrante

Nota: M: Muro; I: Inferior; S: Superior

Figura 2.1: Tipología típica de muros con estructura de madera ensayados.



2.1.2 Metodología de ensayos

Todos los ensayos mecánicos de los muros de madera se realizaron en el Laboratorio del Área de Ingeniería Estructural del Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción de la Universidad del Bio Bio (CITEC UBB). Los equipos utilizados para realizar las mediciones aparecen en la tabla 2.3

Tabla 2.3: Equipamiento experimental del CITEC UBB

Equipo	Características
Marco de carga	Estructura metálica con capacidad de 50 toneladas
Celda de carga	Con capacidad de 50 toneladas y recorrido de pistón de 100 mm
Transductores de desplazamiento	Del tipo hilo-polea, con capacidad de medir desplazamientos verticales y horizontales
Sistema de adquisición de datos	Con capacidad de registrar simultáneamente carga aplicada, desplazamiento de cilindro y 4 transductores de desplazamiento.
Sistema de sujeción impacto	Estructura metálica con capacidad de restringir desplazamientos en borde superior e inferior del panel (ensayo en posición vertical)
Saco de impacto	Masa de 27 kg, con cuerdas y poleas que permiten generar distintas alturas de caída

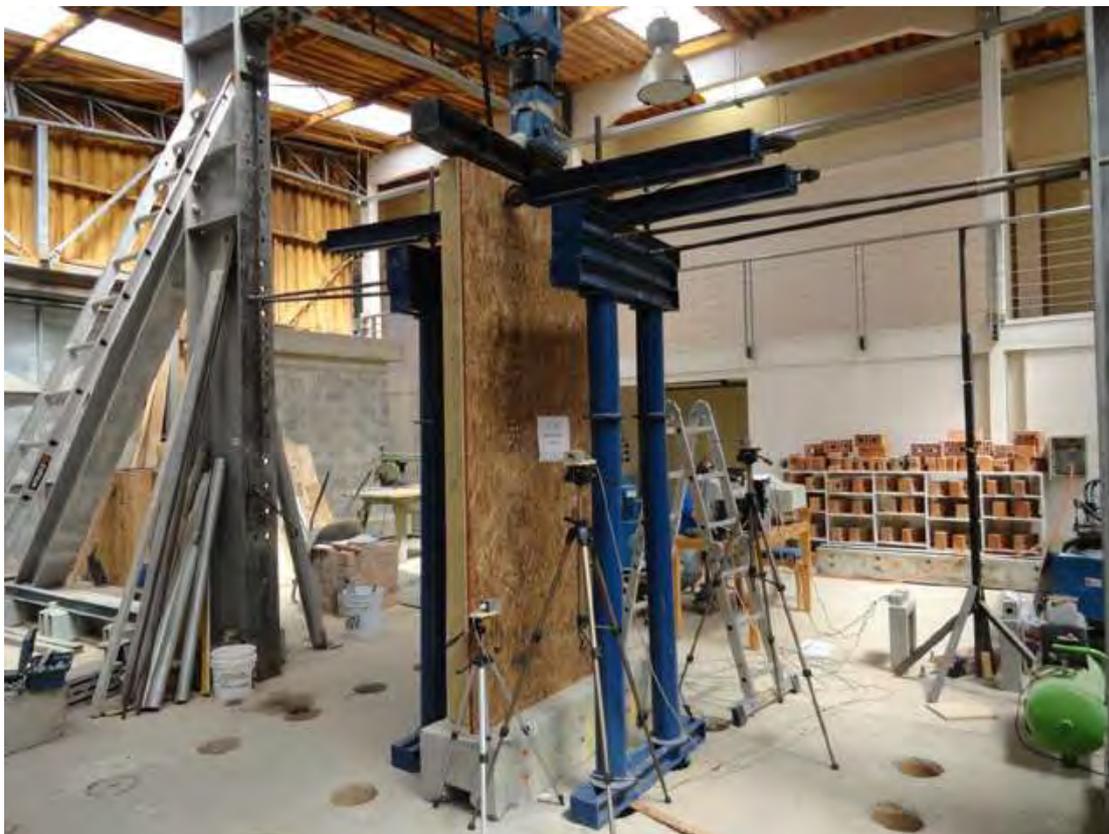
2.1.2.1 Ensayo de compresión

El método de ensayo aplicado es el descrito en la norma chilena NCh 801.of2003: Elementos de construcción – Paneles – Ensayo de compresión; sin embargo se realizaron las siguientes modificaciones al método de ensayo:

- La restricción inferior de los muros se generó a través de los sistemas de anclaje a la viga de fundación propuestos.
- Por cada tipología constructiva se evaluaron 5 probetas, dando un total de 25 ensayos.
- La carga vertical se aplicó monotónicamente de manera continua hasta la falla. No se realizaron incrementos discretos de carga ni se midieron desplazamientos residuales.

La implementación del ensayo se muestra en la figura 2.2.

Figura 2.2: Implementación del ensayo de compresión en muros con estructura de madera.



2.1.2.2 Ensayo de carga horizontal

El método de ensayo aplicado es el descrito en la norma chilena NCh 802.Eof71: Arquitectura y construcción – Paneles prefabricados – Ensayo de carga horizontal; sin embargo se realizaron las siguientes modificaciones al método de ensayo:

- La restricción horizontal inferior de los muros se generó a través de los sistemas de anclaje a la viga de fundación propuestos.
- No se restringió el desplazamiento vertical del panel en la zona de aplicación de carga.
- Por cada tipología constructiva se evaluaron 5 probetas, dando un total de 25 ensayos.
- La carga horizontal se aplicó monotónicamente de manera continua hasta la falla. No se realizaron incrementos discretos de carga ni se midieron desplazamientos laterales residuales.

La implementación del ensayo se muestra en la figura 2.3.

Figura 2.3: Implementación del ensayo de carga horizontal en muros con estructura de madera.



2.1.2.3 Ensayo de flexión

El método de ensayo empleado es el descrito en la norma chilena NCh 803.of2003: Elementos de construcción – Paneles – Ensayos de flexión; sin embargo se realizó la siguiente modificación al método de ensayo:

- La carga horizontal se aplicó monotónicamente de manera continua hasta la falla. No se realizaron incrementos discretos de carga ni se midieron desplazamientos verticales residuales.
- Sólo la tipología de muros con pies derechos de 45x69 mm (2x3) cada 60 mm uno de otro y placa arriostrante OSB de 9,5 mm de espesor, fue ensayada en flexión en sus dos caras (MS-2x3-9 y MI-2x3-9).

La implementación del ensayo se muestra en la figura 2.4.

Figura 2.4: Implementación del ensayo de flexión en muros con estructura de madera.



2.1.2.4 Ensayo de impacto

El método de ensayo empleado es el descrito en la norma chilena NCh 804.of2003: Elementos de construcción – Paneles – Ensayo de impacto; sin embargo se realizaron las siguientes modificaciones al método de ensayo:

- No se registraron desplazamientos laterales residuales en los paneles debido a que son muy cercanos a cero.
- Sólo la tipología de muros con pies derechos de 45x69 mm (2x3) cada 60 mm uno de otro y placa arriostrante OSB de 9,5 mm de espesor, fue ensayada a impacto en sus dos caras (MI-2x3-9 y MS-2x3-9)

La implementación del ensayo se muestra en la figura 2.5.

Figura 2.5: Implementación del ensayo de impacto en muros con estructura de madera.



2.2 RESULTADOS

2.2.1 Ensayo de compresión

Los resultados de carga vertical máxima y desplazamiento perpendicular al plano del muro asociado a la carga máxima, se observan en las tablas 2.4 y 2.5 respectivamente. En tanto, las figuras 2.6 a 2.10 muestran los gráficos carga-desplazamiento de las cinco tipologías ensayadas.

Al comparar la tipología de muro ME-2x3-9 con MP-2x3-9, se puede apreciar que el valor promedio es mayor para la tipología con anclaje de fierro estriado de 8 mm; sin embargo no se evidencian diferencias significativas entre ambas tipologías. Por otro lado observando los valores de las tipologías con sistema de pernos de anclaje y ángulo (MP-2x3-9, MP-2x3-11, MP-2x4-9 y MP-2x4-11), se aprecia una clara influencia de la escuadría de los pies derechos en la capacidad resistente de los muros a la compresión, donde la escuadría 45x94 mm (2x4) presenta valores entre 92% y 130% mayores a las tipologías con escuadría de 45x69 mm (2x3). Finalmente no se observa un incremento importante en la resistencia a la compresión, entre las tipologías de muro de una misma escuadría, al aumentar el espesor de la placa arriostrante de 9,5 mm a 11,1 mm (ver tabla 2.4).

De manera análoga al párrafo anterior, los resultados asociados a los desplazamientos laterales perpendiculares al plano del muro correspondiente a los niveles de carga máxima, evidencian que no existe una diferencia entre los sistemas de anclaje de fierro estriado, y perno de anclaje más ángulo. También se aprecia que el aumento de escuadría de 45x69 mm (2x3) a 45x94 (2x4) permite reducir entre un 55% y 62% el pandeo del muro por flexión. Finalmente no existen diferencias significativas en los desplazamientos laterales de las tipologías de muro de una misma escuadría al aumentar el espesor de la placa arriostrante de 9,5 mm a 11,1 mm (ver tabla 2.5).

Tabla 2.4: Carga vertical máxima en muros con estructura de madera

N° ensayo	Carga máxima vertical [t]				
	ME-2x3-9	MP-2X3-9	MP-2X3-11	MP-2X4-9	MP-2X4-11
1	8,38	7,97	8,78	16,07	17,38
2	7,05	7,08	7,73	20,98	15,95
3	10,09	8,44	10,28	17,04	19,61
4	7,08	8,06	10,59	17,86	19,89
5	8,06	6,76	9,81	17,13	---
Promedio	8,13	7,66	9,44	17,82	18,21
Desv. estándar	1,24	0,71	1,18	1,88	1,88
Coef. de variación	0,15	0,09	0,12	0,11	0,10

Tabla 2.5: Desplazamiento perpendicular al plano del muro asociado a carga vertical máxima.

N° ensayo	Pandeo para carga máxima [mm]				
	ME-2x3-9	MP-2X3-9	MP-2X3-11	MP-2X4-9	MP-2X4-11
1	39,14	37,45	38,85	17,00	20,00
2	21,40	25,13	33,45	15,47	16,17
3	15,00	26,95	13,32	4,77	2,38
4	27,97	15,33	10,34	8,46	3,28
5	24,86	40,62	19,88	8,93	---
Promedio	25,67	29,10	23,17	10,93	10,46
Desv. estándar	8,94	10,15	12,49	5,14	8,95
Coef. de variación	0,35	0,35	0,54	0,47	0,86

Figura 2.6: Gráfico carga-desplazamiento de ensayos de carga vertical en muros de tipología ME 2x3-9.

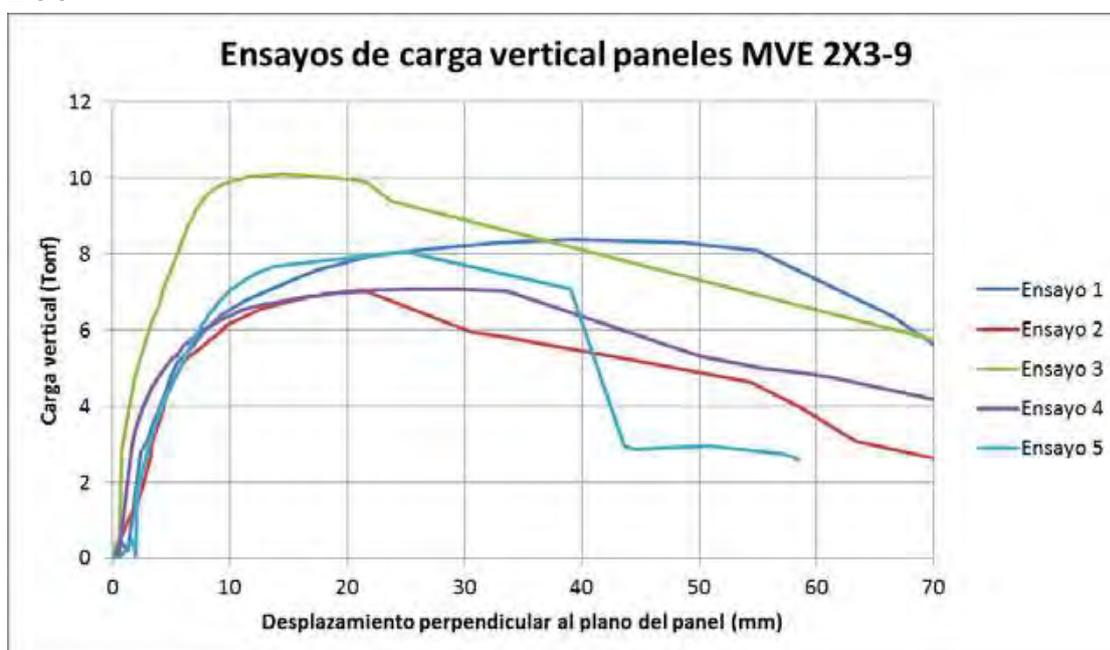


Figura 2.7: Gráfico carga-desplazamiento de ensayos de carga vertical en muros de tipología MP 2x3-9.

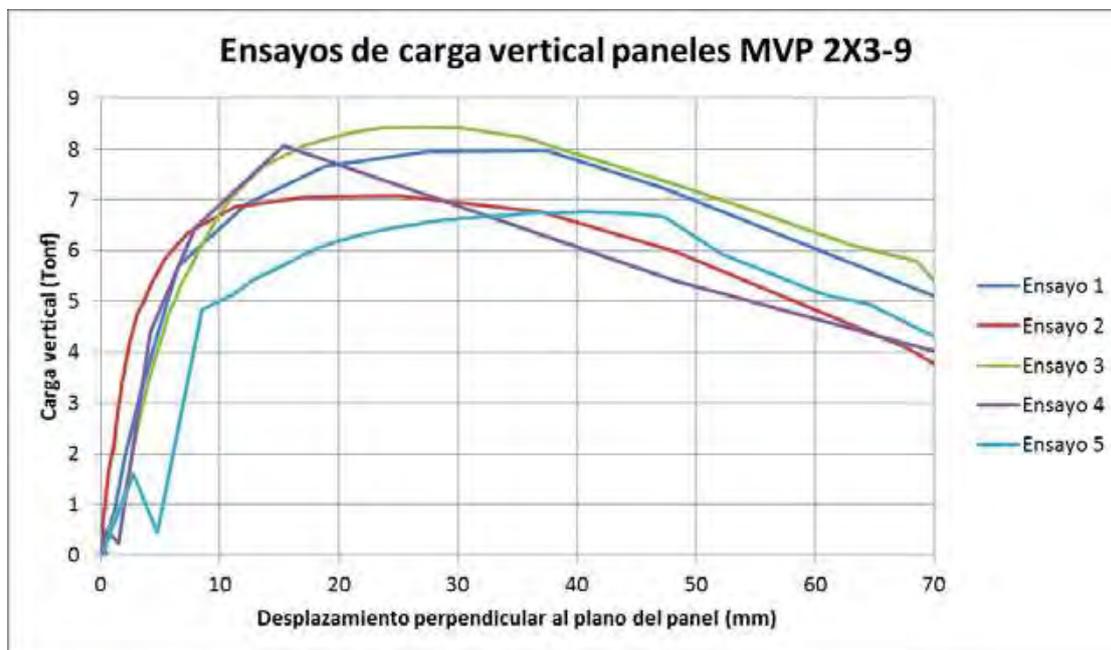


Figura 2.8: Gráfico carga-desplazamiento de ensayos de carga vertical en muros de tipología MP 2x3-11.

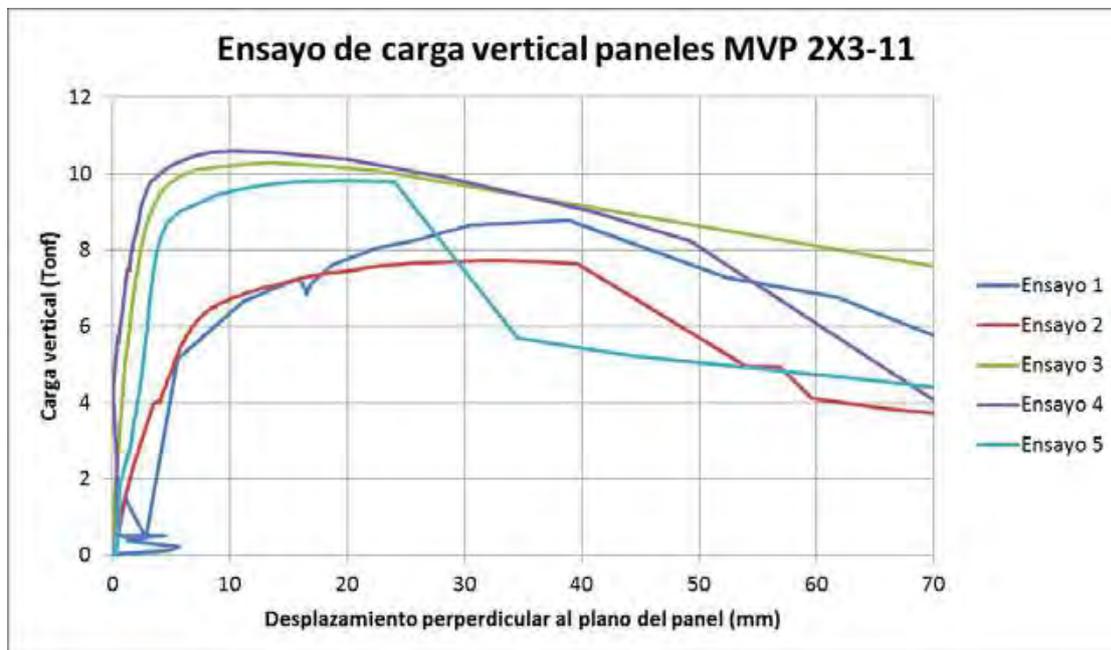


Figura 2.9: Gráfico carga-desplazamiento de ensayos de carga vertical en muros de tipología MP 2x4-9.

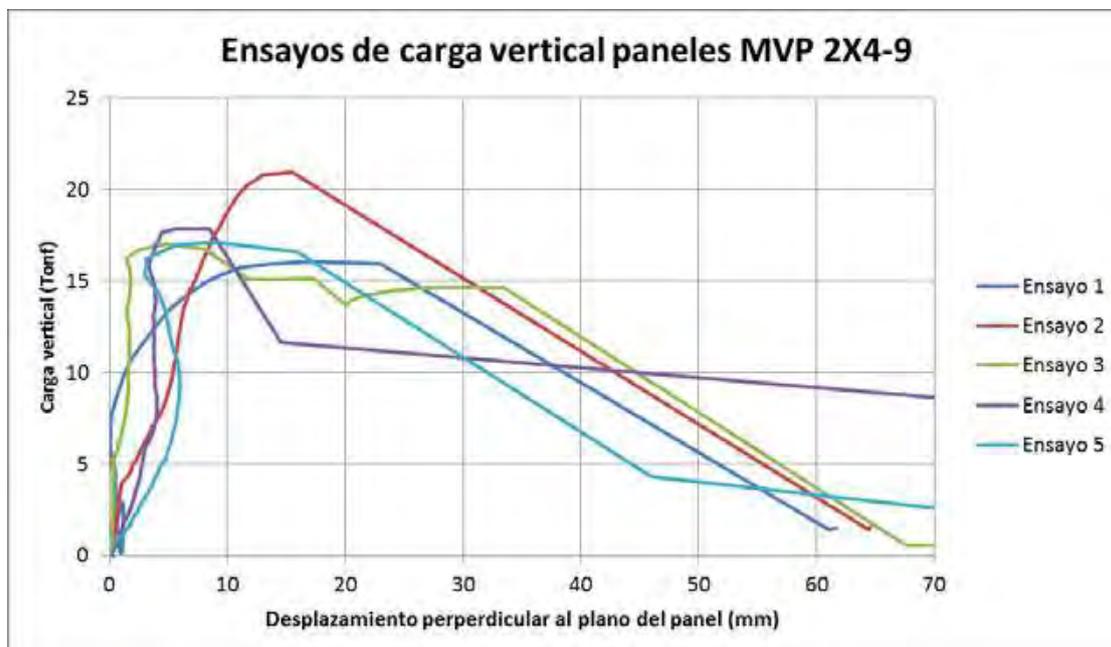
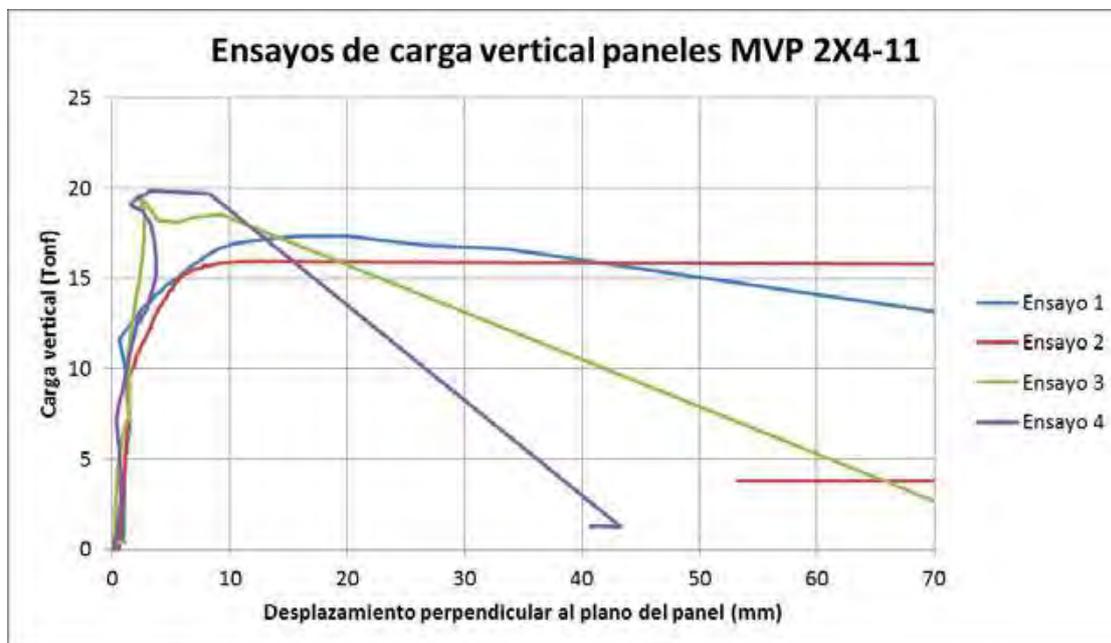


Figura 2.10: Gráfico carga-desplazamiento de ensayos de carga vertical en muros de tipología MP 2x4-11.



CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MUROS ESTRUCTURALES DE MADERA

En la figura 2.11, se puede apreciar el modo de falla característico evidenciado en todas las tipologías de muros ensayados, los cuales presentaron pandeo por flexión de los pies derechos (fuera del plano del panel). La falla característica muchas veces se vio acelerada por la presencia de nudos en los pies derechos. Se observó además que la placa arriostrante OSB es eficiente para evitar el pandeo por flexión de los pies derechos con respecto a su eje débil, sin necesidad de instalar apoyos laterales adicionales como cadenetas.

Figura 2.11: Modo de falla característico de ensayo de carga vertical en muros con estructura de madera.



2.2.2 Ensayo de carga horizontal

Los resultados de carga horizontal máxima y desplazamiento lateral para carga máxima, se observan en las tablas 2.6 y 2.7 respectivamente. En tanto, las figuras 2.12 a 2.16 muestran los gráficos carga-desplazamiento de las cinco tipologías ensayadas.

Al comparar la tipología de muro ME-2x3-9 con MP-2x3-9, se puede apreciar una diferencia significativa, donde el cambio de sistema de anclaje “esparrago” al sistema “perno y escuadra” permitió un incremento del 85% en la resistencia promedio a la carga lateral de la tipología de muro. Por otro lado observando los valores de las tipologías con sistema de anclaje “perno y escuadra” (MP-2x3-9, MP-2x3-11, MP-2x4-9 y MP-2x4-11), se aprecia una clara influencia de la escuadría de los pies derechos en la capacidad resistente de los muros al corte, donde la escuadría 45x94 mm (2x4) presenta valores entre 31% y 44% mayores a las tipologías con escuadría de 45x69 mm (2x3). Finalmente no se observa un incremento importante en la resistencia a la carga lateral promedio, entre las tipologías de muro de una misma escuadría, al aumentar el espesor de la placa OSB de 9,5 mm a 11,1 mm (ver tabla 2.6).

De la tabla 2.7 se puede apreciar que los desplazamientos laterales asociados a la carga horizontal máxima, no presentaron diferencias significativas entre las tipologías de muro ensayadas. Se observaron valores promedio que variaron entre 60 mm y 79 mm.

Tabla 2.6: Carga horizontal máxima en muros con estructura de madera.

N° ensayo	Carga máxima horizontal [t]				
	ME-2x3-9	MP-2X3-9	MP-2X3-11	MP-2X4-9	MP-2X4-11
1	0,280	0,620	0,510	0,730	0,910
2	0,300	0,460	0,500	0,690	0,650
3	0,320	0,500	0,460	1,130	0,720
4	0,320	0,570	0,520	0,490	0,670
5	0,230	0,530	0,540	0,470	0,690
Promedio	0,290	0,536	0,506	0,702	0,728
Desv. estándar	0,037	0,062	0,030	0,266	0,105
Coef. de variación	0,13	0,12	0,06	0,38	0,14

Tabla 2.7: Desplazamiento lateral para carga horizontal máxima en muros con estructura de madera.

N° ensayo	Desplazamiento lateral para carga máxima [mm]				
	ME-2x3-9	MP-2X3-9	MP-2X3-11	MP-2X4-9	MP-2X4-11
1	72,48	88,58	24,58	72,48	80,87
2	66,70	70,28	60,83	80,35	80,41
3	66,65	71,81	59,94	78,77	79,88
4	79,55	80,44	76,93	70,11	79,21
5	86,37	79,54	77,76	76,17	76,16
Promedio	74,35	78,13	60,01	75,58	79,31
Desv. estándar	8,56	7,38	21,55	4,27	1,86
Coef. de variación	0,12	0,09	0,36	0,06	0,02

Figura 2.12: Gráfico carga-desplazamiento de ensayos de carga horizontal en muros de tipología ME 2x3-9.

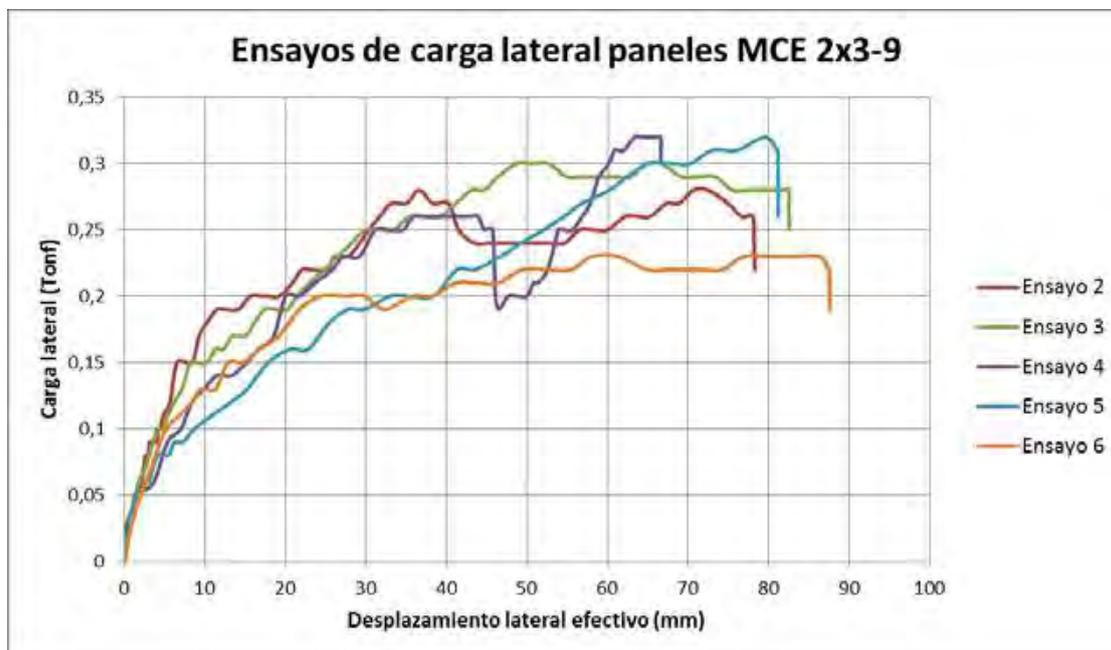


Figura 2.13: Gráfico carga-desplazamiento de ensayos de carga horizontal en muros de tipología MP 2x3-9.

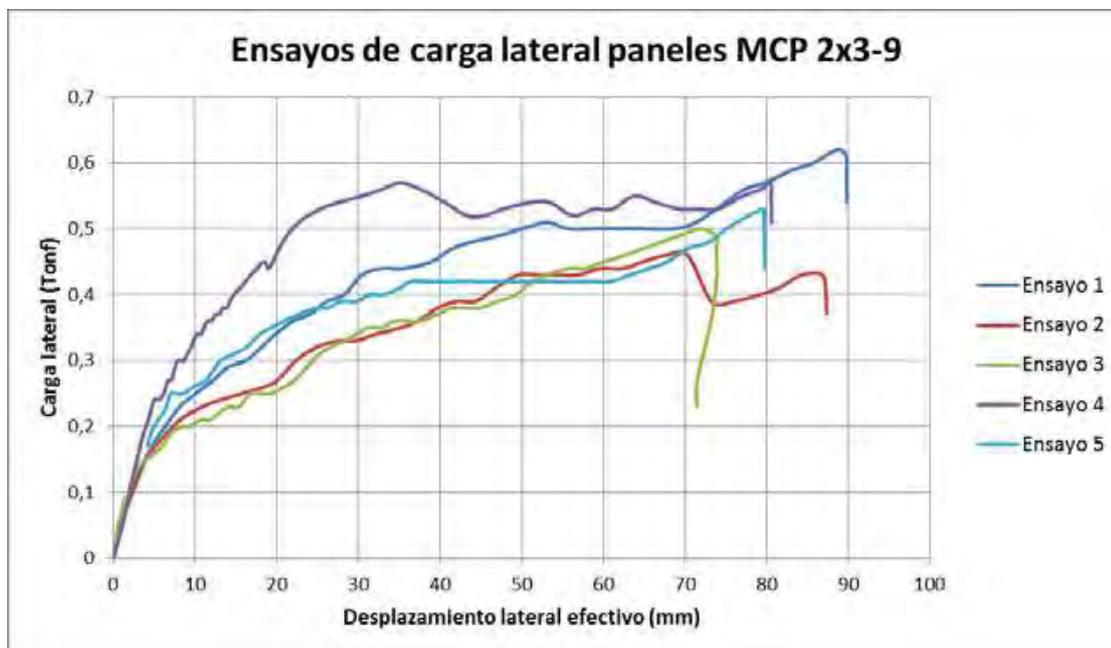


Figura 2.14: Gráfico carga-desplazamiento de ensayos de carga horizontal en muros de tipología MP 2x3-11.

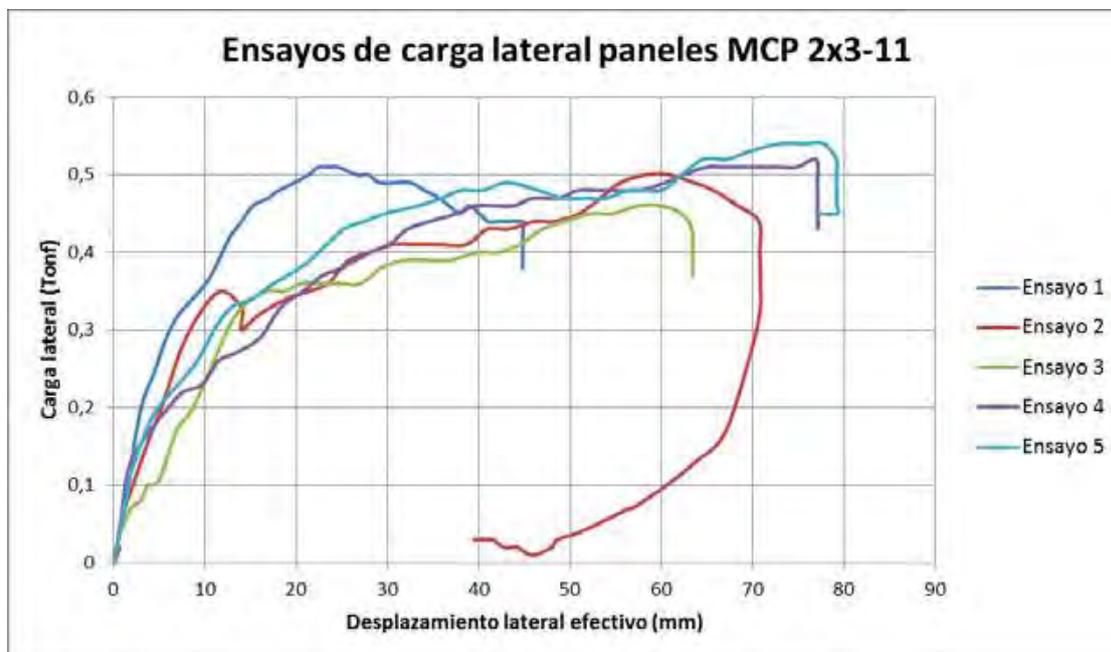


Figura 2.15: Gráfico carga-desplazamiento de ensayos de carga horizontal en muros de tipología MP 2x4-9.

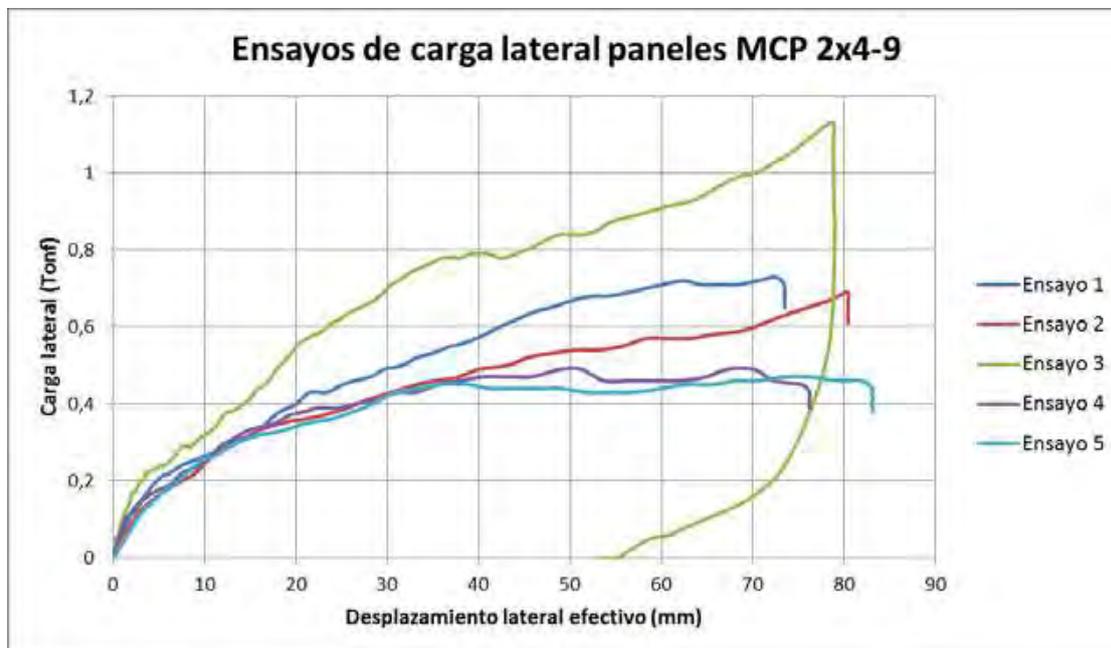
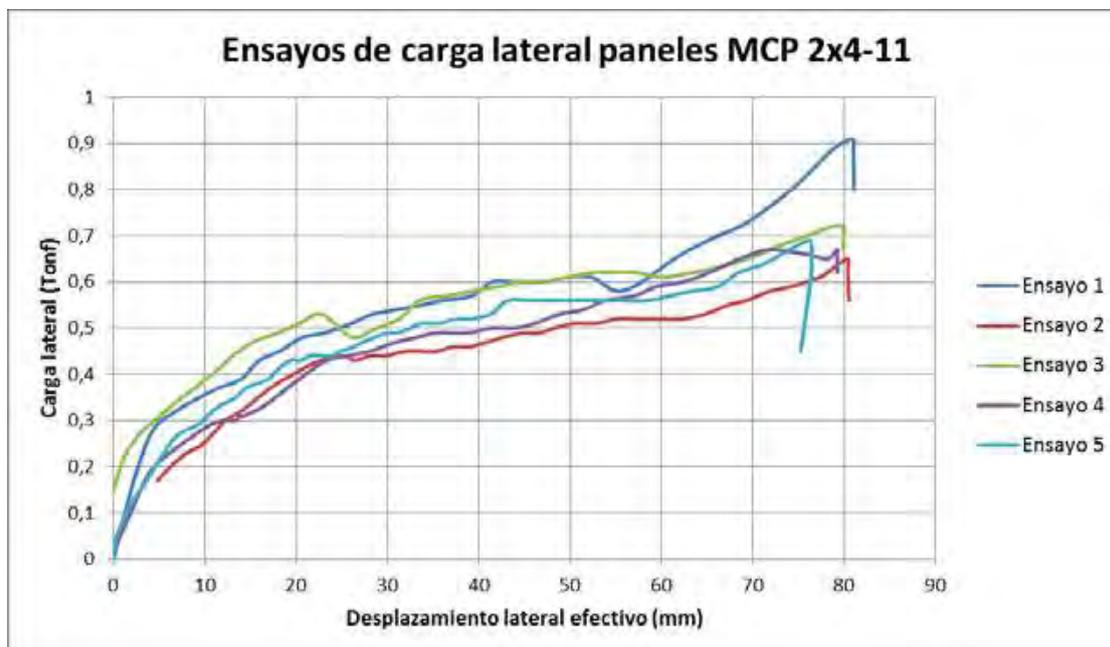


Figura 2.16: Gráfico carga-desplazamiento de ensayos de carga horizontal en muros de tipología MP 2x4-11.



En la figura 2.17, se puede observar el modo de falla característico de la tipología de muro ME-2x3-9, el cual se concentra en el borde inferior, susceptible al levantamiento del pie derecho traccionado. Esta falla característica responde a la siguiente secuencia: desclavado parcial del pie derecho-solera inferior; plastificación, aplastamiento y desgarramiento en zona de clavado de unión OSB-madera. Además se observa la ineficiencia del sistema de anclaje “esparrago” para impedir este mecanismo de falla.

El modo de falla característico de las tipologías de muro con sistema de anclaje “perno y escuadra” se concentra en el borde inferior, susceptible al levantamiento del pie derecho traccionado. La falla característica responde a la siguiente secuencia: plastificación de la escuadra de anclaje, desclavado parcial unión pie derecho – solera inferior; plastificación, aplastamiento y desgarramiento en zona de clavo de unión OSB-madera (Ver figura 2.18). Además se observó en las tipologías MP-2x3-9 y MP-2x3-11 la eficiencia del sistema de anclaje “perno y escuadra” para retrasar el mecanismo de falla, generando incluso algunas roturas por flexión de la solera inferior. Finalmente en las tipologías MP-2x4-9 y MP-2x4-11 también se observó la eficiencia del sistema de anclaje “perno y escuadra” para retrasar el mecanismo de falla, pero sin generar flexión de la solera inferior.

Figura 2.17: Modo de falla característico de ensayo de carga horizontal en muros con estructura de madera con sistema de anclaje espárrago



Figura 2.18: Modo de falla característico de ensayo de carga horizontal en muros con estructura de madera con sistema de anclaje perno y escuadra.



2.2.3 Ensayo de flexión

Los resultados de carga máxima en flexión y desplazamiento vertical para carga máxima, se observan en las tablas 2.8 y 2.9 respectivamente. En tanto, las figuras 2.19 a 2.23 muestran los gráficos carga-desplazamiento de las cinco tipologías ensayadas.

Al observar los resultados de la tipología de muros con pies derechos de 45x69 mm (2x3) y placa arriostrante OSB de 9,5 mm de espesor (MI-2x3-9 y MS-2x3-9), se puede apreciar que cuando la carga fue aplicada en la cara sin placa OSB la resistencia fue un 35% superior a cuando la carga fue aplicada en la cara con la placa OSB. Por otro lado, en las tipologías ensayadas con la carga aplicada en la cara con placa OSB (MS-2x3-9, MS-2x3-11, MS-2x4-9 y MS-2x4-11) se aprecia que los muros con escuadría de pies derechos de 45x94 mm (2x4) presentan valores de resistencia en flexión significativamente mayores, entre 76% y 170%, a los muros con pies derechos de escuadría 45x69 mm (2x3) (ver tabla 2.8).

De la tabla 2.9 se puede apreciar que los desplazamientos verticales asociados a la carga máxima de flexión, presentaron valores promedio que variaron entre 31 mm y 63 mm.

Tabla 2.8: Carga máxima en flexión en muros con estructura de madera.

N° ensayo	Carga máxima [t]				
	MI-2x3-9	MS-2X3-9	MS-2X3-11	MS-2X4-9	MS-2X4-11
1	1,58	1,10	0,70	2,19	3,00
2	1,63	1,14	1,05	1,94	2,11
3	1,36	1,16	0,79	1,85	1,76
Promedio	1,52	1,13	0,85	1,99	2,29
Desv. estándar	0,14	0,03	0,18	0,18	0,64
Coef. de variación	0,09	0,03	0,21	0,09	0,28

Tabla 2.9: Desplazamiento vertical para carga máxima en flexión en muros con estructura de madera.

N° ensayo	Desplazamiento vertical para carga máxima [mm]				
	MI-2x3-9	MS-2X3-9	MS-2X3-11	MS-2X4-9	MS-2X4-11
1	59,57	34,92	23,46	40,12	50,80
2	65,47	39,14	39,15	33,09	32,72
3	63,74	52,43	30,15	32,46	27,22
Promedio	62,93	42,16	30,92	35,22	36,91
Desv. estándar	3,03	9,14	7,87	4,25	12,34
Coef. de variación	0,05	0,22	0,25	0,12	0,33

Figura 2.19: Gráfico carga-desplazamiento de ensayos de flexión en muros de tipología MI 2x3-9.

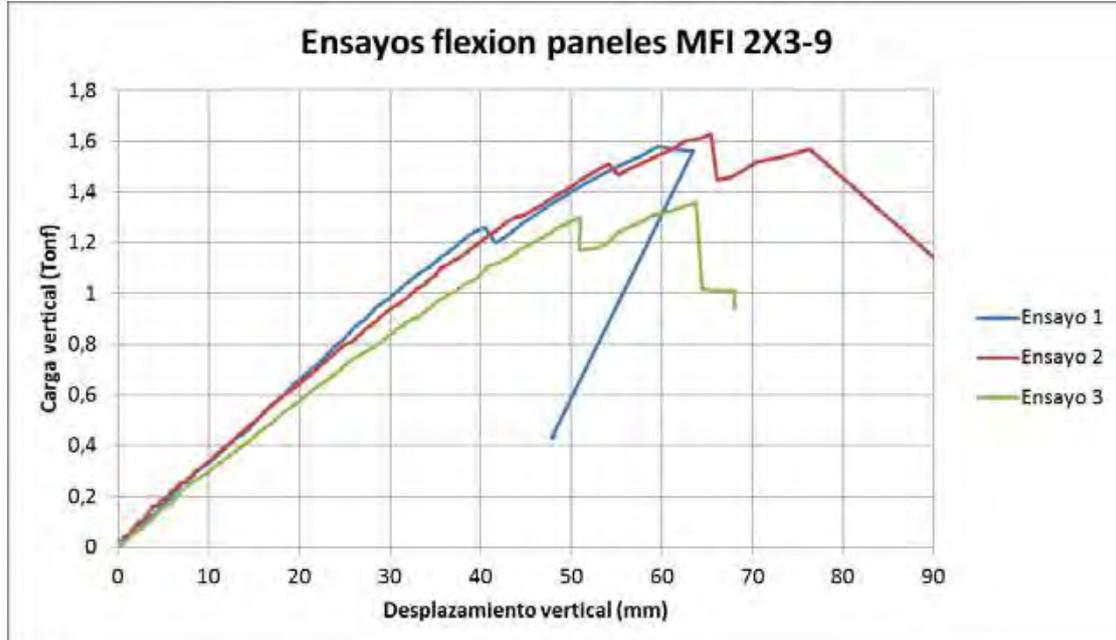


Figura 2.20: Gráfico carga-desplazamiento de ensayos de flexión en muros de tipología MS 2x3-9.

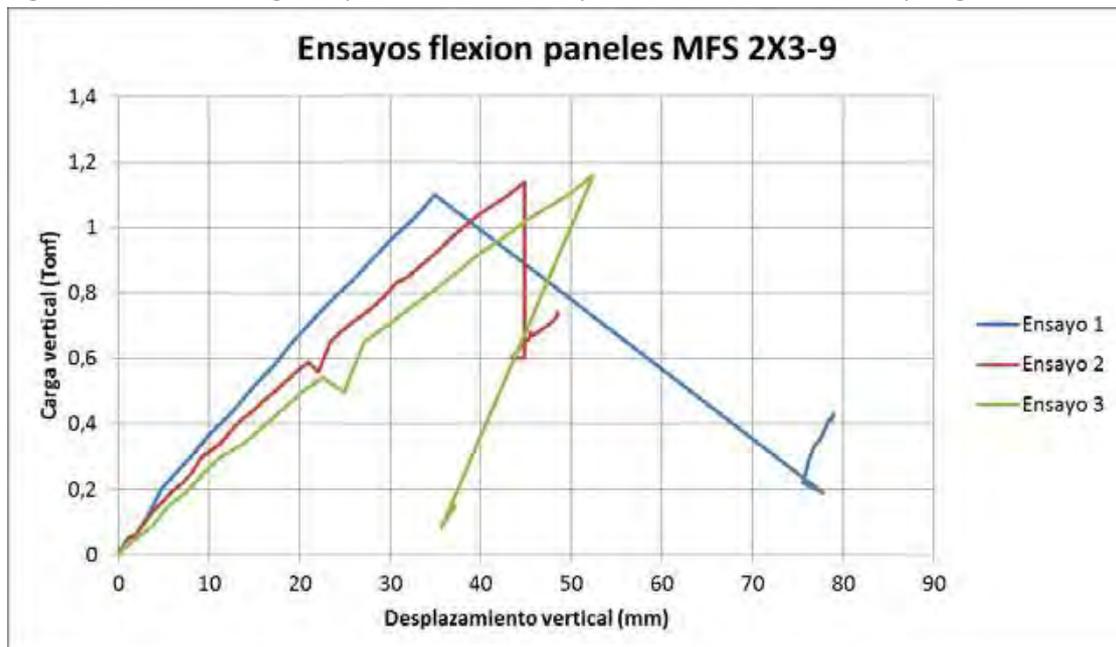


Figura 2.21: Gráfico carga-desplazamiento de ensayos de flexión en muros de tipología MS 2x3-11.

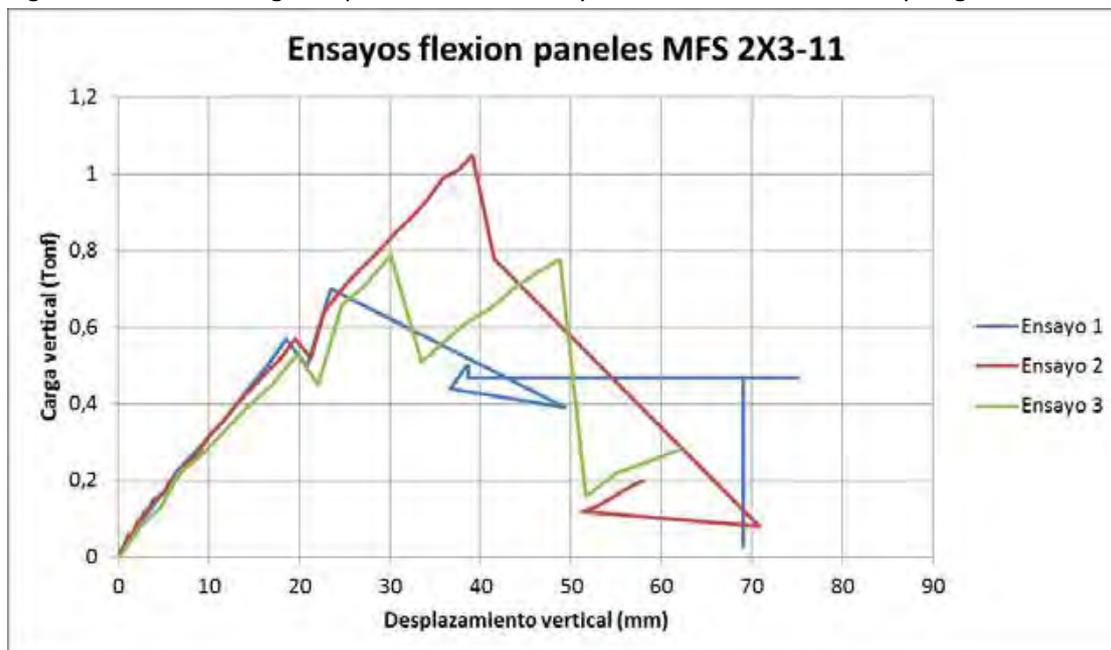


Figura 2.22: Gráfico carga-desplazamiento de ensayos de flexión en muros de tipología MS 2x4-9.

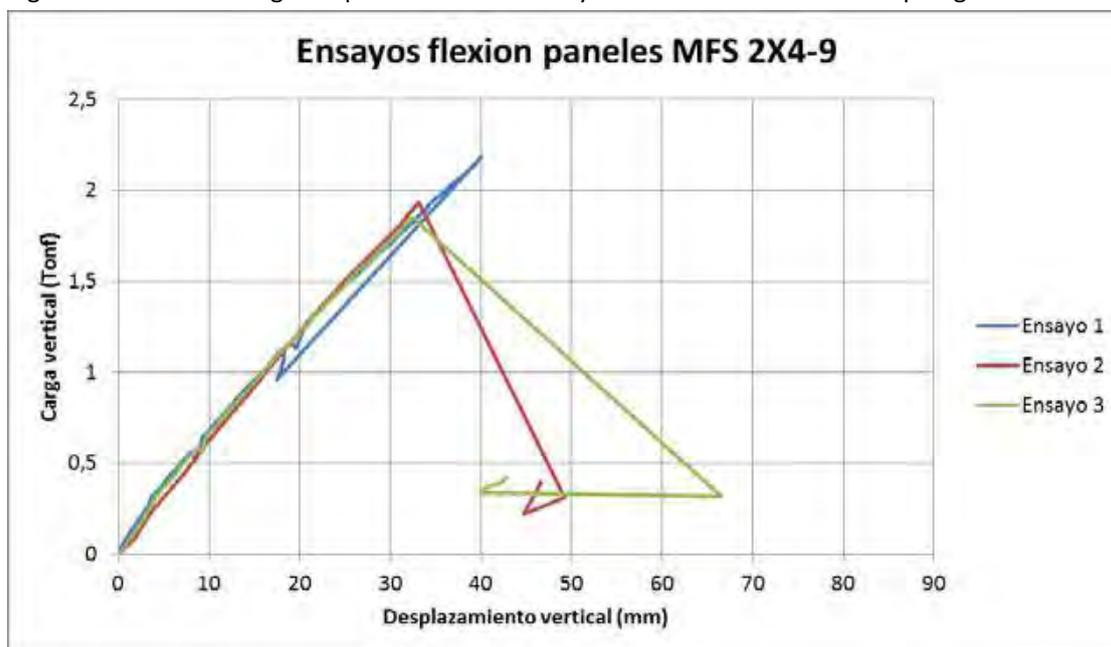
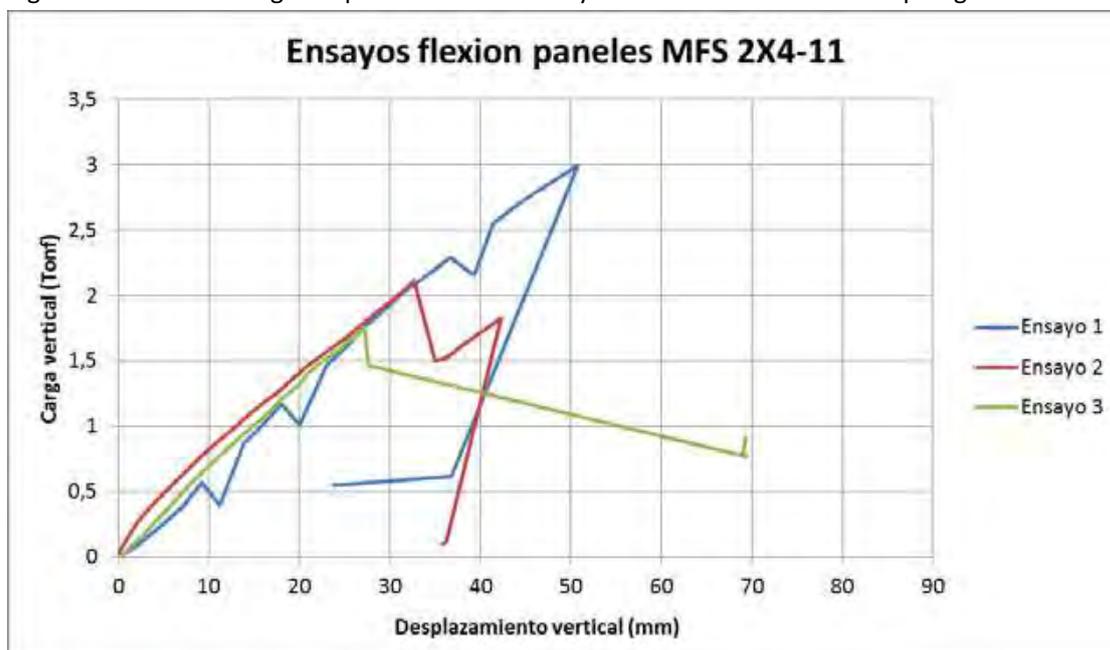


Figura 2.23: Gráfico carga-desplazamiento de ensayos de flexión en muros de tipología MS 2x4-11.



En la figura 2.24, se puede observar el modo de falla característico de la tipología de muro MI-2x3-9, el cual se concentra en la cara inferior, susceptible a la tracción por flexión. Esta falla característica responde a la siguiente secuencia: falla por flexión de la placa OSB, falla por flexo-tracción del pie derecho. Además se observa como la placa OSB ubicada en la cara inferior retarda la falla por flexo-tracción de los pies derechos.

El modo de falla característico de las tipologías de muro con la placa OSB ubicada en la cara superior (MS-2x3-9, MS-2x3-11, MS-2x4-9 y MS-2x4-11), se concentra en la cara inferior susceptible a la falla por flexión. La falla característica responde a la rotura por flexo-tracción del pie derecho, la cual se ve acelerada por la eventual presencia de nudos y desviación de fibra en la madera. Además se aprecia que la placa OSB actúa solamente como un elemento que impide el volcamiento en toda la longitud de los pies derechos (ver figura 2.25).

Figura 2.24: Modo de falla característico de ensayo de flexión en muros con estructura de madera con la carga aplicada en la cara sin placa arriostrante.

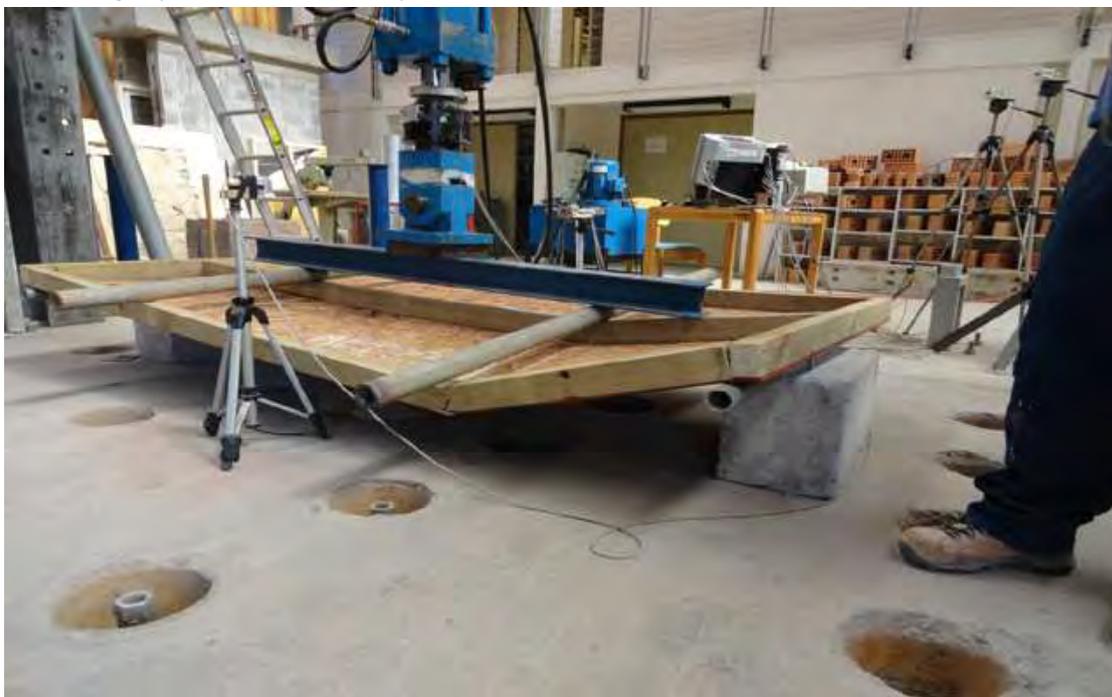


Figura 2.25: Modo de falla característico de ensayo de flexión en muros con estructura de madera con la carga aplicada en la cara con placa arriostrante.



2.2.4 Ensayo de impacto

Los resultados de energía de impacto y desplazamiento lateral vertical para energía de impacto de rotura, se observan en las tablas 2.10 y 2.11 respectivamente.

Al observar los resultados de la tipología de muros con pies derechos de 45x69 mm (2x3) y placa arriostrante OSB de 9,5 mm de espesor (MI-2x3-9 y MS-2x3-9), se puede apreciar que cuando los muros fueron impactados en la cara sin placa OSB la resistencia promedio fue un 16% superior a cuando el impacto fue aplicado en la cara con la placa OSB. Por otro lado, en las tipologías impactadas en la cara con placa OSB (MS-2x3-9, MS-2x3-11, MS-2x4-9 y MS-2x4-11) se aprecia que los muros presentan valores de energía de impacto rotura entre 292 J y 464 J (ver tabla 2.10).

De la tabla 2.11 se puede apreciar que los desplazamientos verticales asociados al impacto para rotura, presentaron valores promedio que variaron entre 47 mm y 60 mm.

Finalmente, se puede destacar que todos los muros ensayados presentan un comportamiento satisfactorio frente a las cargas de impacto; esto debido a que ningún muro evidenció deterioro aparente para energías de impacto de 120 J, y en promedio ninguna tipología de paneles falló para energías de impacto menores a 240 J.

Tabla 2.10: Energía de impacto para rotura en muros con estructura de madera.

N° ensayo	Energía de impacto para rotura [J]				
	MI-2x3-9	MS-2X3-9	MS-2X3-11	MS-2X4-9	MS-2X4-11
1	477	278	318	477	238
2	477	477	199	477	477
3	477	477	358	437	477
Promedio	477	411	292	464	397
Desv. estándar	0	115	83	23	138
Coef. de variación	0,00	0,28	0,28	0,05	0,35

Tabla 2.11: Desplazamiento lateral para energía de impacto para rotura en muros con estructura de madera.

N° ensayo	Desplazamiento lateral para energía de impacto de rotura [mm]				
	MI-2x3-9	MS-2X3-9	MS-2X3-11	MS-2X4-9	MS-2X4-11
1	58,00	46,00	60,00	46,00	38,00
2	67,00	60,00	52,00	53,00	50,00
3	56,00	67,00	67,00	42,00	55,00
Promedio	60,33	57,67	59,67	47,00	47,67
Desv. estándar	5,86	10,69	7,51	5,57	8,74
Coef. de variación	0,10	0,19	0,13	0,12	0,18

La tipología MI-2x3-9 no presentó daño en los muros ensayados para energías de impacto de 477 J. Por otro lado, las tipologías MS-2x3-9 y MS-2x3-11 en general presentaron fallas por flexotensión del pie derecho central para diferentes niveles de energía de impacto (ver figura 2.26). Finalmente las tipologías MS-2x4-9 y MS-2x4-11 presentaron fallas por desclavo del pie derecho central y la placa OSB (ver figura 2.27).

Figura 2.26: Modo de falla característico en ensayo de impacto en cara con placa arriostrante de muros con estructura de madera de pie derechos de 45x69 mm.

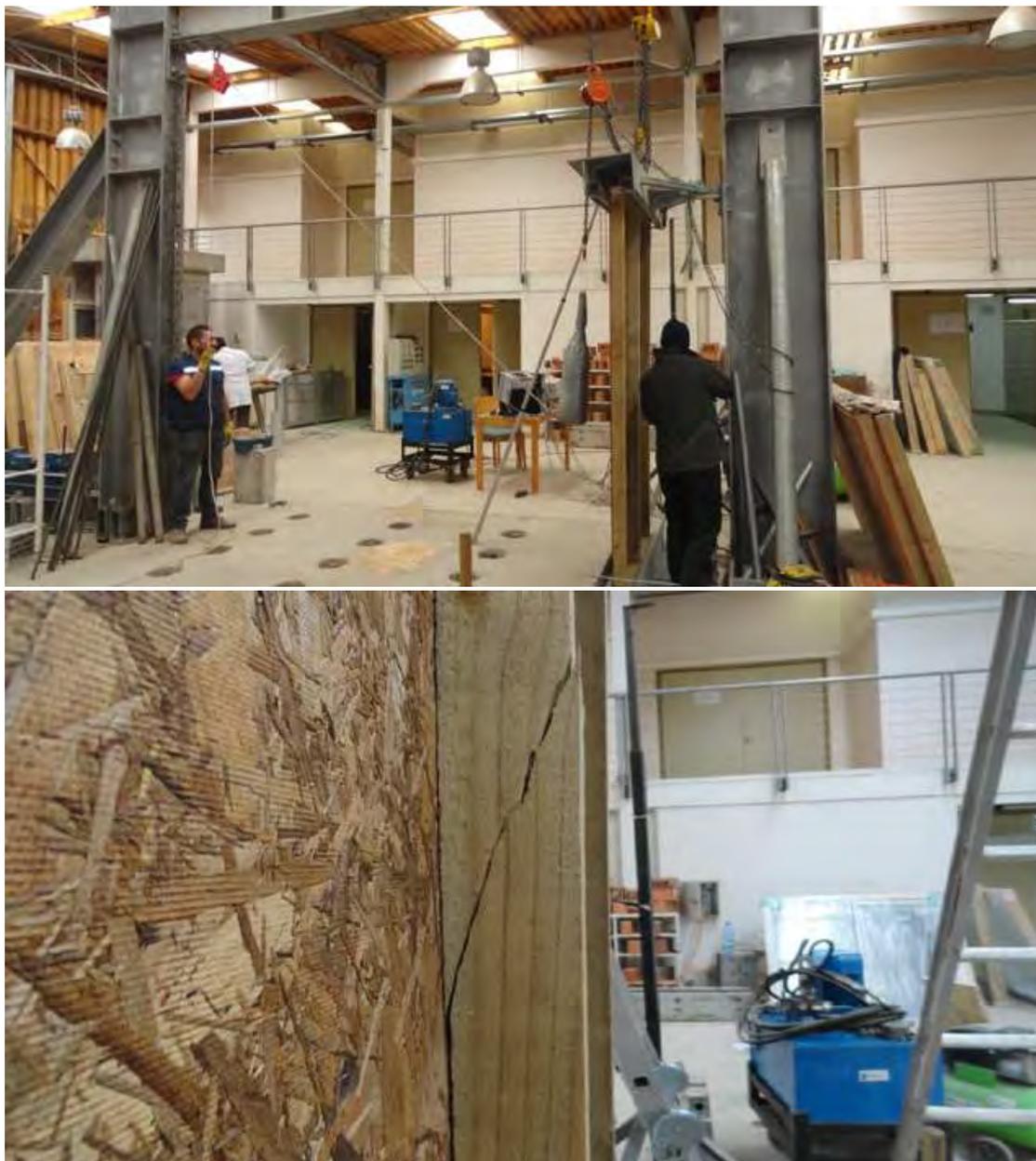


Figura 2.27: Modo de falla característico en ensayo de impacto en cara con placa arriostrante de muros con estructura de madera de pie derechos de 45x94 mm.



2.2.5 Cargas admisibles para el diseño estructural

Utilizando los resultados de los ensayos de carga vertical y carga horizontal en muros con estructura de madera se determinó la capacidad admisible en compresión y capacidad admisible en corte respectivamente para cada tipología de muro, información necesaria para el diseño estructural.

Las capacidades admisibles en compresión se determinaron a partir de los valores del percentil del 5%, considerando un nivel de confianza estadística del 75% y asumiendo la normalidad de los datos experimentales. Los valores asociados al percentil 5% fueron divididos por un factor de ajuste de 3,2 especificado para la determinación de propiedades admisibles de elementos comprimidos de madera o derivados de madera (WAGNER, 2009)

Por otra parte, las capacidades admisibles en corte se determinaron según criterios desarrollados en estudios sobre el sistema de construcción norteamericano de muros de madera y basados en ensayos de carga horizontal considerando sistemas de anclaje reales, tal como lo señala la norma ASTM E564: Estándar Practice for Static Load Test for Shear Resistance of Framed Walls for Buildings. Se consideró como capacidad admisible de cada muro ensayado al mínimo valor entre el nivel de carga para una deformación admisible de 1/120 radianes (20 mm), 2/3 del nivel de carga máxima, y la carga correspondiente a 1/2 de la máxima deformación por corte. Dicho valor mínimo fue multiplicado por un factor de corrección de 3/4, el cual toma en consideración el reducido número de ensayos por tipología. Finalmente al conjunto de capacidades admisibles por tipología de muro, se consideró en forma conservadora determinar el límite de exclusión del 5% como valor admisible, asociado a una distribución normal de los datos y con un nivel de confianza del 75% (LEIVA, 1996).

Las capacidades admisibles en compresión y en corte se pueden observar en las tablas 2.12 y 2.13 respectivamente. Estos valores de capacidad admisible se pueden utilizar para las tipologías ensayadas y en forma conservadora para espaciamientos entre pie derechos menores a 60 cm. Además, también en forma conservadora estas capacidades son factibles de ser utilizadas en muros que utilicen cualquier material como revestimiento interior o exterior, siempre que se respeten las especificaciones de los muros ensayados: escuadría y grado estructural de las piezas de madera, tipo y espesor de placa arriostrante, tipo de clavo y esquema de clavado, y sistema de anclaje.



CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MUROS ESTRUCTURALES DE MADERA

Tabla 2.12: Capacidad admisible en compresión de las tipologías de muro ensayadas.

Ensayo	Densidad de carga vertical máxima vertical [kg/m]			
	MP-2X3-9	MP-2X3-11	MP-2X4-9	MP-2X4-11
1	6.642	7.317	13.392	14.483
2	5.900	6.442	17.483	13.292
3	7.033	8.567	14.200	16.342
4	6.717	8.825	14.883	16.575
5	5.633	8.175	14.275	0
Promedio	6.385	7.865	14.847	15.173
Desv. estándar	591	979	1.566	1.565
Capacidad admisible en compresión	1.541	1.706	3.436	3.540

Tabla 2.13: Capacidad admisible en corte de las tipologías de muro ensayadas.

Ensayo	Capacidad admisible en corte [kg/m]			
	MP-2X3-9	MP-2X3-11	MP-2X4-9	MP-2X4-11
1	204	158	238	250
2	169	183	219	208
3	156	179	331	250
4	221	196	204	213
5	175	200	196	233
Promedio	185	183	238	231
Desv. Estándar	27	16	55	20
Percentil 5%	141	156	147	198



2.3 CONCLUSIONES

Para el ensayo de carga vertical, no hay diferencias de resistencia entre los sistemas de anclaje “esparrago” y “perno y escuadra”, ni entre los espesores de placa arriostrante ensayados. Sin embargo, si existe una clara influencia de la escuadría de los pie derechos en la capacidad resistente de los muros a la compresión.

La placa arriostrante OSB es eficiente para evitar el pandeo por compresión de los pie derechos sobre su eje débil, evitando la necesidad de instalar cadenetas u otros tipos de apoyos laterales adicionales.

El sistema de anclaje “perno y escuadra” permite obtener valores de resistencia a las cargas laterales significativamente mayores respecto del sistema de anclaje “esparrago”. Además el aumento de la escuadría de los pie derechos permite también un aumento de la resistencia al corte de los muros; sin embargo el espesor de la placa arriostrante OSB no evidenció un efecto sobre la capacidad resistente.

Existe una ineficiencia del sistema de anclaje “esparrago” para impedir el mecanismo de falla en el borde inferior traccionado de los muros sometidos a cargas laterales.

La resistencia a la flexión de los muros de madera ensayados es afectada por la ubicación de la placa arriostrante respecto a la carga, y por la escuadría de los pie derechos.

Todos los muros ensayados presentan un comportamiento satisfactorio frente a las cargas de impacto, no presentando fallas para energías de impacto menores a 240 J.

Las capacidades admisibles de compresión y corte de muros pueden ser utilizados en forma conservadora para espaciamientos entre pie derechos menores a 60 cm. También pueden ser utilizadas en muros con cualquier material como revestimiento interior o exterior, siempre que se respeten las especificaciones técnicas de las estructuras de muros ensayados.

2.4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍAS DE LA CONSTRUCCIÓN. UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO (CITEC-UBB). 2012a. Informe de Ensayo Carga Horizontal de Paneles. N° Informe 840. Laboratorio del Área de Ingeniería Estructural.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍAS DE LA CONSTRUCCIÓN. UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO (CITEC-UBB). 2012b. Informe de Ensayo Carga Compresión de Paneles. N° Informe 841. Laboratorio del Área de Ingeniería Estructural.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍAS DE LA CONSTRUCCIÓN. UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO (CITEC-UBB). 2012c. Informe de Ensayo Carga Flexión de Paneles. N° Informe 851. Laboratorio del Área de Ingeniería Estructural.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍAS DE LA CONSTRUCCIÓN. UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO (CITEC-UBB). 2012d. Informe de Ensayo Carga Impacto de Paneles. N° Informe 863. Laboratorio del Área de Ingeniería Estructural.

LEIVA, J. 1996. Comportamiento de muros de corte de madera rigidizados mediante tableros de contrachapado bajo la acción de carga horizontal estática y cíclica combinada con carga vertical en su propio plano. Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias. Facultad de Ciencias, Universidad de Santiago de Chile.

WAGNER, M. 2009. Comportamiento estructural de tabiquerías de madera aserrada revestida con tableros de materiales de madera, fibro-cemento y yeso-cartón. Apuntes curso CI52J Construcciones de madera. Depto. de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.



2.5 ANEXOS CARACTERIZACIÓN MECÁNICA MUROS DE MADERA

2.5.1 Capacidad admisible en compresión

Se exponen las pruebas de bondad de ajuste “Kolmogov-Sminov” para una distribución Normal de los datos de carga máxima en compresión. El análisis de datos se realizó con el programa estadístico *XLSTAT 2012*.

XLSTAT 2012.5.01 - Ajuste de una distribución - el 18-03-2013 a 16:08:09

Datos: Libro = Libro1 / Hoja = Hoja1 / Rango = Hoja1!\$C\$4:\$F\$9 / 5 filas y 4 columnas

Nivel de significación (%): 25

Distribución: Normal

Método de estimación: Momentos

Estadísticas descriptivas:

Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
MP-2X3-9	5	0	5	5633,3	7033,333	6385,000	590,856
MP-2X3-11	5	0	5	6441,7	8825,000	7865,000	979,360
MP-2X4-9	5	0	5	13391,7	17483,33	14846,67	1566,474
MP-2X4-11	5	1	4	13291,7	16575,00	15172,92	1564,869

Ajuste de una distribución (MP-2X3-9):

Parámetros estimados (MP-2X3-9):

Parámetro	Valor
μ	6385,000
sigma	590,856

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MUROS ESTRUCTURALES DE MADERA

Estadísticas estimadas sobre los datos y calculadas utilizando los parámetros estimados de la distribución Normal (MP-2X3-9):

Estadística	Datos	Parámetros
Media	6385,000	6385,000
Varianza	349111,111	349111,111
Asimetría (Pearson)	-0,206	0,000
Curtosis (Pearson)	-2,068	0,000

Prueba de Kolmogorov-Smirnov (MP-2X3-9):

D	0,268
p-valor	0,800
alfa	0,25

Interpretación de la prueba:

H0: La muestra sigue una distribución Normal

Ha: La muestra no sigue una distribución Normal

Como el p-valor calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0,25$, no se puede rechazar la hipótesis nula H0.

Ajuste de una distribución (MP-2X3-11):

Parámetros estimados (MP-2X3-11):

Parámetro	Valor
μ	7865,000
sigma	979,360

Estadísticas estimadas sobre los datos y calculadas utilizando los parámetros estimados de la distribución Normal:

Estadística	Datos	Parámetros
Media	7865,000	7865,000
Varianza	959145,833	959145,833
Asimetría (Pearson)	-0,381	0,000
Curtosis (Pearson)	-1,849	0,000



CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MUROS ESTRUCTURALES DE MADERA

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

D	0,224
p-valor	0,933
alfa	0,25

Interpretación de la prueba:

H0: La muestra sigue una distribución Normal

Ha: La muestra no sigue una distribución Normal

Como el p-valor calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0,25$, no se puede rechazar la hipótesis nula H0.

Ajuste de una distribución (MP-2X4-9):

Parámetros estimados (MP-2X4-9):

Parámetro	Valor
μ	14846,667
sigma	1566,474

Estadísticas estimadas sobre los datos y calculadas utilizando los parámetros estimados de la distribución Normal (MP-2X4-9):

Estadística	Datos	Parámetros
Media	14846,667	14846,667
Varianza	2453840,278	2453840,278
Asimetría (Pearson)	0,770	0,000
Curtosis (Pearson)	-1,236	0,000

Prueba de Kolmogorov-Smirnov (MP-2X4-9):

D	0,291
p-valor	0,713
alfa	0,25

Interpretación de la prueba:

H0: La muestra sigue una distribución Normal

Ha: La muestra no sigue una distribución Normal

Como el p-valor calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0,25$, no se puede rechazar la hipótesis nula H0.



Ajuste de una distribución (MP-2X4-11):

Parámetros estimados (MP-2X4-11):

Parámetro	Valor
μ	15172,917
sigma	1564,869

Estadísticas estimadas sobre los datos y calculadas utilizando los parámetros estimados de la distribución Normal:

Estadística	Datos	Parámetros
Media	15172,917	15172,917
Varianza	2448813,657	2448813,657
Asimetría (Pearson)	-0,172	0,000
Curtosis (Pearson)	-2,230	0,000

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

D	0,272
p-valor	0,874
alfa	0,25

Interpretación de la prueba:

H0: La muestra sigue una distribución Normal

Ha: La muestra no sigue una distribución Normal

Como el p-valor calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0,25$, no se puede rechazar la hipótesis nula H0.

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es de 87,40%.

2.5.2 Capacidad admisible en corte

Se pueden observar las tablas con los valores admisibles determinados bajo los tres criterios descritos en el apartado 2.2.5. Se exponen las pruebas de bondad de ajuste “Kolmogov-Sminov” para una distribución Normal de los datos de carga admisible en corte (carga horizontal). El análisis de datos se realizó con el programa estadístico *XLSTAT 2012*

Capacidad admisible para muro MP-2x3-9

Ensayo	P (h/120)	P (2/3 Pu)	P (D/2)	Padm [kg]	Sadm [kg/m]
1	340	326,666667	370	245	204
2	270	273,333333	300	202,5	169
3	250	260	290	187,5	156
4	450	353	510	265	221
5	350	280	370	210	175
Promedio					185
Desv. Estandar					27
Percentil 5%					141

Capacidad admisible para muro MP-2x3-11

Ensayo	P (h/120)	P (2/3 Pu)	P (D/2)	Padm [kg]	Sadm [kg/m]
1	490	253,333333	510	190	158
2	340	293,333333	360	220	183
3	350	287	360	215	179
4	330	313	470	235	196
5	380	320	400	240	200
Promedio					183
Desv. Estandar					16
Percentil 5%					156

Capacidad admisible para muro MP-2x4-9

Ensayo	P (h/120)	P (2/3 Pu)	P (D/2)	Padm [kg]	Sadm [kg/m]
1	380	433,333333	430	285	238
2	350	353,333333	370	262,5	219
3	530	553	610	397,5	331
4	380	327	390	245	204
5	350	313	360	235	196
Promedio					238
Desv. Estandar					55
Percentil 5%					147



CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MUROS ESTRUCTURALES DE MADERA

Capacidad admisible para muro MP-2x4-11

Ensayo	P (h/120)	P (2/3 Pu)	P (D/2)	Padm [kg]	Sadm [kg/m]
1	450	400	490	300	250
2	400	333,333333	440	250	208
3	510	400	530	300	250
4	400	340	530	255	213
5	430	373	440	280	233
Promedio					231
Desv. Estandar					20
Percentil 5%					198

XLSTAT 2012.5.01 - Ajuste de una distribución - el 18-03-2013 a 16:45:32

Datos: Libro = Libro1 / Hoja = Hoja1 / Rango = Hoja1!\$B\$12:\$E\$17 / 5 filas y 4 columnas

Nivel de significación (%): 25

Distribución: Normal

Método de estimación: Momentos

Estadísticas descriptivas:

Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
MP-2X3-9	5	0	5	156,250	220,833	185,00	26,655
MP-2X3-11	5	0	5	158,333	200,000	183,33	16,404
MP-2X4-9	5	0	5	195,833	331,250	237,50	54,745
MP-2X4-11	5	0	5	208,333	250,000	230,83	19,896

Ajuste de una distribución (MP-2X3-9):

Parámetros estimados (MP-2X3-9):

Parámetro	Valor
μ	185,000
sigma	26,655



CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MUROS ESTRUCTURALES DE MADERA

Estadísticas estimadas sobre los datos y calculadas utilizando los parámetros estimados de la distribución Normal (MP-2X3-9):

Estadística	Datos	Parámetros
Media	185,000	185,000
Varianza	710,503	710,503
Asimetría (Pearson)	0,253	0,000
Curtosis (Pearson)	-1,991	0,000

Prueba de Kolmogorov-Smirnov (MP-2X3-9):

D	0,246
p-valor	0,874
alfa	0,25

Interpretación de la prueba:

H0: La muestra sigue una distribución Normal

Ha: La muestra no sigue una distribución Normal

Como el p-valor calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0,25$, no se puede rechazar la hipótesis nula H0.

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es de 87,44%.

Ajuste de una distribución (MP-2X3-11):

Parámetros estimados (MP-2X3-11):

Parámetro	Valor
μ	183,333
sigma	16,404



CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MUROS ESTRUCTURALES DE MADERA

Estadísticas estimadas sobre los datos y calculadas utilizando los parámetros estimados de la distribución Normal (MP-2X3-11):

Estadístic a	Datos	Parámetros
Media	183,333	183,333
Varianza	269,097	269,097
Asimetría (Pearson)	-0,413	0,000
Curtosis (Pearson)	-1,640	0,000

Prueba de Kolmogorov-Smirnov (MP-2X3-11):

D	0,200
p-valor	0,975
alfa	0,25

Interpretación de la prueba:

H0: La muestra sigue una distribución Normal

Ha: La muestra no sigue una distribución Normal

Como el p-valor calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0,25$, no se puede rechazar la hipótesis nula H0.

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es de 97,51%.

Ajuste de una distribución (MP-2X4-9):

Parámetros estimados (MP-2X4-9):

Parámetr o	Valor
μ	237,500
sigma	54,745



CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MUROS ESTRUCTURALES DE MADERA

Estadísticas estimadas sobre los datos y calculadas utilizando los parámetros estimados de la distribución Normal (MP-2X4-9):

Estadística	Datos	Parámetros
Media	237,500	237,500
Varianza	2996,962	2996,962
Asimetría (Pearson)	0,863	0,000
Curtosis (Pearson)	-1,183	0,000

Prueba de Kolmogorov-Smirnov (MP-2X4-9):

D	0,300
p-valor	0,675
alfa	0,25

Interpretación de la prueba:

H0: La muestra sigue una distribución Normal

Ha: La muestra no sigue una distribución Normal

Como el p-valor calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0,25$, no se puede rechazar la hipótesis nula H0.

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es de 67,51%.

Ajuste de una distribución (MP-2X4-11):

Parámetros estimados (MP-2X4-11):

Parámetro	Valor
μ	230,833
sigma	19,896



CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MUROS ESTRUCTURALES DE MADERA

Estadísticas estimadas sobre los datos y calculadas utilizando los parámetros estimados de la distribución Normal (MP-2X4-11):

Estadística	Datos	Parámetros
Media	230,833	230,833
Varianza	395,833	395,833
Asimetría (Pearson)	-0,088	0,000
Curtosis (Pearson)	-2,184	0,000

Prueba de Kolmogorov-Smirnov (MP-2X4-11):

D	0,232
p-valor	0,914
alfa	0,25

Interpretación de la prueba:

H0: La muestra sigue una distribución Normal

Ha: La muestra no sigue una distribución Normal

Como el p-valor calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0,25$, no se puede rechazar la hipótesis nula H0.

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es de 91,37%.



CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MUROS ESTRUCTURALES DE MADERA



CAPITULO 3: CARACTERIZACIÓN FÍSICO-AMBIENTAL DE MUROS CON ESTRUCTURA DE MADERA



3.1 METODOLOGÍA

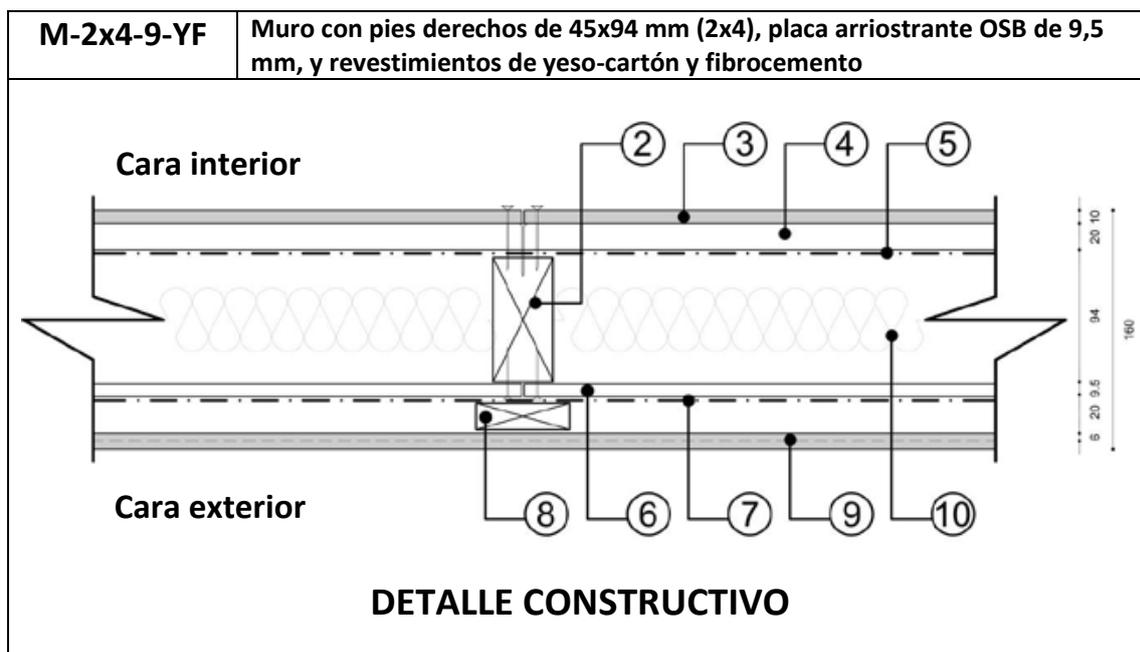
3.1.1 Soluciones constructivas de muros con estructura de madera

Las soluciones constructivas de muros con estructura de madera a ensayar son cuatro, cuyas descripciones se observan en las tablas 3.1 a 3.4.

Tabla 3.1: Descripción solución constructiva de muro con estructura de madera M-2x3-9-YF

M-2x3-9-YF		Muro con pies derechos de 45x69 mm (2x3), placa arriostrante OSB de 9,5 mm, y revestimientos de yeso-cartón y fibrocemento	
<p style="text-align: center;">DETALLE CONSTRUCTIVO</p>			
N°	Elemento	Descripción	
1	Soleras (no mostradas)	Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, su escuadría es de 45x69 mm.	
2	Pie derechos o montantes	Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, su escuadría es de 45x69 mm; separados 600 mm a eje uno de otro.	
3	Cara interior	Revestimiento	Plancha de yeso-cartón "ST" de 10 mm de espesor, fijada con clavos de yeso cartón de 1 5/8", distanciados a 250 mm a lo largo de los separadores horizontales. Sellos de unión entre planchas son con cinta de fibra de vidrio más pasta a base de yeso.
4		Separadores horizontales	Madera cepillada de Pino radiata seca en cámara, de escuadría 20 x 90 mm, colocados en sentido horizontal y distanciados a 400 mm uno de otro.
5		Barrera de vapor	Polietileno translucido de 0,1 mm de espesor.
6	Cara exterior	Placa arriostrante	Placa de madera "OSB" de 9,5 mm de espesor, fijada con clavos helicoidales de 2", distanciados en la zona perimetral a 100 mm y zona central a 200 mm
7		Barrera de humedad	Papel fieltro de 15 lb
8		Separadores verticales	Madera cepillada de Pino radiata seca en cámara, de escuadría 20 x 70 mm, colocados en sentido vertical distanciados a 600 mm uno de otro
9		Revestimiento	Fajas de fibrocemento "Siding" tipo tinglado de 6 x 190 mm, colocadas en sentido horizontal con traslapes de 30 mm, fijado con clavos "Terrano" de 1", distanciados a 600 mm.
10	Aislación		Lana de vidrio de 50 mm de espesor y 14 kg/m ³ de densidad nominal.

Tabla 3.2: Descripción solución constructiva de muro con estructura de madera M-2x4-9-YF



N°	Elemento	Descripción
1	Soleras (no mostradas)	Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, su escuadría es de 45x94 mm.
2	Pie derechos o montantes	Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, su escuadría es de 45x94 mm; separados 600 mm a eje uno de otro.
3	Cara interior	Revestimiento Plancha de yeso-cartón "ST" de 10 mm de espesor, fijada con clavos de yeso cartón de 1 5/8", distanciados a 250 mm a lo largo de los separadores horizontales. Sellos de unión entre planchas son con cinta de fibra de vidrio más pasta a base de yeso.
4		Separadores horizontales Madera cepillada de Pino radiata seca en cámara, de escuadría 20 x 90 mm, colocados en sentido horizontal y distanciados a 400 mm uno de otro.
5		Barrera de vapor Polietileno traslucido de 0,1 mm de espesor.
6	Cara exterior	Placa arriostrante Placa de madera "OSB" de 9,5 mm de espesor, fijada con clavos helicoidales de 2", distanciados en la zona perimetral a 100 mm y zona central a 200 mm
7		Barrera de humedad Papel fieltro de 15 lb
8		Separadores verticales Madera cepillada de Pino radiata seca en cámara, de escuadría 20 x 70 mm, colocados en sentido vertical distanciados a 600 mm uno de otro
9		Revestimiento Fajas de fibrocemento "Siding" tipo tinglado de 6 x 190 mm, colocadas en sentido horizontal con traslapos de 30 mm, fijado con clavos "Terrano" de 1", distanciados a 600 mm.
10	Aislación	Lana de vidrio de 50 mm de espesor y 14 kg/m ³ de densidad nominal.

Tabla 3.3: Descripción solución constructiva de muro con estructura de madera M-2x3-11-MM

M-2x3-11-MM		Muro con pies derechos de 45x69 mm (2x3), placa arriostrante OSB de 11,1 mm, y revestimientos de madera tinglada y madera.	
<p style="text-align: center;">DETALLE CONSTRUCTIVO</p>			
N°	Elemento	Descripción	
1	Soleras (no mostradas)	Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, su escuadría es de 45x69 mm.	
2	Pie derechos o montantes	Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, su escuadría es de 45x69 mm; separados 600 mm a eje uno de otro.	
3	Cara interior	Revestimiento o	Tablas de madera tinglada de Pino radiata seca en cámara, de 14 x 115 mm (14 mm de espesor en zona de tinglado), colocadas en sentido vertical y fijado con clavos "Terrano" de 1".
4		Separadores horizontales	Madera cepillada de Pino radiata seca en cámara, de escuadría 20 x 90 mm, colocados en sentido horizontal y distanciados a 400 mm uno de otro.
5		Barrera de vapor	Polietileno traslucido de 0,1 mm de espesor.
6	Cara exterior	Placa arriostrante	Placa de madera "OSB" de 11,1 mm de espesor, fijada con clavos helicoidales de 2", distanciados en la zona perimetral a 100 mm y zona central a 200 mm
7		Barrera de humedad	Papel fieltro de 15 lb
8		Separadores verticales	Madera cepillada de Pino radiata seca en cámara, de escuadría 20 x 70 mm, colocados en sentido vertical distanciados a 600 mm uno de otro
9	Revestimiento o	Fajas de madera cepillada de Pino radiata seca en cámara, de escuadría 20 x 115 mm, colocadas en sentido horizontal con traslapes de 30 mm y su fijación es con clavos helicoidales de 2".	
10	Aislación	Lana de vidrio de 50 mm de espesor y 14 kg/m ³ de densidad nominal.	

Tabla 3.4: Descripción solución constructiva de muro con estructura de madera M-2x4-11-MM.

M-2x4-11-MM		Muro con pies derechos de 45x94 mm (2x4), placa arriostrante OSB de 11,1 mm, y revestimientos de madera tinglada y madera.	
<p style="text-align: center;">DETALLE CONSTRUCTIVO</p>			
N°	Elemento	Descripción	
1	Soleras (no mostradas)	Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, su escuadría es de 45x94 mm.	
2	Pie derechos o montantes	Madera aserrada estructural G2 de Pino radiata impregnada y seca en cámara, su escuadría es de 45x94 mm; separados 600 mm a eje uno de otro.	
3	Cara interior	Revestimiento	Tablas de madera tinglada de Pino radiata seca en cámara, de 14 x 115 mm (14 mm de espesor en zona de tinglado), colocadas en sentido vertical y fijado con clavos "Terrano" de 1".
4		Separadores horizontales	Madera cepillada de Pino radiata seca en cámara, de escuadría 20 x 90 mm, colocados en sentido horizontal y distanciados a 400 mm uno de otro.
5		Barrera de vapor	Polietileno traslucido de 0,1 mm de espesor.
6	Cara exterior	Placa arriostrante	Placa de madera "OSB" de 11,1 mm de espesor, fijada con clavos helicoidales de 2", distanciados en la zona perimetral a 100 mm y zona central a 200 mm
7		Barrera de humedad	Papel fieltro de 15 lb
8		Separadores verticales	Madera cepillada de Pino radiata seca en cámara, de escuadría 20 x 70 mm, colocados en sentido vertical distanciados a 600 mm uno de otro
9		Revestimiento	Fajas de madera cepillada de Pino radiata seca en cámara, de escuadría 20 x 115 mm, colocadas en sentido horizontal con traslapos de 30 mm y su fijación es con clavos helicoidales de 2".
10	Aislación	Lana de vidrio de 50 mm de espesor y 14 kg/m ³ de densidad nominal.	

3.1.2 Metodología de cálculo y ensayos

La caracterización físico-ambiental de los muros con estructura de madera se realizó mediante la realización de cálculos térmicos, y ensayos de resistencia al fuego y aislación acústica.

3.1.2.1 Cálculos térmicos

El método de cálculo empleado fue el descrito en la norma chilena NCh 853.of2007: Acondicionamiento térmico - Envoltente térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas. Se obtuvieron las resistencias térmicas totales (R_t) y las transmitancias térmicas (U) para las cuatro soluciones de muros.

Las conductividades térmicas de los materiales que conforman las soluciones constructivas de muros con estructura de madera, se obtuvieron de los valores que aparecen en el Manual de Aplicación de la Reglamentación Térmica (MART) y en la norma chilena NCh 853.of2007.

3.1.2.2 Ensayo de resistencia al fuego

Los ensayos de resistencia al fuego se realizaron en el *Laboratorio de Incendios del Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales de la Universidad de Chile (IDIEM)*. Los equipos e instrumentos utilizados en el laboratorio se describen en la tabla 3.5.

El método de ensayo empleado fue el descrito en la norma chilena NCh 935/1of.97, el cual consiste en exponer el elemento a ensayar por una de sus caras al calor de un incendio normalizado.

La figura 3.1 muestra la fabricación de las probetas, mientras que en la figura 3.2 se expone la implementación del ensayo de resistencia al fuego.

Tabla 3.5: Equipos e instrumentos del Laboratorio de Incendios del IDIEM.

Equipo	Características
Horno de ensayo	Horno construido con paredes interiores de ladrillo refractario, enchapadas en acero, con una boca vertical abierta para el montaje de las probetas.
Sistema mecánico de carga	Permite aplicar una carga de hasta 120 kg/m sobre el elemento a ensayar
Termocuplas Chromel-Alumel	Para el registro y monitoreo de la temperatura al interior del horno, dispuestas simétricamente a 10 cm de la cara de la probeta
Sensor infrarrojo tipo pistola	Para medir la temperatura de la cara no expuesta de la probeta
Manómetro diferencial	Monómetro de columna de agua para medir la sobrepresión al interior del horno



Figura 3.1: Fabricación de probetas para ensayo de resistencia al fuego.



(a) Conformación de la estructura del muro con pie derechos y placa arriostrante.



(b) Instalación de lana de vidrio como material aislante térmico.



(c) Instalación de madera tinglada como revestimiento interior.



(d) Instalación de fajas de fibrocemento como revestimiento exterior.

Figura 3.2: Implementación del ensayo de resistencia al fuego de muros con estructura de madera.



3.1.2.3 Ensayo de aislación acústica

Las mediciones acústicas se realizaron en el *Laboratorio de Pérdida de Transmisión Sonora del Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales de la Universidad de Chile (IDIEM)*. El laboratorio de ensayo está constituido por dos recintos adyacentes, denominados recinto emisor y recinto receptor; ambos recintos son separados por el elemento (muro) bajo prueba, montado en un marco de hormigón adosado a la estructura del laboratorio. Las dimensiones del vano de prueba son 3,5 m de largo y 2,7 m de alto. Los equipos e instrumentos utilizados para la realización del ensayo fueron los siguientes:

- Sonómetro Larson Davis 824
- Calibrador de nivel sonoro Larson Davis CAL 200
- Generador de ruido Larson Davis SRC20
- Caja activa JBL EON 15 800W
- Ecuilizador DOD SR231 QXLR
- Termohigrómetro Veto

El Objetivo del ensayo fue determinar el índice de reducción acústica aparente de acuerdo a lo establecido en la norma NCh 2785.of2003 y el índice de reducción acústica ponderado de acuerdo a la norma ISO 717-1:1996.

La fabricación de las probetas a ensayar se puede observar en la figura 3.3, mientras que la implementación del ensayo de aislación acústica se muestra en la figura 3.4.

Figura 3.3: Fabricación de las probetas para el ensayo de aislación acústica.



(a) Instalación de placa arriostrante OSB en la estructura de madera aserrada



(b) Instalación de separadores horizontales sobre la barrera de vapor (cara interior)

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MUROS ESTRUCTURALES DE MADERA



(c) Instalación de placas de yeso-cartón como revestimiento interior



(d) Instalación de fajas de madera cepillada como revestimiento exterior

Figura 3.4: Implementación del ensayo de aislación acústica de muros con estructura de madera.



3.2 RESULTADOS

3.2.1 Comportamiento térmico

La transmitancia térmica (U) es el flujo de calor que pasa por unidad de superficie de un elemento y por grado de diferencia de temperatura entre los dos ambientes separados por dicho elemento (MINVU-IC, 2006), en tanto la resistencia térmica total (Rt) corresponde al valor recíproco de U, y se interpreta como la resistencia al paso de calor que opone el elemento constructivo.

Los valores de U y Rt, calculados en base a la norma NCh 853, para las cuatro tipologías de muros con estructura de madera se observan en la tabla 3.6. Los valores térmicos indican que al aumentar la escuadría de los pies derechos de 45x69 mm (2x3) a 45x94mm, para las tipologías con los mismos revestimientos, mejora la aislación térmica del muro en un 3%. Además se aprecia que el muro con pies derechos de 45x94 mm, placa arriostrante OSB de 11,1 mm y revestimientos de madera tinglada y madera cepillada presenta el mejor valor de transmitancia térmica.

El artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) establece 7 zonas térmicas para el país, con exigencias de valores U y Rt para complejos de muros, techumbre y pisos ventilados. En la tabla 3.7 se observan las exigencias térmicas para muros en todas las zonas térmicas de Chile. Al comparar los valores exigidos por la OGUC se puede concluir que las tipologías de muros con estructura de madera y revestimientos de yeso-cartón y fibrocemento (M-2x3-9-YF y M-2x4-9-YF) cumplen con la exigencia de la zona térmica 1 a la zona térmica 6; en tanto los muros con estructura de madera y revestimiento de madera tinglada y madera cepillada (M-2X3-11-MM y M-2X4-11-MM) cumplen con la exigencia térmica en todas las zonas del país.

Tabla 3.6: Valores de transmitancias y resistencias térmicas totales de los muros con estructura de madera.

Tipología de Muro	U [W/m ² K]	Rt [m ² K/W]
M-2x3-9-YF	0,64	1,57
M-2X4-9-YF	0,62	1,62
M-2X3-11-MM	0,60	1,68
M-2X4-11-MM	0,58	1,72



CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MUROS ESTRUCTURALES DE MADERA

Tabla 3.7: Exigencia térmica para muros perimetrales en Chile.

Zona Térmica	Algunas localidades representativas de cada zona térmica	Máximo valor de U [W/m ² K]	Mínimo valor de Rt [m ² K/W]
1	Arica, Iquique, Antofagasta, Chañaral, Copiapó, Vallenar, Coquimbo, La Serena, Isla de Pascua.	4,0	0,25
2	Calama, San Pedro de Atacama, Illapel, Andacollo, Ovalle, La Ligua, Zapallar, Quillota, Cartagena, San Antonio, San Felipe, Valparaíso, Viña del Mar, Villa Alemana, Juan Fernández.	3,0	0,33
3	Santiago, Los Andes, Marchihue, Pichilemu, San Fernando, Santa Cruz, Doñihue, Graneros, Rancagua, Rengo.	1,9	0,53
4	Cauquenes, Curicó, Molina, Colbún, Linares, Parral, Constitución, Maule, San Clemente, Talca, Chiguayante, Coronel, Lota, Talcahuano, Chillán, Arauco, Los Alamos, Cabrero, Los Ángeles, Yumbel, Concepción.	1,7	0,59
5	Antuco, Loncoche, Temuco, Padre Las Casas, Toltén, Villarrica, Collipulli, Victoria, Osorno, Futrono, La Unión, Panguipulli, Valdivia	1,6	0,63
6	Pucón, Lonquimay, Ancud, Castro, Quellón, Calbuco, Frutillar, Puerto Montt, Puerto Varas, Lago Ranco,	1,1	0,91
7	Putre, Futaleufú, Palena, Aisén, Cochrane, O'Higgins, Coyhaique, Chile Chico, Río Ibañez, Punta Arenas, Porvenir, Torres del Paine, Antártica	0,6	1,67



3.2.2. Comportamiento frente al fuego

La resistencia al fuego de un elemento se expresa como el tiempo en minutos desde el comienzo del ensayo hasta que dejan de cumplirse las condiciones relativas a capacidad de soporte de carga, aislamiento térmico, estanquidad, y no emisión de gases inflamables (INN, 1997). Dichas condiciones para determinar la resistencia al fuego son las siguientes:

- Capacidad de soporte de carga: Instante en que el elemento no puede seguir cumpliendo la función de soporte de carga para el cual fue diseñado.
- Aislamiento térmico: Instante en que la temperatura de la cara no expuesta al fuego alcanza una máxima puntual de 180 °C, o una temperatura promedio del elemento de 140 °C, por sobre la temperatura ambiente registrada al inicio del ensayo; o si sobrepasa los 220 °C cualquiera sea la temperatura inicial.
- Estanquidad: Instante en que una llama o gases a alta temperatura, se filtra por la uniones o por grietas o fisuras formadas durante el ensayo, y se sostiene por 10 o más segundos. En caso de filtración de gases, hay pérdida de estanquidad si al colocar una mota de algodón en la filtración, esta enciende.
- Emisión de gases inflamables: Instante en que los gases emitidos por la cara no expuesta arden al aproximar una llama cualquiera y continúan espontáneamente ardiendo al menos durante 20 segundos de retirada la llama.

Finalmente, el elemento ensayado debe clasificarse en una “clase F” dependiendo del tiempo de resistencia al fuego que presente (Ver tabla 3.8).

Tabla 3.8: Clasificación de elementos de construcción sometidos a ensayo de resistencia al fuego.

Clase F	Duración del ensayo en minutos	
	≥	<
F0	0	15
F15	15	30
F30	30	60
F60	60	90
F90	90	120
F120	120	150
F150	150	180
F180	180	240
F 240	240	

Fuente: INN, 1997.



CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MUROS ESTRUCTURALES DE MADERA

La tipología de muro con pies derechos de 45x69 mm, placa arriostrante OSB de 9,5 mm de espesor y revestimientos de yeso-cartón y fibrocemento (M-2x3-9-YF), presentó una resistencia al fuego de 28 minutos, clasificándose según la NCh 935/1 Of.97 en la clase F15. La falla del muro se presentó por aislamiento térmico, evidenciando una temperatura puntual máxima de 208 °C en la cara no expuesta al fuego a 28 minutos de iniciado el ensayo (la temperatura ambiente al inicio del ensayo fue de 28 °C). La figura 3.5 muestra el muro M-2x3-9-YF durante el ensayo de resistencia al fuego.

En tanto, la tipología de muro con pies derechos de 45x94 mm, placa arriostrante OSB de 9,5 mm de espesor y revestimientos de yeso-cartón y fibrocemento (M-2x4-9-YF), presentó una resistencia al fuego de 30 minutos, clasificándose según la NCh 935/1 Of.97 en la clase F30. La falla que el muro presentó fue también por aislamiento térmico, observando una temperatura puntual máxima admisible de 205 °C en la cara no expuesta al fuego a 30 minutos de iniciado el ensayo (la temperatura ambiente al inicio del ensayo fue de 25 °C). La figura 3.6 muestra el comportamiento del muro M-2x4-9-YF durante el ensayo de resistencia al fuego.

En cuanto al muro con pies derechos de 45x69 mm, placa arriostrante OSB de 11,1 mm de espesor, y revestimientos de madera tinglada y madera cepillada (M-2x3-11-MM), este presentó una resistencia al fuego de 33 minutos y se clasifica como clase F30 (NCh 935/1 Of.97). La falla se evidenció por la emisión de gases inflamables en la zona central de la cara no expuesta del muro, a los 33 minutos de iniciado el ensayo. La figura 3.7 muestra el comportamiento del muro M-2x3-11-MM durante el ensayo de resistencia al fuego.

Finalmente el muro con pies derechos de escuadría 45x94 mm, placa arriostrante OSB de 11,1 mm de espesor y revestimientos de madera tinglada y madera cepillada (M-2x4-11-MM), evidenció una resistencia al fuego de 26 minutos, clasificándose como clase F15 (NCh 935/1 Of.97). Esta tipología presentó problemas de estanquidad a las llamas al minuto 26 de iniciado el ensayo, produciéndose la falla en el traslape de las fajas de madera cepillada tipo “siding” dispuestas horizontalmente. La figura 3.8 muestra el comportamiento del muro M-2x4-11-MM durante el ensayo de resistencia al fuego.

La tabla 3.9 presenta un resumen de los resultados de resistencia al fuego de las cuatro tipologías de muros ensayadas. Las tipologías de muros con resistencia al fuego clase F15 (M-2x3-9-YF y M-2x4-11-MM), pueden ser utilizadas en viviendas económicas o sociales de hasta 140 m² de superficie. En tanto las tipologías de muro con resistencia al fuego clasificada F30 pueden ser utilizadas en cualquier tipo de edificio habitacional, de cualquier superficie, de hasta 2 pisos.

Tabla 3.9: Resultados de resistencia al fuego de los muros con estructura de madera ensayados.

Tipología de muro	Resistencia al fuego [minutos]	Clase F
M-2x3-9-YF	28	F15
M-2x4-9-YF	30	F30
M-2x3-11-MM	33	F30
M-2x4-11-MM	26	F15



Figura 3.5: Muro M-2x3-9-YF durante el ensayo de resistencia al fuego.



Figura 3.6: Muro M-2x4-9-YF durante el ensayo de resistencia al fuego.



Figura 3.7: Muro M-2x3-11-MM durante el ensayo de resistencia al fuego.



Figura 3.8: Muro M-2x4-11-MM durante el ensayo de resistencia al fuego.



3.2.3. Comportamiento acústico

Se define como aislación acústica de un elemento que separa dos ambientes, a la diferencia entre el nivel sonoro ambiente del lugar en el cual el sonido es emitido y el nivel sonoro ambiente del recinto en el cual ese sonido es percibido. Por ejemplo, si el nivel de ruido exterior es de 70 decibeles y el ruido al interior de una vivienda es de 40 decibeles, entonces la aislación acústica o índice de reducción acústica de la envolvente de la vivienda es de 30 decibeles (ver esquema de la figura 3.9) (COLONELLI y RODRIGUEZ, 2007).

El nivel de intensidad acústica se mide en decibeles (dB), sin embargo cuando los instrumentos empleados en los ensayos imitan la sensibilidad del oído humano se dice que miden en decibeles "A" (dBA).

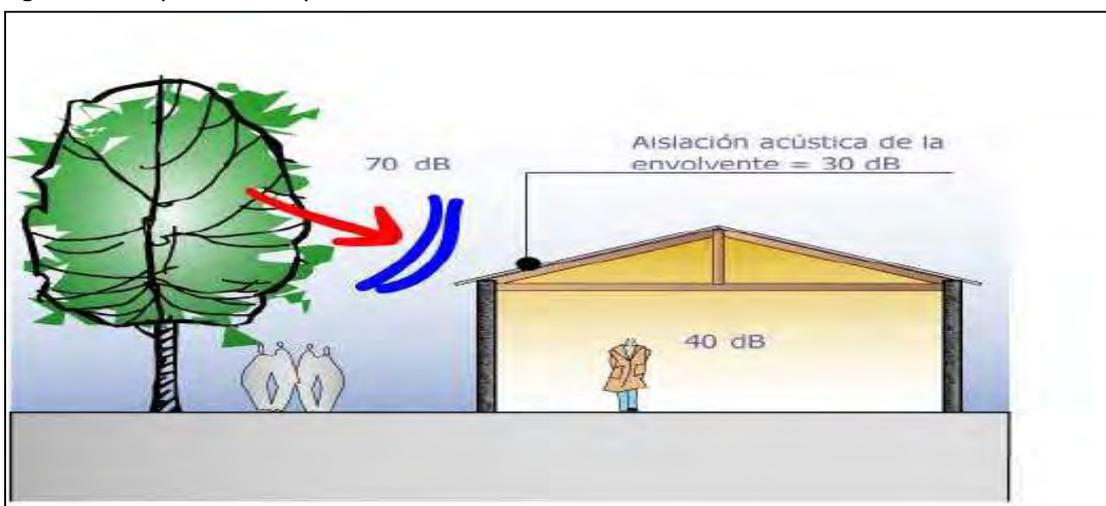
Los índices de reducción acústica ponderados, y ajustados a la percepción del oído humano obtenidos para las cuatro soluciones constructivas de muro con estructura de madera se muestran en la tabla 3.10; donde se puede observar que para las tipologías de muro con revestimientos de yeso-cartón y fibrocemento (M-2x3-9-YF y M-2x4-9-YF), el aumento de escuadría de los pies derechos de 45x69 mm (2x3) a 45x94 mm (2x4) significó un aumento de 2 dBA en aislación acústica. Por otra parte los muros con revestimientos de madera tinglada y madera cepillada (M-2x3-11-MM y M-2x4-11-MM) con escuadrías de 45x69 mm y 45x94 mm no evidenciaron diferencias en su índice de reducción acústica en dBA.

Actualmente en el país no existen exigencias de nivel de aislación acústica para muros perimetrales, sin embargo la norma chilena NCh 352/1.Of2000 recomienda valores de aislación que deberían presentar estos elementos en función del nivel de ruido al exterior de la vivienda, tal como aparece en la tabla 3.11.

Según la recomendación de la norma NCh 352/1, se puede determinar que las cuatro tipologías de muro perimetral con estructura de madera presentan un alto nivel de aislación acústica, permitiendo su utilización en ambientes con ruido exterior de hasta 82 dBA, equivalentes al ruido aéreo que se producen en calles de alto tráfico o el funcionamiento de una industria.



Figura 3.9: Esquema concepto de aislación acústica de una vivienda frente a ruido exterior.



Fuente: COLONELLI y RODRIGUEZ, 2007.

Tabla 3.10: Índice de aislación acústica obtenidos para los muros con estructura de madera.

Tipología de muro	Índice de reducción acústica ponderado [dB]	Índice de reducción acústica ajustado [dBA]
M-2x3-9-YF	43	40
M-2x4-9-YF	45	42
M-2x3-11-MM	40	38
M-2x4-11-MM	39	38

Tabla 3.11: Valores de aislación acústica recomendados por normativa chilena para muros perimetrales

Ruido exterior		Aislación mínima [dBA]
Nivel Equivalente Diurno ⁵ (NED) [dBA]	Ruidos exterior usual	
≤ 60	Calle sector residencial	20
61-65		25
66-70	Calle con tráfico moderado	30
71-75		35
≥ 75	Calle con alto tráfico, martillo neumático, industrias y comercio.	NED-40

Fuente: INN, 2000.

⁵ NED es el nivel de ruido equivalente medido al exterior de la fachada evaluada durante periodos de tiempo que consideran la actividad diurna característica del lugar

3.3 CONCLUSIONES

La tipología de muro con pies derechos de 45x69 mm, placa arriostrante OSB de 9,5 mm de espesor y revestimientos de yeso-cartón y fibrocemento (M-2x3-9-YF), presentó una transmitancia térmica de 0,64 W/m²K, una clasificación F15 de resistencia al fuego y un nivel de aislamiento acústico de 40 dBA; por lo que esta tipología puede ser usada en viviendas económicas o sociales de hasta 140 m² de superficie, emplazadas entre las zona térmica 1 y la zona térmica 6.

La tipología de muro con pies derechos de 45x94 mm, placa arriostrante OSB de 9,5 mm de espesor y revestimientos de yeso-cartón y fibrocemento (M-2x4-9-YF), presentó una transmitancia térmica de 0,62 W/m²K, una clasificación F30 de resistencia al fuego y un nivel de aislamiento acústico de 42 dBA; por lo que esta tipología puede ser usada en edificios habitacionales de cualquier superficie de hasta dos pisos de altura, emplazados entre las zona térmica 1 y la zona térmica 6.

El muro con pies derechos de 45x69 mm, placa arriostrante OSB de 11,1 mm de espesor, y revestimientos de madera tinglada y madera cepillada (M-2x3-11-MM), presentó una transmitancia térmica de 0,60 W/m²K, una clasificación F30 de resistencia al fuego, y un nivel de aislamiento acústico de 38 dBA; por lo que esta tipología puede ser usada en edificios habitacionales de cualquier superficie de hasta 2 pisos de altura, emplazados en cualquiera de las zonas térmicas del país.

El muro con pies derechos de escuadría 45x94 mm, placa arriostrante OSB de 11,1 mm de espesor y revestimientos de madera tinglada y madera cepillada (M-2x4-11-MM), presentó una transmitancia térmica de 0,58 W/m²K, una clasificación F15 de resistencia al fuego, y un nivel de aislamiento acústico de 38 dBA; por lo que esta tipología puede ser usada en viviendas económicas o sociales de hasta 140 m² de superficie, emplazadas en cualquiera de las zonas térmicas del país.



3.4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN DE ESTRUCTURAS Y MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE (IDIEM). 2012. Informe de ensayo de aislamiento acústico. N° Informe 796.180-A1/2012. Laboratorio Acústico.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN DE ESTRUCTURAS Y MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE (IDIEM). 2012. Informe de ensayo de aislamiento acústico. N° Informe 796.180-A2/2012. Laboratorio Acústico.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN DE ESTRUCTURAS Y MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE (IDIEM). 2012. Informe de ensayo de aislamiento acústico. N° Informe 796.180-A3/2012. Laboratorio Acústico.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN DE ESTRUCTURAS Y MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE (IDIEM). 2012. Informe de ensayo de aislamiento acústico. N° Informe 796.180-A4/2012. Laboratorio Acústico.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN DE ESTRUCTURAS Y MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE (IDIEM). 2012. Informe de ensayo de resistencia al fuego. N° Informe 796.180-3. Laboratorio de Incendios.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN DE ESTRUCTURAS Y MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE (IDIEM). 2012. Informe de ensayo de resistencia al fuego. N° Informe 796.180. Laboratorio de Incendios.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN DE ESTRUCTURAS Y MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE (IDIEM). 2012. Informe de ensayo de resistencia al fuego. N° Informe 796.180-1. Laboratorio de Incendios.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN DE ESTRUCTURAS Y MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE (IDIEM). 2012. Informe de ensayo de resistencia al fuego. N° Informe 796.180-2. Laboratorio de Incendios.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN DE ESTRUCTURAS Y MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE (IDIEM). 2012. Informe de ensayo de resistencia al fuego. N° Informe 796.180-3. Laboratorio de Incendios.

COLONELLI, P., RODRIGUEZ, G. 2007. Ruidos en viviendas. Proyecto Fondef D0011039 Bienestar habitacional. Fundación Chile.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). 1997. Norma chilena oficial NCh 935/1.Of97: Prevención de incendio en edificios – Ensayo de Resistencia al fuego – Parte 1: Elementos de construcción en general.



INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). 2000. Norma chilena oficial NCh352/1.Of2000: Aislación acústica – Parte 1: Construcciones de uso habitacional – Requisitos mínimos y ensayos.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). 2007. Norma chilena oficial NCh 853.of2007: Acondicionamiento térmico - Envoltura térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas.

MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO – INSTITUTO DE LA CONSTRUCCIÓN (MINVU-IC). 2006. Manual de aplicación reglamentación térmica: Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones artículo 4.1.10.



3.5 ANEXOS CARACTERIZACIÓN FÍSICO-AMBIENTAL MUROS DE MADERA

3.5.1 Cálculos térmicos de muros

Se exponen tablas con los cálculos de resistencias y transmitancias térmicas basados en la norma chilena NCh 853.of2007.

Muro M-2X3-9-YF		espesor [m]	Cond. térmica [W/m°C]	R [m ² C/W]	Rt [m ² C/W]	U [W/m ² C]	% Superficie	U Ponderado [W/m ² C]	Rt Ponderado [m ² C/W]
Zona Aislación	Rse	--	--	0					
	Panel OSB	0,0095	0,106	0,090					
	Lana de vidrio	0,05	0,04	1,250					
	Cámara de aire NV	0,055	-	0,160	1,661	0,6	89%		
	Yeso cartón	0,01	0,24	0,042					
	Rsi	--	--	0,12				0,64	1,57
Zona puente térmico	Rse	--	--	0,00					
	Panel OSB	0,0095	0,106	0,090					
	Pino Radiata	0,069	0,104	0,663					
	Yeso cartón	0,01	0,24	0,042	1,075	0,93	11%		
	Cámara de aire NV	0,055	-	0,160					
	Rsi	--	--	0,12					

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MUROS ESTRUCTURALES DE MADERA

Muro M-2X4-9-YF		espesor [m]	Cond. térmica [W/m°C]	R [m ² C/W]	Rt [m ² C/W]	U [W/m ² C]	% Superficie	U Ponderado [W/m ² C]	Rt Ponderado [m ² C/W]
Zona Aislación	Rse	--	--	0,00	1,661	0,60	89%	0,62	1,62
	Panel OSB	0,0095	0,106	0,090					
	Lana de vidrio	0,05	0,04	1,250					
	Cámara de aire NV	0,055	-	0,160					
	Yeso cartón	0,01	0,24	0,042					
	Rsi	--	--	0,12					
	Zona puente térmico	Rse	--	--					
Panel OSB	0,0095	0,106	0,09						
Pino Radiata	0,094	0,104	0,90						
Yeso cartón	0,01	0,24	0,04						
Cámara de aire NV	0,06	-	0,16						
Rsi	--	--	0,12						

Muro M-2X3-11-MM		espesor [m]	Cond. térmica [W/m°C]	R [m ² C/W]	Rt [m ² C/W]	U [W/m ² C]	% Superficie	U Ponderado [W/m ² C]	Rt Ponderado [m ² C/W]
Zona Aislación	Rse	--	--	0,00	1,769	0,57	89%	0,60	1,68
	Panel OSB	0,0111	0,106	0,105					
	Lana de vidrio	0,05	0,04	1,250					
	Cámara de aire NV	0,055	-	0,160					
	Madera tinglada	0,014	0,104	0,135					
	Rsi	--	--	0,12					
	Zona puente térmico	Rse	--	--					
Panel OSB	0,0111	0,106	0,10						
Pino Radiata	0,069	0,104	0,66						
Madera tinglada	0,014	0,104	0,13						
Cámara de aire NV	0,06	-	0,16						
Rsi	--	--	0,12						



CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MUROS ESTRUCTURALES DE MADERA

Muro M-2X4-11-MM		espesor [m]	Cond. térmica [W/m°C]	R [m ² C/W]	Rt [m ² C/W]	U [W/m ² C]	% Superficie	U Ponderado [W/m ² C]	Rt Ponderado [m ² C/W]
Zona Aislación	Rse	--	--	0,00	1,769	0,57	89%	0,58	1,72
	Panel OSB	0,0111	0,106	0,105					
	Lana de vidrio	0,05	0,04	1,250					
	Cámara de aire NV	0,055	-	0,160					
	Madera tinglada	0,014	0,104	0,135					
	Rsi	--	--	0,12					
	Zona puente térmico	Rse	--	--					
Panel OSB	0,0111	0,106	0,10						
Pino Radiata	0,094	0,10	0,90						
Madera tinglada	0,014	0,104	0,13						
Cámara de aire NV	0,06	-	0,16						
Rsi	--	--	0,12						





OFICINA DIAGUITAS

Km 5 costado aeródromo La Florida, La Serena

Fono / Fax: (56-51) 543627

SEDE METROPOLITANA

Sucre 2397, Ñuñoa, Santiago

Fono: (56-2) 23667100. Fax: (56-2) 23667131

SEDE BIO BIO

Camino a Coronel km 7,5, San Pedro de la Paz, Concepción

Fono / Fax: (56-41) 2853260

SEDE VALDIVIA

Fundo Teja Norte s/n, Valdivia

Fono: (56-63) 218968

OFICINA PATAGONIA

Camino Coyhaique Alto km 4, Coyhaique

Fono: (56) 98831860



www.infor.cl



MEMORIA DE CÁLCULO

Calculo de cubierta para sistema de entramado ligero

Contenido

Introducción	1
Propiedades del material.....	1
Metodología de cálculo	3
Introducción	3
Combinaciones de carga para estado límite último en situación normal	3
Combinaciones de carga para estado límite último en situación accidental.....	3
Combinaciones de carga para estado límite de servicio	4
Cálculo de la cubierta	5
Acciones sobre la estructura	5
Acciones de viento	5
Acciones debidas al peso propio	8
Sobrecargas impuestas	8
Combinaciones de carga	8
Combinaciones de carga para estado límite último	8
Combinaciones de carga para estado límite de servicio	10
Combinaciones de carga para estado límite último en el caso de incendio	10
Estabilidad de las vigas de cubierta	10
Verificaciones	10
ELU en situación normal	10
ELS	11
ELU en situación accidental.....	11
Verificaciones considerando pasaje de ventilación	11
Conclusiones.....	11



Gonzalo
Moltini
q.moltini@gmail.com

Introducción

Este documento presenta la memoria de cálculo de seguridad estructural para una cubierta ligera. El material utilizado es *Pinus elliotti/taeda*, se considera que está clasificado visualmente (UNIT 1261:2018) como C14 de acuerdo con la normativa europea EN 338:2016. La memoria de cálculo considera la seguridad estructural en el caso de acciones normales y accidentales (para el caso de incendio), siguiendo el método de los estados límite.

Se toman los métodos y valores de cálculo establecidos por la normativa europea con la excepción de la normativa uruguaya de viento para el cálculo de la velocidad de viento:

- UNIT 50:84 Acción de viento sobre construcciones (1984)
- EN 1990:2002+A1:2005 Bases de diseño estructural (2005)
- EN 1991-1-1:2002 Acciones sobre estructuras. Acciones generales – Densidades, pesos específicos y cargas impuestas para construcciones (2002)
- EN 1991-1-4:2005+A1:2010 Acciones sobre estructuras. Acciones generales – Acciones de viento (2010)
- EN 1995-1-1:2004+A1:2008 Diseño de estructuras de madera. Parte 1-1: General – Reglas comunes y reglas para construcciones (2008)
- EN 1995-1-2:2004 Diseño de estructuras de madera. Parte 1-2: General – Diseño estructural en caso de incendio
- EN 338:2016 Madera Estructural – Clases resistentes (2016)

Propiedades del material

Clase resistente	C14
$f_{m,k}$ (N/mm ²)	14
$f_{t,o,k}$ (N/mm ²)	7.2
$f_{t,90,k}$ (N/mm ²)	0.4
$f_{c,o,k}$ (N/mm ²)	16
$f_{c,90,k}$ (N/mm ²)	2
$f_{v,k}$ (N/mm ²)	3
$E_{m,o,mean}$ (N/mm ²)	7000
$E_{m,o,k}$ (N/mm ²)	4700
$E_{m,90,mean}$ (N/mm ²)	230
G_{mean} (N/mm ²)	440
ρ_{mean} (kg/m ³)	350
ρ_k (kg/m ³)	290



Metodología de cálculo

Introducción

Los cálculos de seguridad estructural se realizan siguiendo el Método de los Estado Límite definidos por la normativa EN 1995-1-1 para madera aserrada.

Combinaciones de carga para estado límite último en situación normal

Las combinaciones en estado límite último ELU, vienen dadas en el apartado 6 de la normativa EN1990:2002+A1:2005.

$$E_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{K,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j}^* G_{K,j}^* + \gamma_{Q,1} Q_{K,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \varphi_{0,i} Q_{K,i}$$

Con G_K el valor de la carga permanente, $Q_{K,1}$ el valor de la carga variable principal, $Q_{K,i}$ el valor de las restantes cargas variables simultaneas, γ es el coeficiente de combinación de las diferentes cargas (ya sean permanentes o variables) y φ el coeficiente de simultaneidad (en este caso no se consideran estados de carga variables simultáneos).

Para verificar el estado límite último, los valores de resistencia de diseño tienen que superar a los valores de las sollicitaciones de diseño.

$$R_D \geq E_D$$

$$R_D = \frac{k_{mod} R_K k_{sys}}{\gamma_M}$$

Con k_{mod} el valor de modificación de la resistencia (en función de la duración de la carga y clase de servicio) en la tabla siguiente se muestran los valores utilizados en esta memoria, R_K el valor de resistencia característico del elemento, k_{sys} el coeficiente de carga compartida (en este caso se considera unitario) y γ_M el coeficiente parcial de seguridad del material (1.3 en el caso de madera aserrada).

Elemento	Duración de la carga	k_{mod}
Madera aserrada	Permanente	0.6
	Corta	0.9

Combinaciones de carga para estado límite último en situación accidental

Las combinaciones se articulan de la misma forma, tomando el factor de combinación de las diferentes (γ) cargas como unitario.

Los valores de cálculo de resistencia se modifican

$$R_D = \frac{k_{mod,fi} R_{20}}{\gamma_{M,fi}}$$

Con $k_{mod,fi}$ tomando el valor unitario para todos los casos (considerando el método de la sección reducida), $R_{20} = k_{fi} R_k$ con $k_{fi} = 1.25$, $\gamma_{M,fi}$ el coeficiente parcial de seguridad en situación de incendio (unitario en este caso).



El cálculo de la sección resultante se realiza según el método de la sección reducida (EN 1995-1-2:2004). La velocidad de carbonización se considera como:

Elemento	β_0 (mm/min)	β_n (mm/min)
Madera aserrada $\rho_k \geq 290 \text{ kg/m}^3$	0.65	0.8

Combinaciones de carga para estado límite de servicio

Los valores de cálculo se toman como:

$$\sum_{j \geq 1} G_{K,j} + Q_{K,1} + \sum_{i > 1} \varphi_{0,i} Q_{K,i}$$

$$\sum_{j \geq 1} G_{K,j} + \varphi_{1,1} Q_{K,1} + \sum_{i > 1} \varphi_{2,i} Q_{K,i}$$

$$\sum_{j \geq 1} G_{K,j} + \sum_{i > 1} \varphi_{2,i} Q_{K,i}$$

Se realizan tres verificaciones de flecha:

1. Integridad de elementos constructivos: La flecha activa se calcula como el efecto instantáneo de las cargas variables en combinación con el efecto diferido de cargas permanentes y variables, es decir, la flecha una vez de la puesta en servicio de la construcción. Esta flecha no debe superar $l/300$. Para el cálculo de la flecha diferida se toma el coeficiente $k_{def} = 0.8$ (Madera aserrada en clase de servicio 2).
2. El confort del usuario: La flecha instantánea no debe superar un valor dado, se calcula a partir de las acciones de las cargas variables. No debe superar $l/350$.
3. Apariencia: La flecha final de la cubierta no debe superar un valor dado. Se consideran tanto los efectos instantáneos como diferidos de todas las cargas.



Cálculo de la cubierta

Acciones sobre la estructura

Acciones de viento

Son de aplicación las normas UNIT 50-84 para calcular la velocidad básica de viento y el Eurocódigo 1: Acciones sobre estructuras para el cálculo de los coeficientes de presión.

Como hipótesis de cálculo se considera la estructura ubicada dentro de la franja costera (No más de 25 km de la costa atlántica, río de la plata o río Uruguay). Se toma como valor de la velocidad característica de viento el valor:

$$v_K = 43.9 \frac{m}{s}$$

A fin de poder utilizar los cálculos del EC1, se debe convertir esta velocidad característica en velocidad básica de viento. Se realiza una conversión de forma tal que se considera la diferencia en tiempo de medición de racha (3 segundos a 10 minutos) y un período de retorno mayor (de 20 años a 50 años). La velocidad básica resultante es:

$$v_b = 29.3 \frac{m}{s}$$

Para calcular la presión dinámica de cálculo debemos considerar el terreno donde se encuentra. Se considera un tipo de terreno Tipo III, teniendo entonces:

$$z_0 = 0,3 \text{ m}$$

$$z_{min} = 5 \text{ m}$$

Se calcula:

$$k_r = 0.19 \left(\frac{0.3}{0.05} \right)^{0.07} = 0.22$$

$$c_r = k_r \ln \left(\frac{z_{min}}{z_0} \right) = 0.62$$

$$c_o = 1$$

La presión dinámica de cálculo se toma como:

$$q_b = \frac{\rho v_b^2}{2} = 536.6 \text{ Pa}$$

Queda determinar ahora los coeficientes de presión en función de la estructura.

Los factores $c_s c_d$ se toman como 1.

La luz máxima de las vigas de cubierta es de 3.3 m, considerando una separación tentativa entre viguetas de 40 cm, se obtiene como resultado un área de influencia de cada vigueta de 1,32 m². A fin de simplificar este paso se tomará como área de influencia de 1 m² (esta hipótesis está del lado de la seguridad).

Se analizan las cuatro direcciones posibles de viento. Dada la disposición en planta de la estructura se obtienen dos posibles combinaciones críticas. En la Figura 1 se puede observar el caso



considerado (Cubierta plana con pretilas). Las zonas F, G, H e I corresponden a distintas zonas de acciones del viento.

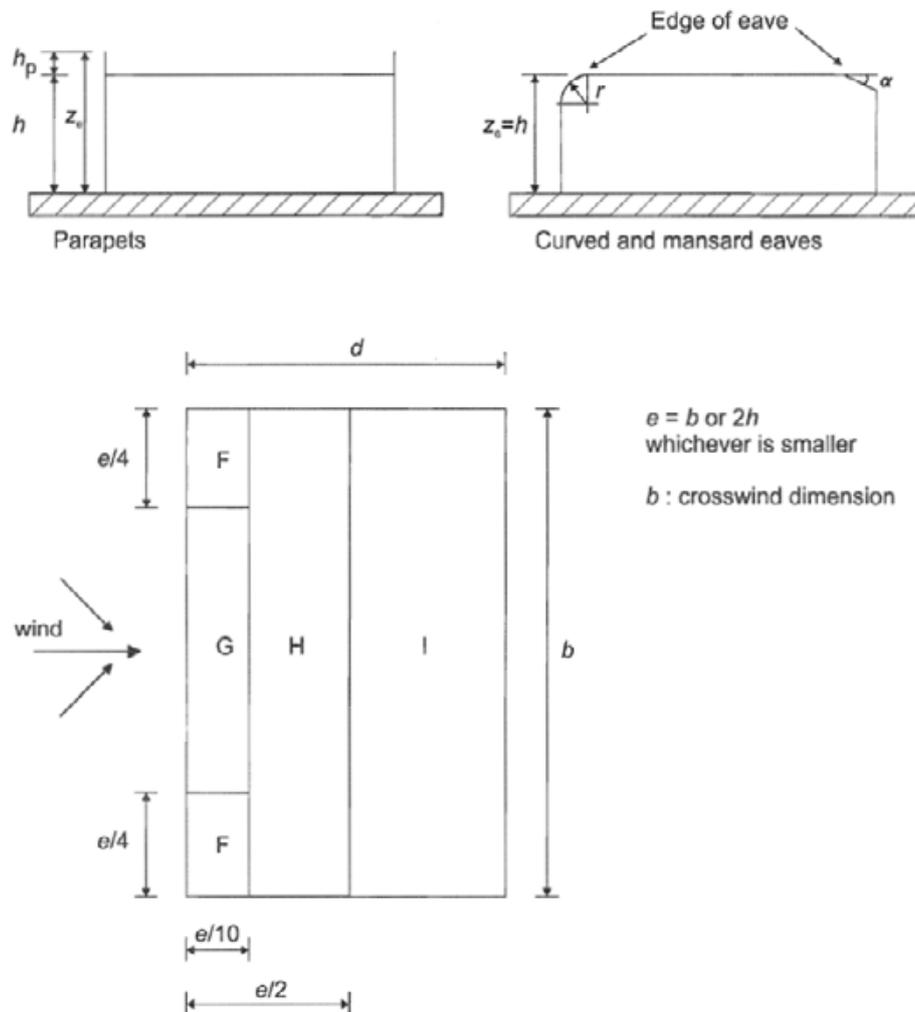


Figure 7.6 — Key for flat roofs

Figura 1: Esquema de viento (EN 1991-1-4:2005+A1:2010)

Los dos casos más desfavorables son:

- Viga ubicada en la zona adyacente al viento, influenciada por las regiones F y G, se produce succión en la cubierta por lo que se obtiene

$$c_{pe} = \begin{cases} -1.8 & \text{Zona F} \\ -1.4 & \text{Zona G} \end{cases}$$

- Viga ubicada en la región I, por lo tanto, tiene una posible presión en la cubierta

$$c_{pe} = +0.2$$

Los coeficientes de acciones resultantes para los casos más desfavorables son al considerar presión interna en el caso 1, y succión interna en el caso 2. En ambos casos se considera el valor del coeficiente de presión interna como $c_{pi} = \pm 0.35$ (opción más desfavorable).

Acciones debidas al peso propio

Para el peso propio de la cubierta se considera el peso propio del "paquete" constructivo (Figura 2).

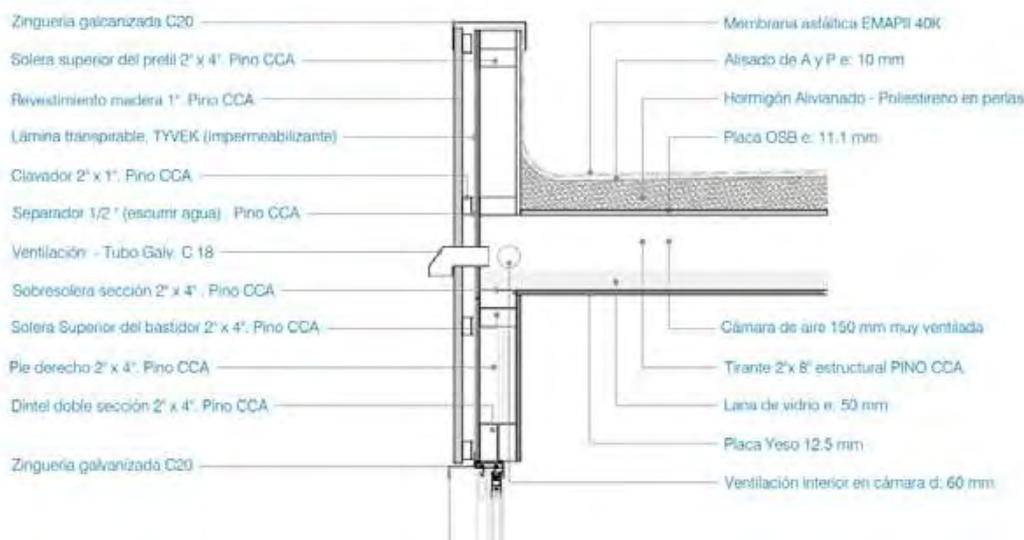


Figura 2: Elementos constructivos de la cubierta

Considerando los pesos específicos dados por la normativa EN 1991-1-1:2002 se calcula:

$$q_{CP} = 1.36 \frac{kN}{m^2}$$

Sobrecargas impuestas

Se considera el caso de cubierta accesible solamente con fines de mantenimiento. La normativa nos da un rango de valores aceptables (que pueden ser modificadas en base al anexo nacional), dado que la normativa uruguaya no está incluida en los considerados por el Eurocódigo, se tomarán los valores recomendados.

- Una carga puntual Q_K a ser ubicada en el lugar más desfavorable para la acción estudiada, se toma con valor $Q_K = 1.0 kN$
- Una sobrecarga distribuida en una superficie $q_k = 0.4 kN/m^2$

Combinaciones de carga

Combinaciones de carga para estado límite último

Se consideran 4 posibles combinaciones de carga, no se considera la posible simultaneidad en el caso de carga de mantenimiento y las acciones climáticas ya que los trabajos de mantenimiento sobre cubiertas se limitan a estados climáticos favorables. Las combinaciones y los valores de cálculo

Combinación	Ecuación	k_{mod}
Carga permanente	CP	0.6
Mantenimiento	$1.35 CP + 1.5 M$	0.9
Viento 1	$0.8 CP + 1.5 V1$	0.9
Viento 2	$1.35 CP + 1.5 V2$	0.9

Combinaciones de carga para estado límite de servicio

De la misma forma, se consideran cuatro posibles combinaciones para estado límite de servicio. Las cargas de mantenimiento y viento no conllevan deformaciones diferidas.

Combinación	Ecuación
Carga permanente	CP
Mantenimiento	$CP + M$
Viento 1	$CP + V1$
Viento 2	$CP + V2$

Combinaciones de carga para estado límite último en el caso de incendio

Se consideran 3 posibles combinaciones de carga.

Combinación	Ecuación	$k_{mod,fi}$
Carga permanente	CP	1.0
Viento 1	$CP + 0.5 V1$	1.0
Viento 2	$CP + 0.5 V2$	1.0

Estabilidad de las vigas de cubierta

Se calcula la esbeltez relativa de las vigas de cubierta, resultando para el caso más desfavorable:

$$\lambda_{rel,m} = 0.47$$

Dado que no supera el valor de 0.75, no es necesaria la verificación de estabilidad frente al vuelco lateral.

Verificaciones

Siguiendo la planta de la estructura, se realizan las verificaciones para el caso más desfavorable. Se considera una viga de 3.3 metros de vano sometida a las acciones mencionadas anteriormente. Se calculan los coeficientes de verificación como:

$$\frac{E_D}{R_D} \leq 1$$

ELU en situación normal

Combinaciones	$M_d (kNm)$	$V_d (kN)$	K_{mod}	Verificación flexión	Verificación corte
1.35 CP	1.20	1.46	0.6	0.5	0.3
1.35 CP + 1.5 CI	2.44	2.96	0.9	0.7	0.4
0.8 CP + 1.5 V1	0.12	0.21	0.9	0.0	0.0
1.35 CP + 1.5 V2	1.44	1.65	0.9	0.4	0.2



ELS

Se calculan las flechas para los estados unitarios

Flechas	δ_i (mm)	φ_2	δ_{dif} (mm)	δ_t (mm)
CP	4.3	1	2.6	6.9
CI	4.1	0	0.0	4.1
V1	1.3	0	0.0	1.3
V2	0.8	0	0.0	0.8

Las combinaciones y verificaciones resultantes:

Combinaciones	w_{inst} (mm)	w_{act} (mm)	w_{net} (mm)	Inst	Activa	Neta
CP	4.3	2.6	6.9	-	0.23	0.62
CP + CI	4.1	6.7	11.0	0.43	0.61	1.00
CP + V1	1.3	3.8	8.1	0.13	0.35	0.74
CP + V2	0.8	3.4	7.6	0.08	0.30	0.70

ELU en situación accidental

Combinaciones	M_d (kNm)	V_d (kN)	K_{mod}	Verificación flexión	Verificación corte
1.35 CP	1.16	1.41	1	0.5	0.3
0.8 CP + 1.5 V1	0.30	0.30	1	0.1	0.1
1.35 CP + 1.5 V2	1.40	1.60	1	0.6	0.3

Verificaciones considerando pasaje de ventilación

Se considera una reducción de la sección para el paso de un ducto de 50 mm colocado a 40 cm del apoyo. Se proceden a realizar las verificaciones en la zona de la sección reducida para el caso más desfavorable.

Se verifica la flexión y el corte obteniendo un coeficiente entre solicitaciones de cálculo y resistencia de diseño de 0.72, alcanzándose dicho coeficiente para la verificación de flexión. Se cumple por lo tanto la verificación para estado límite último.

En el caso de situación accidental se verifica la sección reducida, obteniendo un coeficiente en el caso de flexión de 0.20. En el caso de situación accidental se verifica entonces los requisitos para un tiempo R30.

Conclusiones

Con una sección de madera aserrada de Pinus elliotti/taeda clasificada estructuralmente como C14 con las medidas 2"x8", se cumplen los requisitos de seguridad estructural frente a las cargas consideradas.



Se cumplen las verificaciones para estados límite último en situación habitual, habiéndose verificado las tensiones normales generadas por la flexión de la viga y las tensiones rasantes producidas por el cortante.

En el estado límite de servicio se cumplen que las deformaciones obtenidas son aceptables, no se consideraron efectos a largo plazo de viento y mantenimiento ya que se trata de estados de carga de corta duración.

Se estudia el efecto del pasaje de un ducto de ventilación entre tirantes de 50 mm, verificándose las condiciones de integridad de la estructura considerando dicha debilidad tanto para estado límite último como para la situación accidental.

La verificación en caso de situación accidental se realizó con las secciones y materiales considerados, la estructura mantiene su integridad estructural durante al menos 30 minutos luego de comenzado el incendio (requisito para construcciones residenciales con menos de 15 metros de altura).



INFORME DE ENSAYO

Solicitante: DURLOCK S.A.

O.T. : 101/16203

Pág.: 1 de 2

Dirección: Brig. Graí. J.M. Rosas 2720

Fecha: 07/05/2008

(1754)- San Justo – Pcia. de Buenos Aires

Informe: Único

1. OBJETIVO

Clasificación de acuerdo al índice de propagación de llama.

2. MATERIAL

Una (1) muestra de placa de yeso identificada por el solicitante como: "Placa estándar con terminación de papel estándar"

3. MÉTODO EMPLEADO

El ensayo de propagación superficial de llama se realizó de acuerdo a la Norma IRAM 11910-3: "Materiales de Construcción, Reacción al fuego, Determinación del índice de propagación de llama – método del panel radiante" (coincide con los métodos de ensayo de la Norma NBR 9442/1986 y ASTM E162).

La muestra fue recibida el 12/02/2008 y ensayada el día 24/04/2008

4. RESULTADOS OBTENIDOS

Determinación de la Propagación superficial de llama

F(promedio):	1,00
Q(promedio):	0,80
I(promedio):	0,80

De acuerdo al Índice de Propagación de Llamas (I) hallado y teniendo en cuenta la Tabla de Clasificación de la Norma IRAM 11910-1 del año 1994, que se detalla como referencias, el material "Placa estándar con terminación de papel estándar" se clasifica como:

"Clase RE 2: Material de Muy Baja propagación de llama"

(A esta clase pertenecen los materiales con un índice entre 0 y 25)

Coincide con la Clase A de la Norma brasileña NBR 9442/1986

Nota: Las probetas ensayadas poseían distintos espesores (6,4 mm, 9,5 mm, 12,5 mm y 15 mm)

No se observaron diferencias apreciables en el comportamiento de las mismas durante la evaluación.

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización escrita del Laboratorio. Los resultados consignados se refieren exclusivamente a los elementos recibidos en el INTI y su Centro de Investigación y Desarrollo en Construcciones deslindan toda responsabilidad por el uso indebido o incorrecto que se hiciera de este informe.

Instituto Nacional de Tecnología Industrial
Centro de Investigación y Desarrollo
en Construcciones

Avenida General Paz 5445
E1650KNA San Martín, Buenos Aires, Argentina
Teléfono (54 11) 4724.6200/300400
e-mail: construcciones@inti.gov.ar



INFORME DE ENSAYO

Solicitante: DURLOCK S.A.

O.T. : 101/16203

Pág.: 1 de 2

Fecha: 07/05/2008

Informe: Único

Dirección: Brig. Gral. J.M. Rosas 2720
(1754)- San Justo – Pcia. de Buenos Aires

1. OBJETIVO

Clasificación de acuerdo al índice de propagación de llama.

2. MATERIAL

Una (1) muestra de placa de yeso identificada por el solicitante como: "Placa estándar con terminación de papel estándar"

3. MÉTODO EMPLEADO

El ensayo de propagación superficial de llama se realizó de acuerdo a la Norma IRAM 11910-3: "Materiales de Construcción, Reacción al fuego, Determinación del índice de propagación de llama – método del panel radiante" (coincide con los métodos de ensayo de la Norma NBR 9442/1986 y ASTM E162).

La muestra fue recibida el 12/02/2008 y ensayada el día 24/04/2008

4. RESULTADOS OBTENIDOS

Determinación de la Propagación superficial de llama

F(promedio):	1,00
Q(promedio):	0,80
I(promedio):	0,80

De acuerdo al Índice de Propagación de Llamas (I) hallado y teniendo en cuenta la Tabla de Clasificación de la Norma IRAM 11910-1 del año 1994, que se detalla como referencias, el material "Placa estándar con terminación de papel estándar" se clasifica como:

"Clase RE 2: Material de Muy Baja propagación de llama"

(A esta clase pertenecen los materiales con un índice entre 0 y 25)

Coincide con la Clase A de la Norma brasileña NBR 9442/1986

Nota: Las probetas ensayadas poseían distintos espesores (6,4 mm, 9,5 mm, 12,5 mm y 15 mm)

No se observaron diferencias apreciables en el comportamiento de las mismas durante la evaluación.

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización escrita del Laboratorio. Los resultados consignados se refieren exclusivamente a los elementos recibidos, el INTI y su Centro de Investigación y Desarrollo en Construcciones declinan toda responsabilidad por el uso indebido o incorrecto que se hiciera de este informe.

Instituto Nacional de Tecnología Industrial
Centro de Investigación y Desarrollo
en Construcciones

Avenida General Paz 5445
E1650KNA San Martín, Buenos Aires, Argentina
Teléfono (54 11) 4724 5200/300/400
Email: construcciones@inti.gov.ar





HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DE MATERIALES

1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DE LA EMPRESA

Nombre genérico del producto : LANA DE VIDRIO

Campo de utilización : Aislación térmica y acústica para aislaciones en general

Información del fabricante : **Saint-Gobain Argentina S.A., División Isover**
 Bouchard y Enz (1836) Tel.: 54 11 42 39 52 00
 Llavallol, Pcia. de Buenos Aires Fax: 54 11 42 39 52 08
 Email: cikat@saint-gobain.com

Teléfonos para emergencias : Centro de Intoxicaciones (las 24 hs) : 4658 7777
 Hospital Nacional oftalmológico : 4582 1278

2. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

Riesgos más importantes : No hay ninguna declaración de peligros asociados a este producto

Riesgos específicos : No se aplica

3. COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

Sustancia	N° C.A.S. (2)	Porcentaje en el producto (%)	Clasificación y etiquetado (Reglamento (CE) N° 1272/2008)	Clasificación y etiquetado (Directiva europea 67/548/EEC) ⁽⁴⁾
Vidrio ⁽¹⁾	65997-17-3	85 – 98%	No clasificado ⁽³⁾	No clasificado
Aglomerante		00 – 15%	No clasificado	No clasificado

(1): Fibras de vidrio artificiales (silicato) con orientación aleatoria cuyo contenido ponderado de óxido alcalino y óxido de tierra alcalina (Na₂O + K₂O + CaO + MgO + BaO) sea superior al 18% en peso.

(2): C.A.S. : Servicio de Resúmenes Químicos (Chemical Abstract Service).

(3): Sin calificar H351 "sospechosos de causar cáncer". Las fibras de vidrio no se puede calificar cancerígenos según la nota Q de la Directiva 97/69/EEC y el Reglamento n° 1272/2008 (página 335 de la JOCE L353 de 31 de diciembre 2008)

(4): Para las sustancias clasificadas, de conformidad con el Reglamento (CE) N° 1272/2008 durante el período comprendido entre su entrada en vigor hasta el 1 de diciembre de 2010, que la clasificación puede ser añadido en la hoja de datos de seguridad junto con la clasificación de conformidad con la Directiva 67/548/CEE. Del 1 de diciembre de 2010 hasta el 01 de junio 2015, las fichas de seguridad para las sustancias debe indicar la clasificación de acuerdo tanto la Directiva 67/548/CEE y el Reglamento (CE) no 1272/2008 (art. 57 del Reglamento (CE) 1272/2008, Official Journal L353, p. 27)

Posibles materiales de revestimiento: Papel Kraft, polipropileno, foil de aluminio, foil de aluminio con hilos de refuerzo, velo de vidrio, malla hexagonal de alambre galvanizado.



Vías principales de entrada: Inhalación, contacto con la piel y ojos.

- **Inhalación** : Retirar al individuo a una zona de aire libre. Inducir el estornudo para provocar la eliminación del polvo.
- **Contacto con la piel:** Lavar primero con abundante agua y luego con jabón y agua limitando las fricciones.
- **Contacto con los ojos:** No frote sus ojos. Límpielos bien con agua corriente durante al menos 15 minutos.
- **Ingestión** : Infrecuente. Beba mucha agua si se ingiere accidentalmente.

En caso de observar alguna reacción adversa deberá efectuar la consulta médica.

5. MEDIDAS ANTI-INCENDIOS

Medios de extinción adecuados: La lana de vidrio es incombustible.
Algunos materiales de envasado o los revestimientos pueden ser combustibles.

Medios de extinción adecuados: agua, espuma y el polvo seco.

6. MEDIDAS EN CASO DE LIBERACIÓN ACCIDENTAL

- Precauciones individuales** : Ver sección 8.
- Precauciones para la protección del medio ambiente** : No aplicable
- Método de limpieza** : Aspiración o métodos húmedos.

7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Manipulación

- **Medidas técnicas** : ninguna medida específica.
- **Precauciones** : Ver sección 8.
- **Advertencia para la manipulación segura** : Evitar la manipulación innecesaria del producto sin envasar. Vea sección 8

Almacenamiento

- **Medidas técnicas** : Ninguna en particular.
- **Condiciones convenientes de almacenamiento** : al resguardo de la intemperie y en lugar seco.
- **Incompatibilidad con otros materiales** : Ninguna
- **Material de embalaje** : El almacenamiento debe efectuarse en embalaje de origen. Evitar los manejos abusivos.



Control de la exposición	:	LD ₅₀ : No aplicable LC ₅₀ : No aplicable CMP: 10 mg/m ³
Equipos de protección individual (EPP)		
- Protección respiratoria	:	Cuando se trabaja en la zona sin ventilación o durante las operaciones que pueden generar emisiones de polvo, usar mascarilla desechable. Se recomienda el uso de máscara parcial N95 o superior, tipo 3M 8710 ó 9900.
- Protección de las manos	:	Guantes.
- Protección ocular	:	En caso de manipuleo en espacios confinados o cuando se ejecuten operaciones puntuales que den lugar a cantidades importantes de polvo, se recomienda el uso de anteojos de protección.
- Protección de la piel	:	Cubra la piel expuesta con ropa amplia con mangas y pantalones largos.
- Medidas de higiene	:	lavar primero con abundante agua y luego con jabón y agua limitando las fricciones.

Ver recomendaciones en la etiqueta del producto.

9. PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Estado físico	:	sólido
Forma	:	rollo, panel o sección rígida.
Color	:	amarillo o blanco
Olor	:	Ninguno
pH	:	No aplicable
Punto de ebullición	:	No relevante
Flash point	:	No relevante
Inflamabilidad	:	No relevante
Propiedades explosivas	:	No relevante
Densidad	:	de 8 a 130 Kg/m ³
Solubilidad en agua	:	químicamente inerte e insoluble en agua
Coefficiente de distribución de agua en aceite	:	Ninguno
<u>Otros datos</u>		
Diámetro medio aproximado de fibra:		2,8 a 6 µm/5g
Orientación de las fibras	:	al azar

*: Regulación (EC) 1272/2008, nota R



10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad	:	Para la construcción: Estable en condiciones normales de uso Para usos de alta temperatura: El polímero puede empezar a descomponerse alrededor de los 200°C.
Reacciones peligrosas:	:	Ninguna en condiciones normales de uso.
Productos de descomposición peligrosa	:	Para la construcción: Ninguna en condiciones normales de uso. Para usos de alta temperatura: La descomposición del polímero en torno a los 200°C produce dióxido de carbono y otros gases traza.

11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Efectos agudos : El efecto mecánico de las fibras en contacto con la piel puede causar irritación temporal.

12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

No se espera que este producto cause daño a los animales o plantas en condiciones normales de uso.

13. CONSIDERACIONES SOBRE SU DISPOSICIÓN

Materiales de desecho	:	Desechar de acuerdo con las normas vigentes en el país de uso o eliminación.
Envases sucios	:	Disponer de acuerdo con las regulaciones locales.
Nota: la lana de vidrio no es considerada un residuo peligroso y/o especial de acuerdo a la Ley Nacional N° 24051 y a la ley Pcia de Buenos Aires N° 11720. Las piezas pequeñas de lana de vidrio deberán presentarse embolsadas para evitar su dispersión en el medio ambiente.		

14. INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTE

Normativa Internacional : Ningún reglamento específico

15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

Todos los reglamentos nacionales y/o locales aplicables a la utilización, transporte o eliminación de este producto deben ser observados.

16. OTRAS INFORMACIONES

El IARC (International Agency for research on Cancer), en la reunión de Lyon de este organismo (Oct/2001), concluye después de numerosos estudios realizados, que “no hay evidencia de carcinogenicidad en las personas por causa de las lanas minerales aislantes” (lana de vidrio aislante, de roca y lana de escoria). De este modo, clasifica a estos materiales dentro del grupo 3 **“no clasificable como carcinógenos en humanos”**. (Véase la Monografía Vol. 81, <http://monographs.iarc.fr/>)

La Directiva Europea 97/69/CE sustituido por el Reglamento (CE) n° 1272/2008 relativo a la clasificación, etiquetado y envasado de las sustancias y las mezclas no clasifica a las fibras de Lana de Vidrio como peligrosas, si están de acuerdo con la nota Q del presente Reglamento.

La nota Q especifica que no se aplica la clasificación como carcinógenas si:

- un ensayo de biopersistencia a corto plazo por inhalación, justifica que las fibras de más de 20µm tienen una vida media inferior a 10 días,
- o
- biopersistencia a corto plazo de prueba intra-traqueal de una instilación ha demostrado que las fibras cuya longitud es de 20 µm, tienen una vida media ponderada inferior a 40 días,
- o
- una prueba intraperitoneal adecuada no ha mostrado ninguna evidencia de carcinogenicidad excesiva,
- o
- una adecuada prueba de inhalación a largo plazo ha demostrado ausencia de efectos patógenos relevantes o cambios neoplásicos.

Las fibras de Lana de Vidrio de este producto están exoneradas de la clasificación cancerígenos de acuerdo con la Directiva 97/69/CE Europea y el Reglamento (CE) 1272/2008 si cumplen uno de los criterios de la nota Q de estos textos.

La lana de vidrio fabricada por Saint Gobain Argentina S.A., división Isover está certificada por EUCEB.

EUCEB, European Certification Board of Mineral Wool Products - www.euceb.org, es una iniciativa voluntaria para la industria de las lanas de vidrio. Es una entidad de certificación independiente que garantiza que los productos están hechos de fibras, que cumplen con los criterios de exoneración de carcinogenicidad (Nota Q) de la Directiva 97/69/CE y el Reglamento (CE) 1272/2008.

Para asegurarse de que las fibras cumplen los criterios de exoneración, todas las pruebas y procedimientos de control son realizadas por instituciones independientes, calificados de expertos. EUCEB garantiza que los productores de la lana de vidrio han puesto en marcha medidas de autocontrol.

Los productores de lana de vidrio autorizan a EUCEB a:

- La realización del muestreo y los análisis reconocidos por EUCEB, demostrando que las fibras cumplen con uno de los cuatro criterios de exoneración se describe en la Nota Q de la Directiva 97/99/EC,
- Ser controlado, dos veces al año, cada unidad de producción por un tercero independiente reconocido por EUCEB (toma de muestras y la conformidad con la composición química inicial),
- Establecer procedimientos de autocontrol interno en cada unidad de producción.

Los productos con la certificación EUCEB son reconocidos por el logotipo de EUCEB puesto en los envases en cada unidad de Producción



EUCEB es una asociación con certificación ISO 9001:2008

Esta ficha complementa a las especificaciones del producto y otros documentos técnicos de Saint-Gobain Argentina S.A., pero no los sustituye.

Las informaciones que contiene se basan en el estado actual de los conocimientos relativos a nuestros productos en la fecha indicada. Se dan de buena fe.

Se llama la atención de los usuarios sobre los riesgos eventuales que pueden ocurrir cuando se usa un producto para otro empleo que para el que está destinado.

Esta no dispensa al usuario del conocimiento y la aplicación del conjunto de textos que reglamentan localmente su actividad. Debe tomar bajo su sola responsabilidad las precauciones relativas al uso que hace de un producto.

1428082



Estudio de Asimilación de Resistencia al Fuego de Muro Perimetral

Informe Final

Informe N° 1428082

23 de Agosto de 2017

**Centro UC de Innovación en Madera
Pontificia Universidad Católica de Chile**

DICTUC Construcción • Fono: (56-2) 2354 5120 • Vicuña Mackenna 4860, Macul • www.dictuc.cl/construccion



Para verificar este documento ingrese a <http://www.dictuc.cl/verifica> Código vom35p15ca72



1428082



Unidad Ingeniería de Protección contra el Fuego

Autor(es) Gerente Unidad: Rodrigo Aravena P.	Cuerpo del informe 9 hojas (incluye portada)
Contraparte técnica del Mandante Nombre: Felipe Victorero Cargo: Subdirector de Transferencia Centro UC de Innovación en Madera Teléfono: +562 23545549 Correo Electrónico: favictor@uc.cl	Número de Propuesta IPF-P-100-16 Ticket N°2370 Correlativos Internos IPF-INF-112-17 OT-AS-208/11
Antecedentes del Mandante Razón Social: Pontificia Universidad Católica de Chile RUT: 81.698.900-0 Teléfono: +562 23545549 Dirección: Av. Libertador Bernardo O'Higgins N° 390.	


 Ing. Rodrigo Aravena P.

Gerente

 Unidad Ingeniería de Protección contra el Fuego
 DICTUC Construcción

 DICTUC Construcción • Fono: (56-2) 2354 5120 • Vicuña Mackenna 4860, Macul • www.dictuc.cl/construccion

Versión 1: 05/09/2014, FI-A.01-DSA-DC

Página 2 de 9


 Para verificar este documento ingrese a <http://www.dictuc.cl/verifica> Código vom35p15ca72

FolioN°347

1428082



Unidad Ingeniería de Protección contra el Fuego

Normas Generales

- El presente informe presenta el informe final de un estudio de Asimilación de Resistencia al Fuego de un Muro Perimetral, desarrollado durante Agosto de 2017.
- El presente informe fue preparado por **DICTUC** a solicitud del **Centro UC de Innovación en Madera** de la **Pontificia Universidad Católica de Chile**, para Asimilar la Resistencia al Fuego de un conjunto de paneles, bajo su responsabilidad exclusiva.
- Los alcances de este estudio están definidos explícitamente en la Sección 3 del presente informe. Las conclusiones de este informe se limitan a la información disponible para su ejecución.
- La información contenida en el presente informe constituye el resultado de una asesoría, lo que en ningún caso permite al solicitante afirmar que sus productos han sido certificados por **DICTUC**.
- La información contenida en el presente informe no podrá ser reproducida total o parcialmente, para fines publicitarios, sin la autorización previa y por escrito de **DICTUC** mediante un Contrato de Uso Comercial de Marca.
- El **mandante** podrá manifestar y dejar constancia verbal y escrita, frente a terceros, sean estas autoridades judiciales o extrajudiciales, que el trabajo fue preparado por **DICTUC**, y si decide entregar el conocimiento del presente informe de **DICTUC**, a cualquier tercero, deberá hacerlo en forma completa e íntegra, y no partes del mismo.
- El presente informe es propiedad del **mandante**, sin embargo, si **DICTUC** recibe la solicitud de una instancia judicial hará entrega de una copia de este documento al tribunal que lo requiera, previa comunicación por escrito al **mandante**.
- El monto de los honorarios por la ejecución de este Informe, así como la cancelación de dichos honorarios, es independiente a los resultados del mismo. Del mismo modo el **mandante** acepta expresamente que los resultados del Informe encomendado pueden en definitiva, no serles favorables a sus intereses particulares.
- La adulteración y/o alteración total o parcial de los informes, reportes, ensayos y asesorías proporcionadas por **DICTUC**, al igual que su reproducción no autorizada, constituye una conducta susceptible de delito que será sancionada conforme a la normativa legal vigente.
- El **mandante** declara conocer y aceptar los términos y condiciones generales para la prestación de servicios, disponibles para todo el público en su sitio web oficial www.dictuc.cl/tyc.

DICTUC Construcción • Fono: (56-2) 2354 5120 • Vicuña Mackenna 4860, Macul • www.dictuc.cl/construccion

Versión 1: 05/09/2014, FI-A.01-DSA-DC

Página 3 de 9

Para verificar este documento ingrese a <http://www.dictuc.cl/verifica> Código vom35p15ca72



FolioN°348

1428082



Unidad Ingeniería de Protección contra el Fuego

1. Introducción

El Sr. Felipe Victorero, en representación del **Centro UC de Innovación en Madera** de la **Pontificia Universidad Católica de Chile**, solicitó al Área de Ingeniería de Protección Contra el Fuego (IPF) de DICTUC un estudio para verificar la posible asimilación de la resistencia al fuego de un sistema constructivo, en base a los antecedentes de ensayos previos proporcionados.

Este documento contiene el informe final presentado por IPF al mandante con los resultados obtenidos en el estudio realizado.

2. Objetivos

Determinar si existen los suficientes antecedentes para asignar clasificación de resistencia al fuego a un panel que constituye una modificación constructiva de otro ensayado previamente.

3. Alcance

Las conclusiones obtenidas del presente estudio son sobre la base de la información entregada por el mandante.

4. Metodología

Marco Teórico: La Resistencia al Fuego se demuestra a través de la ejecución de ensayos de resistencia al fuego, realizados según la norma NCh 935/1 “Prevención de incendio en edificios - Ensayo de resistencia al fuego - Parte 1: Elementos de construcción en general”. Esta norma entrega la resistencia al fuego y la clasificación de cada elemento ensayado (F).

La resistencia al fuego se define en la norma NCh 935 como: *“Cualidad de un elemento de construcción de soportar las condiciones de un incendio estándar, sin deterioro importante de su capacidad funcional. Esta cualidad se mide por el tiempo en minutos durante el cual el elemento conserva la estabilidad mecánica, la estanquidad a las llamas, el aislamiento térmico y la no emisión de gases inflamables”.*

Por otro lado, la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC), en su Título IV – Capítulo 3 “De las Condiciones de Seguridad contra Incendios”, en el Artículo 4.3.2 indica:

“.....Si al solicitarse la recepción definitiva de una edificación, alguno de los elementos, materiales o componentes utilizados en ésta no figura en el Listado Oficial de Comportamiento al Fuego y no cuenta con certificación oficial conforme a este artículo, se

DICTUC Construcción • Fono: (56-2) 2354 5120 • Vicuña Mackenna 4860, Macul • www.dictuc.cl/construccion



Para verificar este documento ingrese a <http://www.dictuc.cl/verifica> Código vom35p15ca72

1428082



Unidad Ingeniería de Protección contra el Fuego

deberá presentar una certificación de un profesional especialista, asimilando el elemento, material o componente propuesto a alguno de los tipos que indica el artículo 4.3.3., de este mismo Capítulo y adjuntar la certificación de éstos en el país de origen....”

5. Criterios de Asimilación de Paneles

Una configuración (A), como la indicada por el mandante, que no disponga de registros de ensayos de resistencia al fuego, es asimilable a otra que si los posea (B), siempre y cuando se cumplan **simultáneamente** al menos los siguientes requisitos:

- a. El sistema estructural soportante de (A) es del mismo tipo (material) que el de (B).
- b. Las dimensiones de la sección de los perfiles soportantes en (A) son todas mayores o iguales que las de (B).
- c. La separación entre los montantes estructurales de la configuración (A) sea menor o igual que la de (B).
- d. La aislación interior de (A) es del mismo tipo y un espesor mayor o igual a la de (B).
- e. La cantidad de placas de revestimiento en cada una de las caras es mayor o igual en (A) que en (B).
- f. El espesor de placas de revestimiento en cada una de las caras es mayor o igual en (A) que en (B).
- g. El tipo y posición de placas de revestimiento en cada una de las caras es el mismo en (A) que en (B).
- h. El sistema de soporte de las placas (tornillos u otros) es del mismo tipo, dimensiones y espaciamiento, o bien los espaciamientos son menores en (A) que en (B).
- i. El tipo de tratamiento de juntas de (A) es el mismo tipo que el de (B).
- j. El espesor total del panel (A) es igual o mayor que el de (B).

El hecho de cumplir, o superar sólo alguno de los requisitos no es suficiente para poder realizar la asimilación, deben cumplirse todos.



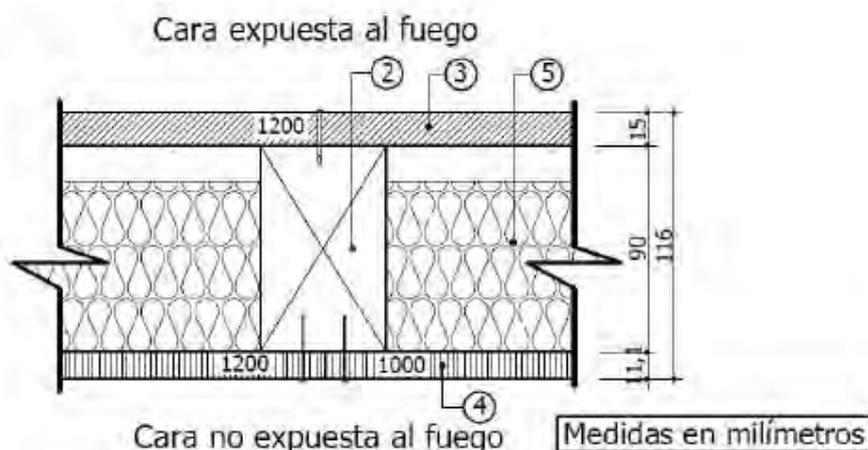
1428082



Unidad Ingeniería de Protección contra el Fuego

6. Ensayos Existentes

Existe un registro de ensayos utilizado como referencia para la asimilación: informe de Ensayo Idiem 1.168.829-A/2016, del 06 de enero de 2017, da cuenta de un ensayo RF a un Tabique Perimetral, con la siguiente EETT:



N°	Elemento		Descripción
1	Estructura en madera	Solerías (no mostradas)	Superior e inferior. Pieza de madera de Pino radiata cepillado de escuadria (90 x 33) mm y 2,2 [m] de longitud.-
2		Pies derechos	Pieza de madera Pino radiata cepillado de escuadria (90 x 33) mm y 2,33 [m] de altura, distanciados a eje 0,4 [m] y fijados a soleras con clavos de 4".-
3	Cara expuesta al fuego		Plancha de yeso-cartón "Gyplac ERH" de 15 [mm] de espesor, fijada a la estructura con tornillos cabeza de trompeta punta fina #6 x 1 5/8" cada 0,3 [m]. Sello en unión de planchas con cinta de fibra de vidrio más pasta a base de yeso "Romeral".-
4	Cara no expuesta al fuego		Placa de "OSB" de 11,1 [mm] de espesor, fijada con clavos de 2 1/4" cada 0,1 [m] en perímetro y unión de placas, pero 0,2 [m] en interior. Sin sello en unión de placas.-
5	Aislación		Lana de vidrio "Romeral"® de 80 [mm] de espesor y 11 [kg/m³] de densidad nominal.-

Este panel obtuvo una clasificación de ensayo F-60.



1428082



Unidad Ingeniería de Protección contra el Fuego

7. Elementos a Asimilar y Comparación

Según lo indicado por el mandante, el panel en evaluación de asimilación tiene los siguientes componentes:

- Soleras: superior e inferior, piezas de madera de pino radiata cepillado de escuadría de **35 x 90** mm.
- Pies derechos: piezas de madera de pino radiata cepillado de escuadría de **35 x 90** mm, distanciados a eje cada 0,4 m, fijados a soleras con clavos de 4".
- Revestimientos:
 - o Cara expuesta al fuego: Plancha de yeso cartón Gyplac **tipo ERH** o bien **ER** de 15 mm de espesor, fijada a la estructura con tornillos auto perforantes punta fina #6 x 1 5/8" separados cada 0,3 m. Sello en unión de planchas con cinta de fibra de vidrio más pasta a base de yeso Romeral.
 - o Cara no expuesta al fuego: Placa de OSB de 11,1 mm de espesor, fijada con clavos de 2 1/2" separados cada 0,1 m perímetro y cada 0,2 m en interior. Sin sello en unión de placas.
- Aislación: Lana de vidrio Romeral de 80 mm de espesor y 11 kg/m³ de densidad nominal, dispuesta entre pie derechos en forma continua.

Los cambios respecto a lo ensayado son:

- El aumento en la sección de los pies derechos y estructura perimetral. Esta condición es consistente con los criterios de asimilación listados en el punto 5 del presente informe.
- El cambio¹ a placa tipo ER. Al respecto el Informe de Asimilación DICTUC No. 1428039 del 23 de agosto de 2017 concluye, mediante el análisis de los resultados de 6 ensayos de paneles F-60, que para paneles F-60 es posible realizar el cambio de placas tipo ER por tipo ERH y asimilar.

8. Conclusiones

Se cumplen todos los criterios para la asimilación de paneles, por lo que, el panel descrito en el punto 7 del presente informe **puede ser asimilado a la clasificación F-60.**

¹ En el caso de un panel con placa tipo ERH no hay cambio respecto a lo ensayado.



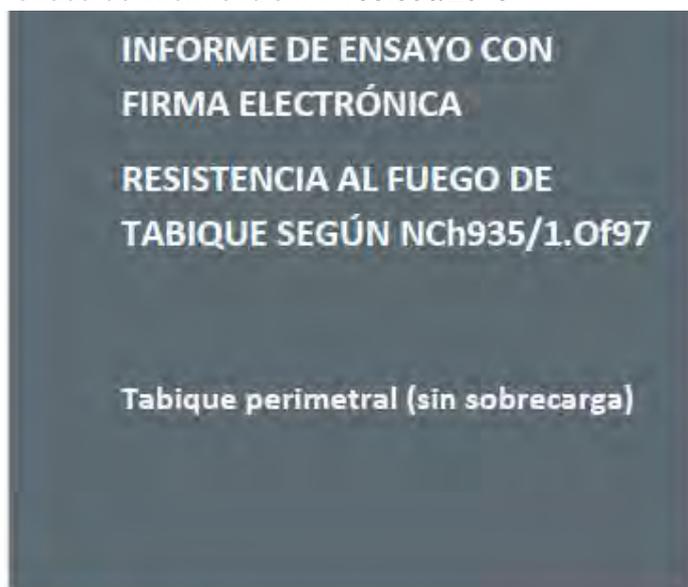
1428082



Unidad Ingeniería de Protección contra el Fuego

9. Anexos

- Portada de informe Idiem 1.168.830/2016



División Estructuras y Materiales (DEM)		
Unidad de Ensayos – Fuego y Habitabilidad		
Ejemplar N° 01	N° Páginas 14	Revisión N°1
Informe N° 1.168.829-A/2016		Ref.: PR,DEM,2016.2002-V2 TB1
NOMBRE	FECHA	
Validado por: Victoria Garrido V.	06/01/2017	
Aprobado por: Andrés Santis A.		
Destinatario: Daniel Olea PUC – Centro UC de innovación en madera.		
Este informe anula y reemplaza el informe N°1.168.829 de fecha 06/01/2017		

DICTUC Construcción • Fono: (56-2) 2354 5120 • Vicuña Mackenna 4860, Macul • www.dictuc.cl/construccion



Para verificar este documento ingrese a <http://www.dictuc.cl/verifica> Código vom35p15ca72

1428082



Unidad Ingeniería de Protección contra el Fuego

- Resumen del Ensayo hecho en Idiem:

Resumen			
Ensayo de resistencia al fuego según NCh935/1.Of97			
Empresa solicitante:		PUC – Centro UC de innovación en madera	
Solicitado por:		Daniel Olea	
Elemento:		Tabique perimetral (sin sobrecarga)	
Recinto de ensayo:		Laboratorio de Incendios, Salomón Deck 840, Cerrillos.	
Dirección:		Marcoleta N° 367, Santiago.	
Construido en:		Fábries / Laboratorio	
N° de informe:		1.168.829-A	
Fecha de ensayo:		20-12-2016	

Cara expuesta al fuego

Cara no expuesta al fuego

Medidas en milímetros

N°	Elemento	Descripción
1	Estructura en madera	Soleras (no mostradas)
2		Pies derechos
3	Cara expuesta al fuego	
4	Cara no expuesta al fuego	
5	Aislación	

Superior e inferior. Pieza de madera de Pino radiata cepillado de escuadria (90 x 33) mm y 2,2 [m] de longitud.-			
Pieza de madera Pino radiata cepillado de escuadria (90 x 33) mm y 2,33 [m] de altura, distanciados a eje 0,4 [m] y fijados a soleras con clavos de 4".-			
Plancha de yeso-cartón "Gyplac ERH" de 15 [mm] de espesor, fijada a la estructura con tornillos cabeza de trompeta punta fina #6 x 1 5/8" cada 0,3 [m]. Sello en unión de planchas con cinta de fibra de vidrio más pasta a base de yeso "Romeral".-			
Placa de "OSB" de 11,1 [mm] de espesor, fijada con clavos de 2 1/2" cada 0,1 [m] en perímetro y unión de placas, pero 0,2 [m] en interior. Sin sello en unión de placas.-			
Lana de vidrio "Romeral" de 80 [mm] de espesor y 11 [kg/m ³] de densidad nominal.-			
Ancho del elemento	2,2	[m]	Resistencia al fuego del elemento
Alto del elemento	2,4	[m]	
Espesor total	0,116	[m]	Clasificación
Masa total	287	[kg]	

Nota: De acuerdo a lo señalado en norma NCh935/1.Of97, el resultado obtenido es válido sólo para el elemento ensayado y bajo las condiciones estipuladas en el Informe de Ensayo, ya que el valor de resistencia al fuego puede variar si se cambian los detalles constructivos.

Nota: Este resumen no reemplaza el informe.

Fecha de emisión: 06 de enero de 2017

Este informe anula y reemplaza el informe N°1.168.829 de fecha 06/01/2017



Pared Simple Durlock® FR 30 minutos
Pared Simple con placa Estándar e: 12,5mm.
Estructura 70mm + Rollo de Lana de vidrio e: 70mm + Sellador Ignífugo



INTI Instituto Nacional
de Tecnología Industrial

Premio Nacional a la Calidad 1999
Organismo Certificado ISO 9002



CECON Centro de Investigación y
Desarrollo en Construcciones

INFORME DE ENSAYO

Solicitante: DURLOCK S.A.

O.T.: 101/6676
Pág.: 1/15
Fecha: 25/11/02
Informe: 4to. Parcial

Dirección: Brig. Juan M. de Rosas 2720
(1754) – San Justo - Buenos Aires

1- OBJETIVO

Determinación y Clasificación de la Resistencia al Fuego.

2- MUESTRA

5 tipologías de pared liviana, denominadas por el cliente:

- a) Pared Simple Placa Resistente al Fuego de 12,5
- b) Pared Doble Placa Resistente al Fuego de 12,5
- c) Pared Doble de Placa Resistente al Fuego de 15
- d) Pared Simple de Placa Estándar de 12,5
- e) Pared Doble de Placa Estándar de 12,5

Los detalles de la constitución y construcción de la pared se dan en el ANEXO5 adjunto al presente informe y que forma parte del mismo.

3- MÉTODO EMPLEADO

Los ensayos se realizaron de acuerdo a las indicaciones de la Norma IRAM 11950, y la clasificación se realizó de acuerdo a las indicaciones de la Norma IRAM 11949.
La superficie ensayada de la muestra en todos los casos fue de 3m x 3m.

4- RESULTADOS OBTENIDOS

d) Pared Simple de Placa Estándar de 12,5

La muestra fue montada por personal de la empresa solicitante, finalizando el mismo el día 20 de Septiembre de 2002.
El ensayo fue realizado el día 24 de Septiembre de 2002.
La temperatura ambiente al comenzar el ensayo era de 15 °C.

[Firma]

Los resultados consignados se refieren exclusivamente a la muestra recibida, el INTI y el CECON declinan toda responsabilidad por el uso indebido o incorrecto que se hiciera de este informe. Está prohibida la reproducción parcial del mismo.

Av. Gral. Paz s/Albarellos y Av. de los Constituyentes - Parque Tecnológico Miguelite (Edificio 33) - B1650RXA
C.C. 157 B1650RAB San Martín, Prov. de Buenos Aires - ARGENTINA
Telefax (54-11) 4753-5784 / 4754-4065 - Com: 4724-6200/6300/6400 - Int. 6483/6500 - email: ceccon@inti.gov.ar



Av. Bri. Juan M. de Rosas 2720 - (B1754FTT) San Justo, Buenos Aires
 Tel. (011) 4480-6090 - info@durlock.com
 www.durlock.com





INTI

O.T.: 101/6676
Pág.: 2/15
Fecha: 25/11/02
Informe: 4to. Parcial



CECON

El programa térmico obtenido y que está dentro de las tolerancias descritas por la norma se da en el ANEXO2, adjunto al presente informe y que forma parte del mismo.

4.1 ESTABILIDAD MECÁNICA

La muestra mantuvo la estabilidad mecánica en todo el transcurso del ensayo.

4.2 ESTANQUEIDAD A LAS LLAMAS

Se detectó fallo de estanqueidad a la llama en el minuto 40 desde el comienzo del ensayo, dando resultado positivo la comprobación realizada con el pad de algodón.

4.3 EMISIÓN DE GASES INFLAMABLES

No se detectó la presencia de gases inflamables en el transcurso del ensayo, dando resultado negativo las comprobaciones realizadas con la llama piloto.

4.4 AISLAMIENTO TÉRMICO

La temperatura de la cara no expuesta se ha registrado en los puntos indicados en el croquis del ANEXO1, adjunto al presente informe y que forma parte del mismo y que pueden observarse en las fotografías del ANEXO4 adjunto al presente informe y que forma parte del mismo. Se han utilizado termopares de Hierro - Constantán (Tipo J). Los gráficos de evolución de la temperatura en la superficie de la cara no expuesta de la muestra se dan en el ANEXO3 adjunto al presente informe y que forma parte del mismo.

4.4.1 Temperatura media de la cara no expuesta

Durante el transcurso del ensayo no se alcanzó la temperatura límite de $140^{\circ}\text{C} + T_0$ (T_0 = Temperatura ambiente) como media de los termopares situados en la cara exterior de acuerdo a la norma de referencia.

4.4.2 Temperatura máxima de la cara no expuesta

Durante el transcurso del ensayo no se alcanzó la temperatura límite de $180^{\circ} + T_0$ en ninguno de los termopares situados en la cara no expuesta del panel.

Los resultados consignados se refieren exclusivamente a la muestra recibida, el INTI y el CECON declinan toda responsabilidad por el uso indebido o incorrecto que se hiciera de este informe. Está prohibida la reproducción parcial del mismo.



Av. Bri. Juan M. de Rosas 2720 - (B1754FTT) San Justo, Buenos Aires
Tel. (011) 4480-6090 - info@durlock.com
www.durlock.com





INTI

O.T.: 101/6676
 Pág.: 3/15
 Fecha: 25/11/02
 Informe: 4to. Parcial



CECON

4.5 OTRAS OBSERVACIONES

- En el minuto 41 se interrumpe el ensayo a solicitud del cliente.

4.6 INCERTIDUMBRE DEL RESULTADO

Debido a la naturaleza de los ensayos de comportamiento al fuego y la consecuente dificultad de cuantificar la incertidumbre de la medida de la resistencia al fuego, no es posible aportar un grado conocido de exactitud en el resultado.

5- CONCLUSIONES

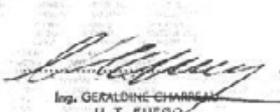
De los datos obtenidos en el ensayo efectuado y de conformidad a la Norma IRAM 11950, se concluye que en las condiciones de ensayo descritas en este informe y para el panel especificado se obtuvieron los resultados expuestos a continuación:

• Estabilidad al fuego	41 MINUTOS (por interrupción del ensayo)
• Estanqueidad a la llama	40 MINUTOS
• No emisión de gases inflamables	41 MINUTOS (por interrupción del ensayo)
• Aislamiento térmico	41 MINUTOS (por interrupción del ensayo)

Por lo tanto, **Pared Simple de Placa Estándar de 12,5** ha obtenido la siguiente **CLASIFICACIÓN:**

RESISTENTE AL FUEGO ————— 30 MINUTOS

FR 30



Ing. GERALDINE CHARRAS
U. T. FUEGO



Ing. ANA MARÍA DI PACE
COORDINADORA U. T. FUEGO



Ing. ALEJANDRO STORANI
CECON

Los resultados consignados se refieren exclusivamente a la muestra recibida, y el INTI y CECON declinan toda responsabilidad por el uso indebido o incorrecto que se hiciera de este informe.

Los resultados consignados se refieren exclusivamente a la muestra recibida, el INTI y el CECON declinan toda responsabilidad por el uso indebido o incorrecto que se hiciera de este informe. Está prohibida la reproducción parcial del mismo.



Av. Bri. Juan M. de Rosas 2720 - (B1754FTT) San Justo, Buenos Aires
 Tel. (011) 4480-6090 - info@durlock.com
 www.durlock.com



Pared Doble Durlock® FR 60 minutos

Pared Doble con placa Estándar e: 12,5mm.

Estructura 70mm + Rollo de Lana de vidrio e: 70mm + Sellador Ignífugo



INTI
Instituto Nacional
de Tecnología Industrial

Presencia Nacional a la Calidad / ISO 9001
Organismo Certificado ISO 5002



CECON
Centro de Investigación y
Desarrollo en Construcciones

INFORME DE ENSAYO

Solicitante: **DURLOCK S.A.**

O.T.: 101/8678
Pág.: 1/15
Fecha: 28/11/02
Informe: 5to. Parcial y Final

Dirección: Brig. Juan M. de Rosas 2720
(1754) – San Justo - Buenos Aires

1- OBJETIVO

Determinación y Clasificación de la Resistencia al Fuego.

2- MUESTRA

5 tipologías de pared liviana, denominadas por el cliente:

- a) Pared Simple Placa Resistente al Fuego de 12,5
- b) Pared Doble Placa Resistente al Fuego de 12,5
- c) Pared Doble de Placa Resistente al Fuego de 15
- d) Pared Simple de Placa Estándar de 12,5
- e) Pared Doble de Placa Estándar de 12,5

Los detalles de la constitución y construcción de la pared se dan en el ANEXO5 adjunto al presente informe y que forma parte del mismo.

3- MÉTODO EMPLEADO

Los ensayos se realizaron de acuerdo a las indicaciones de la Norma IRAM 11950, y la clasificación se realizó de acuerdo a las indicaciones de la Norma IRAM 11949.

La superficie ensayada de la muestra en todos los casos fue de 3m x 3m.

4- RESULTADOS OBTENIDOS

e) Pared Doble Placa Estándar de 12,5

La muestra fue montada por personal de la empresa solicitante, finalizando el mismo el día 30 de Setiembre de 2002.

El ensayo fue realizado el día 3 de Octubre de 2002.

La temperatura ambiente al comenzar el ensayo era de 17 °C.

Los datos consignados se refieren exclusivamente a la muestra recibida, el INTI y el CECON declinan toda responsabilidad por el uso indebido o incorrecto que se haga de este informe. Está prohibida la reproducción parcial o total.

Av. Gral. Paz 4748/4750 y Av. de los Constituyentes - Parque Tecnológico Pigeolera (Edificio 31) - 01650BKA
C.C. 152 87316968 San Martín, Pcia. de Buenos Aires - ARGENTINA
Teléfono (56 11) 4735-5794 / 4734-4255 - Correo 4724-6286, 4730019400 - fax: 4453/5500 - email: ceccon@intitg.com.ar



Av. Bri. Juan M. de Rosas 2720 - (B1754FTT) San Justo, Buenos Aires
Tel. (011) 4480-6090 - info@durlock.com
www.durlock.com





INTI

O.T.: 101/8676

Pág.: 2/15

Fecha: 25/11/02

Informe: Sto. Parcial y Final



El programa térmico obtenido y que está dentro de las tolerancias descritas por la norma se da en el ANEXO2, adjunto al presente informe y que forma parte del mismo.

4.1 ESTABILIDAD MECÁNICA

La muestra mantuvo la estabilidad mecánica en todo el transcurso del ensayo.

4.2 ESTANQUEIDAD A LAS LLAMAS

Se detectó fallo de estanqueidad a la llama en el minuto 81 desde el comienzo del ensayo, dando resultado positivo la comprobación realizada con el pad de algodón.

4.3 EMISIÓN DE GASES INFLAMABLES

No se detectó la presencia de gases inflamables en el transcurso del ensayo, dando resultado negativo las comprobaciones realizadas con la llama piloto.

4.4 AISLAMIENTO TÉRMICO

La temperatura de la cara no expuesta se ha registrado en los puntos indicados en el croquis del ANEXO1, adjunto al presente informe y que forma parte del mismo y que pueden observarse en las fotografías del ANEXO4 adjunto al presente informe y que forma parte del mismo.

Se han utilizado termopares de Hierro - Constantán (Tipo J).

Los gráficos de evolución de la temperatura en la superficie de la cara no expuesta de la muestra se dan en el ANEXO3 adjunto al presente informe y que forma parte del mismo.

4.4.1 Temperatura media de la cara no expuesta

Durante el transcurso del ensayo no se alcanzó la temperatura límite de $140^{\circ}\text{C} + T_0$ (T_0 = Temperatura ambiente) como media de los termopares situados en la cara exterior de acuerdo a la norma de referencia.

4.4.2 Temperatura máxima de la cara no expuesta

Durante el transcurso del ensayo no se alcanzó la temperatura límite de $180^{\circ}\text{C} + T_0$ en ninguno de los termopares situados en la cara no expuesta del panel.

Los resultados consignados en este informe corresponden a la muestra recibida en el INTI y al CECON, pudiendo haberse producido modificaciones en los métodos o procedimientos de ensayo durante el tiempo que transcurrió entre la recepción de la muestra y la realización de este informe. Esto constituye la transacción por el presente.



Av. Bri. Juan M. de Rosas 2720 - (B1754FTT) San Justo, Buenos Aires

Tel. (011) 4480-6090 - info@durlock.com

www.durlock.com



an etex company





INTI

O.T.: 101/6676
 Pág.: 3/15
 Fecha: 25/11/02
 Informe: 5to. Parcial y Final



CECON

4.5 OTRAS OBSERVACIONES

- En el minuto 81 se interrumpió el ensayo a solicitud del cliente.

4.6 INCERTIDUMBRE DEL RESULTADO

Debido a la naturaleza de los ensayos de comportamiento al fuego y la consecuente dificultad de cuantificar la incertidumbre de la medida de la resistencia al fuego, no es posible aportar un grado conocido de exactitud en el resultado.

5- CONCLUSIONES

De los datos obtenidos en el ensayo efectuado y de conformidad a la Norma IRAM 11950, se concluye que en las condiciones de ensayo descritas en este informe y para el panel especificado se obtuvieron los resultados expuestos a continuación:

• Estabilidad al fuego	81 MINUTOS (por interrupción del ensayo)
• Estanqueidad a la llama	81 MINUTOS
• No emisión de gases inflamables	81 MINUTOS (por interrupción del ensayo)
• Aislamiento térmico	81 MINUTOS (por interrupción del ensayo)

Por lo tanto, **Pared Doble Placa Estándar de 12,5** ha obtenido la siguiente **CLASIFICACIÓN:**

RESISTENTE AL FUEGO ————— 60 MINUTOS

FR 60



Ing. GONZALO CHAMORRO
U. T. FUEGO



Ing. ANA MARÍA DE PRICE
CECON



Ing. ALEJANDRO SFORZI
CECON

Los resultados consignados se refieren exclusivamente a la muestra recibida, y el INTI y CECON declinan toda responsabilidad por el uso indebido o incorrecto que se hiciera de este informe.

Los resultados consignados se refieren exclusivamente a la muestra recibida, el INTI y CECON declinan toda responsabilidad por el uso indebido o incorrecto que se hiciera de este informe. Esta prohibición la reproducción parcial del mismo.



Av. Bri. Juan M. de Rosas 2720 - (B1754FTT) San Justo, Buenos Aires
 Tel. (011) 4480-6090 - info@durlock.com
 www.durlock.com



Pared Simple Durlock® Rw 46dB

Pared Simple con placa Estándar e: 12,5mm.

Estructura 70mm + Panel de Lana de vidrio Durlock® e: 50mm

 Instituto Nacional de Tecnología Industrial INTI		DT N° FM-102 10549, Parcial 7 N° de páginas del certificado: 5
<h2>Certificado de calibración / medición</h2>		
Objeto:	Pared Simple Durlock®, placas de 12,5 mm, con relleno de paneles de lana de vidrio de 35 kg/m ³ , espesor: 50 mm. Espesor total (mm): 95 Masa superficial (kg/m²): ~ 25	
Determinaciones requeridas:	Medición de Aislación Sonora Aérea en Laboratorio, según norma IRAM 4063.3	
Fecha de calibración / medición:	Enero 2008	
Solicitante:	DURLOCK S.A.	
Lugar de realización	Laboratorio de Acústica Arquitectónica, Unidad Técnica Acústica, Centro de Física y Metrología, INTI	
Buenos Aires, 16 de Septiembre de 2008		
 Ing. LUCIA TARSO COORDINADORA DE ACÚSTICA INTI - FÍSICA Y METROLOGÍA		
<small> Este certificado documenta la fiabilidad o la inexactitud de los resultados, los cuales representan a los clientes de una forma objetiva y comprensible en el Sistema Internacional de Unidades (S.I.). Este certificado no puede ser reproducido parcialmente sin autorización del INTI. La responsabilidad por el uso no autorizado o incorrecto que se haga de este certificado, así como toda responsabilidad por el uso indebido e incorrecto que se haga de este certificado, recae sobre el usuario. Un resultado obtenido en el presente certificado no garantiza los resultados en las aplicaciones en las que se realicen las mediciones. El usuario es responsable de la calibración e intervalos de validez. </small>		



Av. Bri. Juan M. de Rosas 2720 - (B1754FTT) San Justo, Buenos Aires
 Tel. (011) 4480-6090 - info@durlock.com
 www.durlock.com





DT N° 16-102 10548, Párrafo 7, Página 2

Metodología empleada

Los ensayos se efectuaron según los lineamientos de la norma IRAM 4063.3 (eq. ISO 140.3). La partición a ensayar se instaló en la cámara de transmisión horizontal del laboratorio de Acústica Arquitectónica, cerrando un área abierta de 11.9 m², en la forma de montaje habitual.

La excitación sonora del local emisor se efectuó en sucesivas bandas de ruido rosado filtrado en bandas de tercios de octavas, entre 100 Hz y 5000 Hz. Para la generación de las señales sonoras se empleó un sistema automatizado de acústica arquitectónica con filtros electrónicos normalizados según norma IRAM 4061, y la exploración continua del campo sonoro en ambos recintos se efectuó utilizando un brazo rotatorio para micrófono.

A partir de los resultados del Índice de Reducción Acústica en bandas de tercios de octavas, se determinó el Índice de Reducción Acústica Compensado (R_w) según se indica al pie de la Tabla 1 y en la Figura 1, de acuerdo con la norma IRAM 4043 (ISO 717).

Resultados

INDICE DE REDUCCION ACUSTICA, R(f) [dB]	
f [Hz]	UT, Acústica - INTI, método IRAM 4063.3
100	21,3
125	23,0
160	26,9
200	36,0
250	39,9
315	41,5
400	43,7
500	51,2
630	52,3
800	53,6
1000	56,7
1250	59,0
1600	59,4
2000	54,0
2500	48,4
3150	44,7
4000	49,1
5000	53,8

Índice de Reducción Acústica Compensado:
 R_w [dB] = 45

Tabla 1: Pared Simple Durlock®, placas de roca de yeso de 12,5 mm, con relleno de paneles de lana de vidrio de 35 kg/m³, espesor: 50 mm

La información contenida en este documento es confidencial y no debe ser divulgada sin el consentimiento expreso de Durlock.



Av. Bri. Juan M. de Rosas 2720 - (B1754FTT) San Justo, Buenos Aires
 Tel. (011) 4480-6090 - info@durlock.com
 www.durlock.com





Figura 1

Descripción de la muestra:

Tabique formado por dos placas de yeso Durlock® tipo Estándar de 12,5 mm de espesor atomiladas una a cada lado de una estructura de acero galvanizado, con cámara de aire de 70 mm de espesor, con relleno de paneles de lana de vidrio de 35 kg/m³, espesor: 50 mm (Figura 2).

Características de los materiales y procedimiento del armado

Conformada por una estructura de perfiles solera de 70 mm y montante de 69 mm, de chapa de acero galvanizado por inmersión en caliente, fabricados bajo Norma IRAM IAS U 500 243. Los perfiles montante se colocaron con una separación de 40 cm, fijados a las soleras mediante tornillos autorroscantes tipo T1. En el perímetro de la estructura se colocó una banda de material elástico entre perfiles y mampostería.

Dentro de la cámara de 70 mm de ancho conformada por los perfiles, se colocaron paneles de lana de vidrio de 35 kg/m³, espesor: 50 mm.

Sobre ambas caras de la estructura se fijó una capa de placas de yeso Durlock® tipo Estándar, de 12,5 mm de espesor y peso aproximado 8,90 kg/m². Las placas se fijaron a la estructura con tornillos autorroscantes tipo T2 colocados con una separación de 25cm en el centro de la placa y 15 cm en los bordes que conforman las juntas verticales.

[Handwritten signature]

La reproducción y difusión del presente certificado es gratuita siempre y cuando se informe al emisor de la presente copia, impresa y escrita.



Av. Bri. Juan M. de Rosas 2720 - (B1754FTT) San Justo, Buenos Aires
Tel. (011) 4480-6090 - info@durlock.com
www.durlock.com





OT N° PSM-102 10548, Parcial 7
Página 4

En ambas caras se masillaron las fijaciones con dos manos de Masilla Durlock®. las juntas entre placas se tomaron con Masilla Durlock® y cinta de papel microporosa. El procedimiento se realizó en cuatro pasos: 1º-Tomado de juntas, 2º-Pegado de cinta, 3º-Recubrimiento de banda y 4º-Terminación final. Una vez emplacada la estructura, se colocó un sellador acústico en ambas caras de la pared, en todo su perímetro.

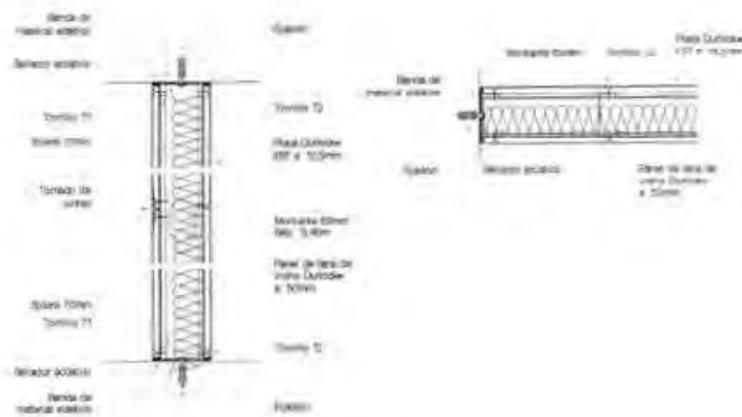


Figura 2 – Descripción del tabique

Incertidumbre de medición

La incertidumbre al 95% en la determinación de R_w es ± 2 dB.

Observaciones:

Los datos especificados en el presente informe para la descripción de las muestras, fueron proporcionados por el promotor.

La reproducción y el uso de este documento están permitidos siempre y cuando se cite a la fuente original y se permita el uso de la información.



Av. Bri. Juan M. de Rosas 2720 - (B1754FTT) San Justo, Buenos Aires
Tel. (011) 4480-6090 - info@durlock.com
www.durlock.com



MEMORIA DE CÁLCULO

Cálculo de muros para sistema de entramado ligero



Gonzalo Moltini
g.moltini@gmail.com

Gonzalo Cabrera
g.cabreraperdigon@gmail.com

Contenido

Introducción	1
Propiedades del material.....	1
Metodología de cálculo	2
Introducción	2
Combinaciones de carga para estado límite último en situación normal	2
Combinaciones de carga para estado límite último en situación accidental	2
Cálculo de los muros.....	3
Acciones sobre la estructura	3
Acciones de viento sobre la cubierta	3
Acciones de viento sobre los muros	4
Acciones debidas al peso propio	6
Sobrecargas impuestas	6
Combinaciones de carga	6
Combinaciones de carga para estado límite último.....	6
Combinaciones de carga para estado límite último en el caso de incendio	7
1. Verificación de muros de corte	8
Acciones.....	8
Modelo de cálculo y determinación de los esfuerzos o sollicitaciones	9
Estados Límite Últimos: método de verificación en muros de corte.....	10
2. Montante de los muros de entramado	18
Acciones	18
Estados Límite Últimos	21
Verificaciones en situaciones persistentes o transitorias.....	25
Verificaciones de ELU en situación accidentales de incendio.....	26
Conclusiones.....	28



Introducción

Este documento presenta la memoria de cálculo de seguridad estructural para muros con sistema estructural de entramado. El material utilizado es Pinus elliotti/taeda, se considera que está clasificado visualmente (UNIT 1261:2018) como C14 de acuerdo con la normativa europea EN 338:2016. La memoria de cálculo considera la seguridad estructural en el caso de acciones normales y accidentales (para el caso de incendio), siguiendo el método de los estados límite.

Se toman los métodos y valores de cálculo establecidos por la normativa europea con la excepción de la normativa uruguaya de viento para el cálculo de la velocidad de viento:

- UNIT 50:84 Acción de viento sobre construcciones (1984)
- EN 1990:2002+A1:2005 Bases de diseño estructural (2005)
- EN 1991-1-1:2002 Acciones sobre estructuras. Acciones generales – Densidades, pesos específicos y cargas impuestas para construcciones (2002)
- EN 1991-1-4:2005+A1:2010 Acciones sobre estructuras. Acciones generales – Acciones de viento (2010)
- EN 1995-1-1:2004+A1:2008 Diseño de estructuras de madera. Parte 1-1: General – Reglas comunes y reglas para construcciones (2008)
- EN 1995-1-2:2004 Diseño de estructuras de madera. Parte 1-2: General – Diseño estructural en caso de incendio
- EN 338:2016 Madera Estructural – Clases resistentes (2016)
- CTE DB SE-M

Propiedades del material

Clase resistente	C14
$f_{m,k}$ (N/mm ²)	14
$f_{t,o,k}$ (N/mm ²)	7.2
$f_{t,90,k}$ (N/mm ²)	0.4
$f_{c,o,k}$ (N/mm ²)	16
$f_{c,90,k}$ (N/mm ²)	2
$f_{v,k}$ (N/mm ²)	3
$E_{m,o,mean}$ (N/mm ²)	7000
$E_{m,o,k}$ (N/mm ²)	4700
$E_{m,90,mean}$ (N/mm ²)	230
G_{mean} (N/mm ²)	440
ρ_{mean} (kg/m ³)	350
ρ_k (kg/m ³)	290



Metodología de cálculo

Introducción

Los cálculos de seguridad estructural se realizan siguiendo el Método de los Estado Límite definidos por la normativa EN 1995-1-1 para madera aserrada.

Combinaciones de carga para estado límite último en situación normal

Las combinaciones en estado límite último ELU, vienen dadas en el apartado 6 de la normativa EN1990:2002+A1:2005.

$$E_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{K,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j}^* G_{K,j}^* + \gamma_{Q,1} Q_{K,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \varphi_{0,i} Q_{K,i}$$

Con G_K el valor de la carga permanente, $Q_{K,1}$ el valor de la carga variable principal, $Q_{K,i}$ el valor de las restantes cargas variables simultaneas, γ es el coeficiente de combinación de las diferentes cargas (ya sean permanentes o variables) y φ el coeficiente de simultaneidad.

Para verificar el estado límite último, los valores de resistencia de diseño tienen que superar a los valores de las sollicitaciones de diseño.

$$R_D \geq E_D$$

$$R_D = \frac{k_{mod} R_K k_{sys}}{\gamma_M}$$

Con k_{mod} el valor de modificación de la resistencia (en función de la duración de la carga y clase de servicio) en la tabla siguiente se muestran los valores utilizados en esta memoria, R_K el valor de resistencia característico del elemento, k_{sys} el coeficiente de carga compartida (en este caso se considera unitario) y γ_M el coeficiente parcial de seguridad del material (1.3 en el caso de madera aserrada).

Elemento	Duración de la carga	k_{mod}
Madera aserrada	Permanente	0.6
	Corta	0.9

Combinaciones de carga para estado límite último en situación accidental

Las combinaciones se articulan de la misma forma, tomando el factor de combinación de las diferentes (γ) cargas como unitario.

Los valores de cálculo de resistencia se modifican

$$R_D = \frac{k_{mod,fi} R_{20}}{\gamma_{M,fi}}$$

Con $k_{mod,fi}$ tomando el valor unitario para todos los casos (considerando el método de la sección reducida), $R_{20} = k_{fi} R_k$ con $k_{fi} = 1.25$, $\gamma_{M,fi}$ el coeficiente parcial de seguridad en situación de incendio (unitario en este caso).

El cálculo de la sección resultante se realiza según el método de la sección reducida (EN 1995-1-2:2004). La velocidad de carbonización se considera como:

Elemento	β_0 (mm/min)	β_n (mm/min)
Madera aserrada $\rho_k \geq 290 \text{ kg/m}^3$	0.65	0



Cálculo de los muros

Acciones sobre la estructura

Acciones de viento sobre la cubierta

Son de aplicación las normas UNIT 50-84 para calcular la velocidad básica de viento y el Eurocódigo 1: Acciones sobre estructuras para el cálculo de los coeficientes de presión.

Como hipótesis de cálculo se considera la estructura ubicada dentro de la franja costera (No mas de 25 km de la costa atlántica, río de la plata o río Uruguay). Se toma como valor de la velocidad característica de viento el valor:

$$v_K = 43.9 \frac{m}{s}$$

A fin de poder utilizar los cálculos del EC1, se debe convertir esta velocidad característica en velocidad básica de viento. Se realiza una conversión de forma tal que se considera la diferencia en tiempo de medición de racha (3 segundos a 10 minutos) y un período de retorno mayor (de 20 años a 50 años). La velocidad básica resultante es:

$$v_b = 29.3 \frac{m}{s}$$

Para calcular la presión dinámica de cálculo debemos considerar el terreno donde se encuentra. Se considera un tipo de terreno Tipo III, teniendo entonces:

$$z_0 = 0,3 \text{ m}$$

$$z_{min} = 5 \text{ m}$$

Se calcula:

$$k_r = 0.19 \left(\frac{0.3}{0.05} \right)^{0.07} = 0.22$$

$$c_r = k_r \ln \left(\frac{z_{min}}{z_0} \right) = 0.62$$

$$c_o = 1$$

La presión dinámica de cálculo se toma como:

$$q_b = \frac{\rho v_b^2}{2} = 536.6 \text{ Pa}$$

Queda determinar ahora los coeficientes de presión en función de la estructura.

Los factores $c_s c_d$ se toman como 1.

La luz máxima de las vigas de cubierta es de 3.3 m, considerando una separación tentativa entre viguetas de 40 cm, se obtiene como resultado un área de influencia de cada vigueta de 1,32 m². A fin de simplificar este paso se tomará como área de influencia de 1 m² (esta hipótesis está del lado de la seguridad).

Se analizan las cuatro direcciones posibles de viento. Dada la disposición en planta de la estructura se obtienen dos posibles combinaciones críticas. En la Figura 1 se puede observar el caso



considerado (Cubierta plana con pretilas). Las zonas F, G, H e I corresponden a distintas zonas de acciones del viento.

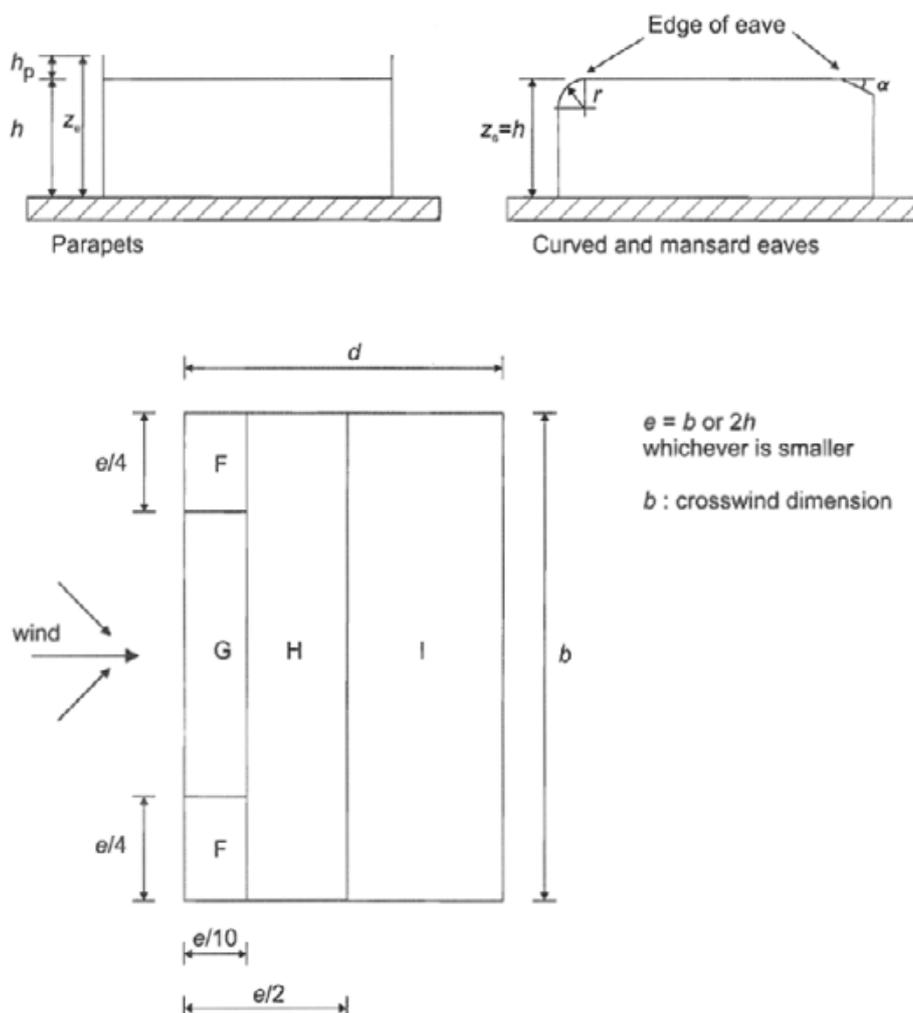


Figure 7.6 — Key for flat roofs

Figura 1: Esquema de viento (EN 1991-1-4:2005+A1:2010)

Los dos casos más desfavorables son:

- Viga ubicada en la zona adyacente al viento, influenciada por las regiones F y G, se produce succión en la cubierta por lo que se obtiene

$$c_{pe} = \begin{cases} -1.8 & \text{Zona F} \\ -1.4 & \text{Zona G} \end{cases}$$

- Viga ubicada en la región I, por lo tanto, tiene una posible presión en la cubierta

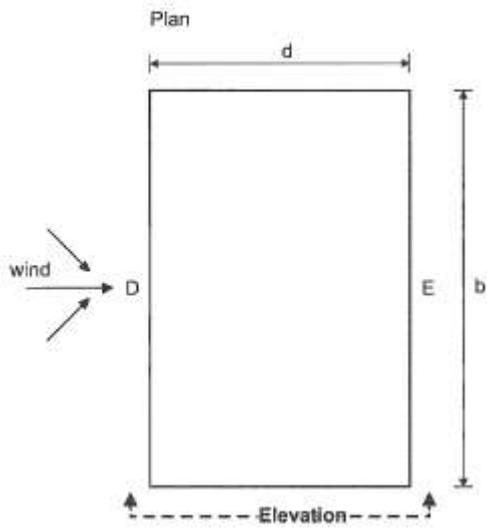
$$c_{pe} = +0.2$$

Los coeficientes de acciones resultantes para los casos mas desfavorables son al considerar presión interna en el caso 1, y succión interna en el caso 2. En ambos casos se considera el valor del coeficiente de presión interna como $c_{pi} = \pm 0.35$ (opción más desfavorable).

Acciones de viento sobre los muros

Se consideran dos direcciones de viento principales, perpendiculares a ambas caras, el procedimiento se realiza de la misma forma que la cubierta, teniendo en cuenta los distintos coeficientes de presión.

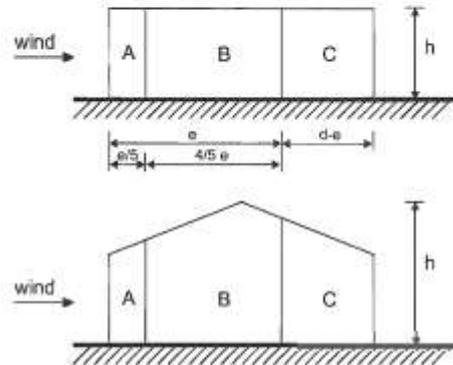




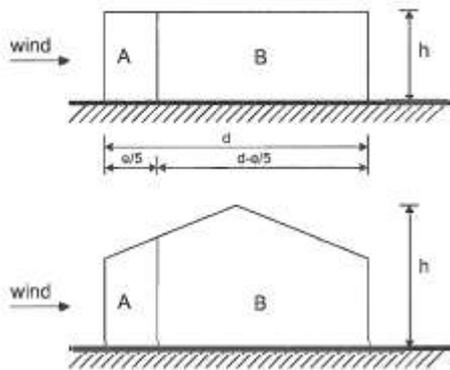
$e = b$ or $2h$,
whichever is smaller

b : crosswind dimension

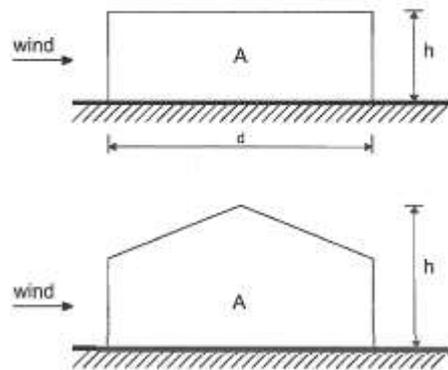
Elevation for $e < d$



Elevation for $e \geq d$



Elevation for $e \geq 5d$



Acciones debidas al peso propio

Para el peso propio de la cubierta se considera el peso propio del "paquete" constructivo (Figura 2).

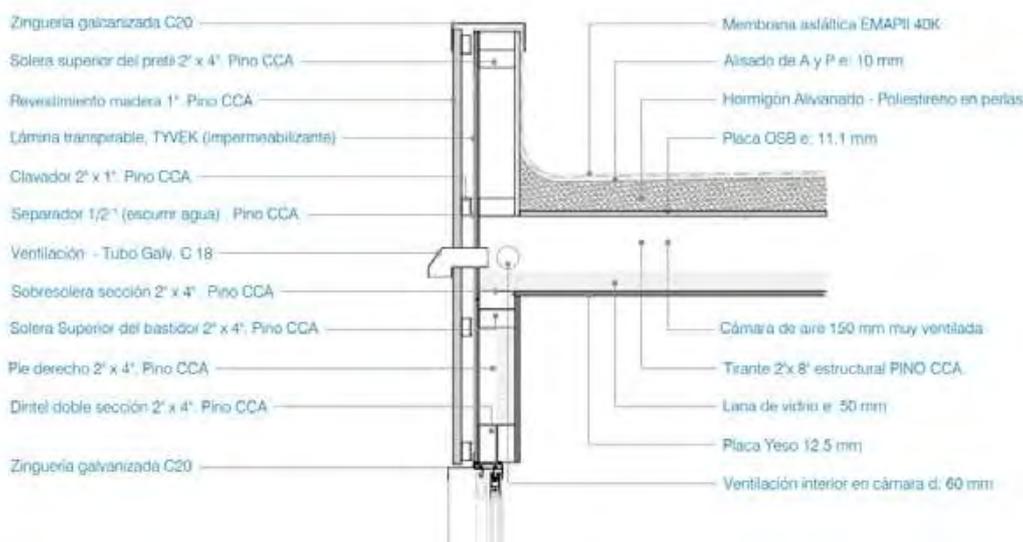


Figura 2: Elementos constructivos de la cubierta

Considerando los pesos específicos dados por la normativa EN 1991-1-1:2002 se calcula:

$$q_{CP} = 1.36 \frac{kN}{m^2}$$

Se considera una carga debida al peso propio de los muros de:

$$q = 0.4 \frac{kN}{m^2}$$

Sobrecargas impuestas

Se considera el caso de cubierta accesible solamente con fines de mantenimiento. La normativa nos da un rango de valores aceptables (que pueden ser modificadas en base al anexo nacional), dado que la normativa uruguaya no está incluida en los considerados por el Eurocódigo, se tomarán los valores recomendados.

- Una sobrecarga distribuida en una superficie $q_k = 1.0 \text{ kN/m}^2$

Combinaciones de carga

Combinaciones de carga para estado límite último

Se consideran 4 posibles combinaciones de carga.. Las combinaciones y los valores de cálculo del coeficiente k_{mod} utilizado se presentan en la siguiente tabla.

Combinación	Ecuación	k_{mod}
Carga permanente	CP	0.6
Mantenimiento	$1.35 CP + 1.5 M + 1.5 \cdot 0.6 V1$	0.9
Viento 1	$1.35 CP + 1.5 V1$	0.9
Viento 2	$0.8 CP + 1.5 V2$	0.9

Combinaciones de carga para estado límite último en el caso de incendio
Se consideran 2 posibles combinaciones de carga.

Combinación	Ecuación	$k_{mod,fi}$
Viento 1	$CP + 0.5 V1$	1.0
Viento 2	$CP + 0.5 V2$	1.0



1. Verificación de muros de corte

Los muros de corte se conforman por entramados verticales de madera con paramentos de tableros estructurales, como pueden ser los tableros OSB, contrachapados u otros. En la edificación de estudio, los entramados de madera están compuestos por los montantes y testeros, a los que se fijan tableros OSB de 12 mm en la cara exterior. Los muros de corte de la edificación se corresponden con los muros exteriores.

Los cuatros muros exteriores de la estructura presentan una geometría rectangular y se identificarán como M1 a M4. La Tabla 1.1 presenta un resumen de la geometría de cada muro.

Tabla 1.1. Geometría de los muros de corte

Muro	Longitud (m)	Altura máxima (m)
M1 y M2	7,20	3,00
M3 y M4	7,40	3,00

Acciones

Cargas Permanentes

No existen acciones permanentes que provoquen esfuerzos de corte o de flexión de los muros. Las cargas permanentes sobre los muros se tendrán en cuenta posteriormente en el dimensionado de los elementos que lo componen (montantes y testeros)

Cargas Variables

Acciones que provocan esfuerzos de flexión en los muros

La única acción variable que genera flexión en los tableros del muro es la acción del viento.

Así, considerando la acción de presiones exteriores la carga máxima que puede actuar sobre el tablero exterior es $q_{v,ext}^{OSB} = 0,64 \text{ kPa}$.

La carga de viento se considera desfavorable para el cálculo a flexión de los tableros, por lo que el coeficiente de simultaneidad de las acciones toma el valor 1,5.

En la 1.2 se presenta la única combinación a considerar para la verificación a flexión de los tableros y los valores de cálculo de las cargas sobre el tablero exterior e interior.

Tabla 1.2. Valores de cálculo de las combinaciones de acciones persistentes o transitorias en los tableros OSB del muro

Combinación	$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j}$	+	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$	+	$\sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \phi_{0,i} Q_{k,i}$	Valor de cálculo $q_{v,ext}^{OSB}$ kPa
1 Variable	0	+	1,5W	+	0	0,96



Acciones que provocan esfuerzos de cortante en los muros

Al igual que en el caso anterior, la única acción variable que genera esfuerzos de corte en los muros es la acción del viento. Las cargas de viento que inciden sobre los muros cortos y sobre los muros largos, se determinan en función del estudio de viento presentado, considerando únicamente las presiones externas, dado que las internas no tienen un efecto global sobre la estructura a efectos de estabilidad. De esta manera las presiones resultan en la zona D de incidencia del viento $q_{v,ext}^D = 0,38 \text{ kPa}$, mientras que en la zona E (cara opuesta a la de incidencia del viento) $q_{v,ext}^E = 0,16 \text{ kPa}$.

La carga de viento se considera desfavorable para el dimensionado de los muros, por lo que el coeficiente parcial de seguridad de las acciones toma el valor 1,5.

En la Tabla 1.3 se presenta entonces la única combinación a considerar para realizar el dimensionado de los muros, con los valores de cálculo de las acciones sobre cada zona comentada.

Tabla 1.3. Valores de cálculo de las combinaciones de acciones persistentes o transitorias en los muros de corte

Combinación	$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j}$	+	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$	+	$\sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \varphi_{0,i} Q_{k,i}$	Valor de cálculo	
						$q_{v,ext}^D$ kPa	$q_{v,ext}^E$ kPa
1 Variable	0	+	1,5 W	+	0	0,57	0,24

Modelo de cálculo y determinación de los esfuerzos o solicitaciones

En función de los valores de cálculo que se presentan en la Tabla 1.3 y de las áreas de influencia correspondientes, se determina la fuerza horizontal $F_{d,Mi}$ que solicita cada muro. Así, la fuerza horizontal que solicita a los muros M1 y M2 queda determinada por las presiones que inciden sobre los muros M3 y M4 (F_d^{muro}), cuando el viento actúa perpendicularmente a ellos, tal y como se muestra a continuación:

$$F_{d,M1} = F_{d,M2} = F_d^{muro} = 4.467,2 \text{ N}$$

donde,

$$F_d^{muro} = \frac{(q_{v,ext}^D + q_{v,ext}^E) \cdot 7,4 \text{ m} \cdot 3,0 \text{ m}}{4}$$

Por otro lado, la fuerza horizontal que solicita a los muros M3 y M4 queda determinada por las presiones que inciden sobre los muros M1 y M2 (F_d^{muro}) cuando el viento actúa perpendicularmente a ellos, tal y como se muestra a continuación:

$$F_{d,M3} = F_{d,M4} = F_d^{muro} = 4.346,5 \text{ N}$$



$$F_d^{muro} = \frac{(q_{v,ext}^D + q_{v,ext}^E) \cdot 7,2 \text{ m} \cdot 3,0 \text{ m}}{4}$$

Estados Límite Últimos: método de verificación en muros de corte

Verificación de la flexión de los tableros OSB

Se verificará que los tableros son capaces de soportar la flexión que producen las acciones de viento sobre ellos, a través de la relación $\sigma_{m,d} \leq f_{m,di}$ donde, $\sigma_{m,d}$ es la tensión de cálculo a flexión y $f_{m,d}$ es la resistencia de cálculo a flexión.

Verificación de la resistencia al descuadre

La resistencia al descuadre de cada muro se verifica a través del análisis simplificado que provee el CTE DB SE M en la sección 10.4.2.2., y que coincide con el Método A propuesto por el actual Eurocódigo 5. Cabe destacar que para que este método sea de aplicación el muro debe estar correctamente anclado de modo que su levantamiento esté impedido por medio de anclajes Hold-down, por ejemplo. Así, los pasos a seguir para la verificación de la resistencia al descuadre de los muros son los siguientes:

1º. Obtención de la capacidad de carga de los elementos de fijación -clavos- ($F_{f,Rk}$)

La capacidad de carga lateral para cada elemento de fijación se obtuvo a partir de las ecuaciones de Johansen para el caso de unión madera-madera a cortante simple, multiplicando el valor obtenido por 1,2, según lo indica la cláusula 4 de la sección 10.4.2.2. del Código Técnico de la Edificación de España.

Así, el valor característico de la capacidad de carga lateral por elemento de fijación $F_{f,Rk}$ se obtuvo como el menor valor de los siguientes:

$$F_{f,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \\ f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d \\ \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2 \cdot \beta^2 \cdot \left(1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right) + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \cdot \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] \\ 1,05 \cdot \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4,5 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] \\ 1,05 \cdot \frac{f_{h,1,k} \cdot t_2 \cdot d}{1 + 2 \cdot \beta} \left[\sqrt{2 \cdot \beta^2 \cdot (1 + \beta) + \frac{4,5 \cdot \beta \cdot (1 + 2 \cdot \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_2^2}} - \beta \right] \\ 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \end{array} \right.$$

donde,

d_i es el diámetro del elemento de fijación

t_{i1} es el espesor del tablero o de la pieza o profundidad de penetración, referida a la pieza 1 o la pieza 2

$f_{h,i,k}$ es la resistencia característica al aplastamiento en la pieza i

$M_{y,Rk}$ es el momento plástico característico



$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}}$$

La resistencia característica al aplastamiento en clavos con diámetro menor o igual a 8 mm, para cualquier ángulo con respecto a la fibra y sin taladro previo, como es el caso de estudio, se obtiene de la ecuación que se presenta a continuación:

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3}$$

donde,

ρ_k es la densidad característica (kg/m³) y d es el diámetro del clavo (mm).

El valor de cálculo ($F_{f,Rd}$) se obtuvo considerando el coeficiente de modificación $k_{mod} = 0,9$ por tratarse de una combinación de acciones de corta duración y de una clase de servicio 1; y el coeficiente de seguridad para los materiales fue de $\gamma_M = 1,3$.

2º. Obtención de la resistencia al descuadre de un muro diafragma ($F_{v,Rd}$)

El método simplificado establece que la resistencia al descuadre de un muro diafragma ($F_{v,Rd}$) del tipo que presenta la vivienda de estudio se puede obtener a través de las siguientes ecuaciones.

$$F_{v,Rd} = \sum F_{i,v,Rd}$$

siendo,

$$F_{i,v,Rd} = \frac{F_{f,Rd} \cdot b_i \cdot c_i}{s}$$

donde,

$F_{f,Rd}$ es el valor de cálculo de la capacidad de carga lateral por elemento de fijación

$F_{i,v,Rd}$ es el valor de la capacidad de carga de cada uno de los

s , es la separación entre elementos de fijación.

b_i es la anchura del módulo

$c_i = 1$ para $b_i \geq h/2$

$c_i = b_i / (h/2)$ para $b_i < h/2$

Verificación del pandeo del tablero

La verificación a pandeo del tablero puede desprejarse si se cumple la relación mostrada en la ecuación Error! Reference source not found..

$$\frac{b_{net}}{t} \leq 65$$

donde,

b_{net} es el espacio libre entre montantes

t es el espesor del tablero



En este caso se tiene que el espacio libre entre montantes es $b_{net} = 400$ mm aproximadamente, y el espesor de los tableros es $t = 12$ mm. Por lo tanto, se cumple la relación de la ecuación pudiendo despreciar así la verificación a pandeo.

Determinación de las fuerzas sobre los montantes ($F_{i,c,Sd}$ y $F_{i,t,Sd}$)

Las acciones horizontales que actúan sobre cada tablero generan fuerzas tanto de tracción ($F_{i,t,Sd}$) como de compresión ($F_{i,c,Sd}$) sobre los montantes del muro entramado. Un esquema de la distribución de esfuerzos se puede observar en la Figura 1.1.

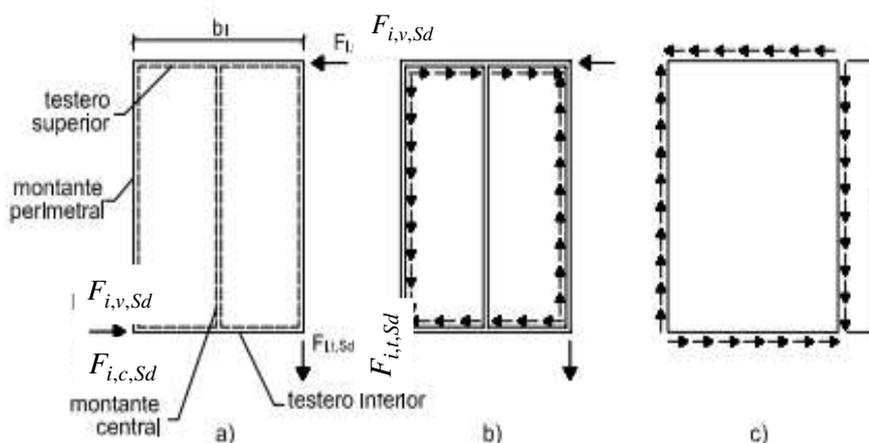


Figura 1.1. Fuerzas sobre un panel debido a las acciones horizontales (extraído de CTE DB SE-M)

Las fuerzas de tracción y compresión se pueden determinar a partir de la siguiente ecuación.

$$F_{i,c,Sd} = F_{i,t,Sd} = \frac{F_{i,v,Sd} \cdot h}{b_i}$$

donde,

$F_{i,v,Sd}$ es la fuerza horizontal que actúa sobre cada tablero i que compone los muros.

Verificaciones en situaciones persistentes o transitorias

Flexión de los tableros OSB

La geometría del tablero OSB exterior se presenta en la Tabla 1.4. La Tabla 1.5 presenta las propiedades del material de los paneles involucradas en el dimensionado.

Tabla 1.4. Propiedades geométricas del tablero exterior

Elemento	Tableros OSB
Dimensiones (mm x mm)	1.220 x 2.440
Espesor tablero exterior (mm)	11.1
Área de la sección por metro lineal, $A = bh$ (mm ²)	11100
Módulo resistente en su plano por metro lineal, $w_y = bh^2/6$ (mm ³)	20535
Momento de inercia en su plano por metro lineal, $I_y = bh^3/12$ (mm ⁴)	



Tabla 1.5. Propiedades del material de los tableros

Elemento	Tableros OSB/3
Resistencia a flexión longitudinal, $f_{m,k,l}$ (N/mm ²)	16,4
Resistencia a flexión transversal, $f_{m,k,t}$ (N/mm ²)	8,2
Módulo de elasticidad medio paralelo, $E_{m,0}$ (N/mm ²)	4.930
Módulo de elasticidad medio perpendicular, $E_{m,90}$ (N/mm ²)	1.980

Para la verificación estructural, se consideró el tablero de mayor dimensión apoyado sobre los testeros y los montantes del muro entramado; por lo tanto, como esquema de cálculo se consideró el de un elemento de losa o placa simplemente apoyado en sus cuatro bordes, con dos apoyos adicionales longitudinales a los tercios de su anchura, correspondiente a los apoyos sobre los otros montantes. Las verificaciones estructurales se realizaron considerando un ancho del tablero de 1000 mm.

La Tabla 1.6 muestra las verificaciones estructurales correspondientes al tablero exterior, para la única combinación de acciones existente, considerada como de corta duración ($k_{mod} = 0,90$)

Tabla 1.6. Verificación de flexión en el tablero exterior

Solicitaciones	$M_{d,l}$ (Nmm/m)	23.562
	$M_{d,t}$ (Nmm/m)	56.355
Tensiones	$\sigma_{m,d,l}$ (N/mm ²)	1.15
	$\sigma_{m,d,t}$ (N/mm ²)	2.74
Resistencias	$f_{m,d,l}$ (N/mm ²)	12.30
	$f_{m,d,t}$ (N/mm ²)	6.15
Verificaciones	$\frac{\sigma_{m,d,l}}{f_{m,d,l}}$	0,09 < 1
	$\frac{\sigma_{m,d,t}}{f_{m,d,t}}$	0,45 < 1

Dado que la relación entre las tensiones de flexión y las resistencias es menor a 1, se verifica que el dimensionado de los tableros verifican el esfuerzo de flexión.

Resistencia al descuadre

1º. Obtención del valor de diseño de la capacidad de carga de los clavos ($F_{f,Rd}$)

La Tabla 1.7 presenta los parámetros de interés para el cálculo de los valores característicos ($F_{f,Rk}$) y de diseño ($F_{f,Rd}$) de la capacidad de carga de los elementos de fijación del panel exterior, cuyos valores se muestran en la Tabla 1.8. Los valores de diseño se calculan teniendo en cuenta un valor $k_{mod} = 0,9$ y $\gamma_M = 1,3$.



Tabla 1.7. Parámetros de interés para el cálculo de la capacidad de carga de los clavos

Parámetro	Valor
Densidad característica de elementos del muro entramado (kg/m ³)	290
Densidad característica de tableros OSB (kg/m ³)	550
Diámetro del conector d (mm)	5
Longitud del conector l (mm)	50
Separación entre los conectores s (mm)	200
Momento plástico característico del conector $M_{y,Rk}$ (Nmm)	8274
Resistencia característica al aplastamiento de tableros OSB $f_{h,k,1}$ (N/mm ²)	27,83
Resistencia característica al aplastamiento de elementos del muro entramado $f_{h,k,2}$ (N/mm ²)	14,67

Tabla 1.8. Valores de $F_{f,Rk}$ y $F_{f,Rd}$ para cada tablero

Panel	$F_{f,Rk}$ (N)	$F_{f,Rd}$ (N)
Panel Exterior: Unión con tablero OSB 11.1 mm	1186,3	821,3

3°. Obtención de la resistencia al descuadre de un muro diafragma ($F_{v,Rd}$)

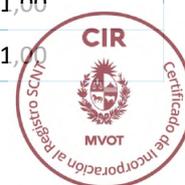
Las siguientes figuras (Figura 1.2, Figura 1.3, Figura 1.4 y Figura 1.5) presentan los distintos módulos considerados para los muros M1, M2, M3 y M4, respectivamente. Las siguientes tablas (Tabla 1.9, Tabla 1.10, Tabla 1.11 y Tabla 1.12) presentan la geometría de los distintos módulos para los paneles M1, M2, M3 y M4, respectivamente.



Figura 1.2. Módulos considerados en el muro M1 (delimitados en color negro)

Tabla 1.9. Geometría de módulos considerados en el muro M1

Módulo	b (mm)	h (mm)	c
m1	1.220	2.440	1,00
m2	1.220	2.440	1,00
m3	1.220	2.440	1,00



m4	1.100	2.440	0,90
m5	1.220	2.440	1,00
m6	1.220	2.440	1,00



Figura 1.3. Módulos considerados en el muro M2 (delimitados en color negro)

Tabla 1.10. Geometría de módulos considerados en el muro M2

Módulo	b (mm)	h (mm)	c
m1	1.220	2.440	1,00
m2	1.220	2.440	1,00
m3	1.220	2.440	1,00
m4	1.100	2.440	0,90
m5	1.220	2.440	1,00
m6	1.220	2.440	1,00



Figura 1.4. Módulos considerados en el muro M3 (delimitados en color negro)



Tabla 1.11. Geometría de módulos considerados en el muro M₃

Módulo	b (mm)	h (mm)	C
m ₁	1.220	2.440	1,00
m ₂	1.220	2.440	1,00
m ₃	1.220	2.440	1,00

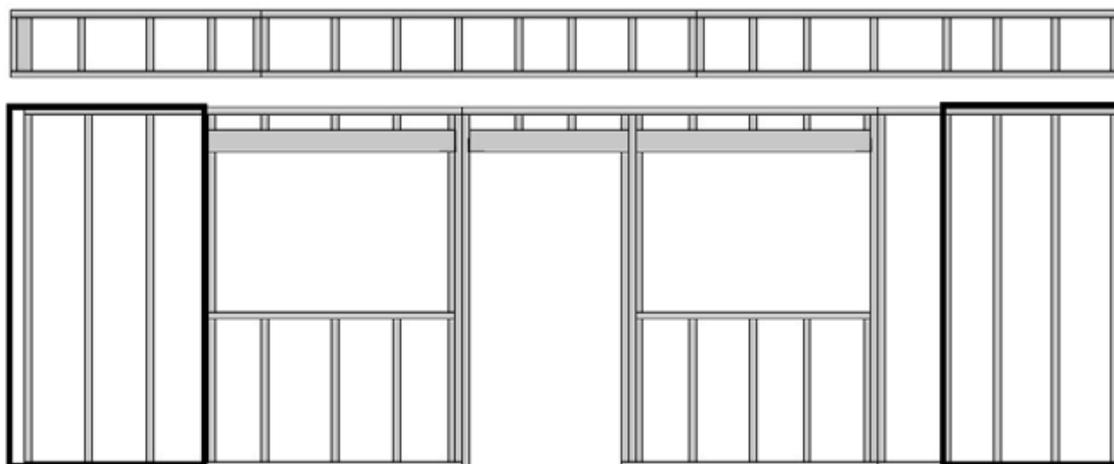


Figura 3. Módulos considerados en el muro M₄ (delimitados en color negro)

Tabla 1.12. Geometría de módulos considerados en el muro M₄

Módulo	b (mm)	h (mm)	c
m ₁	1220	2440	1,00

A partir de los datos geométricos de los tableros y de la capacidad de carga lateral de los elementos de fijación, es posible obtener la resistencia al descuadre de cada paramento y por ende también de los muros.

En la Tabla 1.13 se presenta la resistencia al descuadre ($F_{v,Rd}$) del muro diafragma para cada uno de los muros (M₁, M₂, M₃ y M₄) y en la Tabla 1.14 la verificación correspondiente al muro con menor capacidad de carga.

Tabla 1.13. Valores de resistencia al descuadre de cada muro

Muro	$F_{v,Rd}$ (N)
M1	28693
M2	28693
M3	14808
M4	4936

Tabla 1.14. Verificación de la resistencia al descuadre del muro M₄

Muro	F_d (N)	$F_{v,Rd}$ (N)	$F_d/F_{v,Rd}$ (N)
M ₄	4.346	5.010	0,88 < 1

Dado que la relación entre la fuerza horizontal resultante de la acción del viento que actúa sobre los muros y la resistencia al descuadre de cada muro es menor que 1, se verifica la condición de resistencia al descuadre.

Fuerzas sobre los montantes

Por último, se determinan las fuerzas de tracción y compresión que actúan sobre los montantes, y que más adelante serán tenidas en cuenta en el diseño de la sección del montante de muro entramado.

Para determinar la fuerza que actúa sobre cada tablero OSB, se considera que la fuerza horizontal total se distribuye uniformemente sobre los distintos tableros OSB del muro que contribuyen a la resistencia al descuadre.

Así, la fuerza horizontal total aplicada sobre la anchura de cada tablero OSB ($F_{i,v,Sd}$), definida en la Figura 1.1, queda determinada de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$F_{i,v,Sd} = F_d \cdot \frac{b_i}{b_{tot}}$$

donde,

F_d , es la fuerza horizontal a la que está solicitado el muro correspondiente

b_i , es el ancho del panel sobre el que se quiere determinar el esfuerzo

b_{tot} , es el ancho total de los paneles que contribuyen a la resistencia al descuadre del muro correspondiente

Por lo tanto, la máxima fuerza de tracción ($F_{i,t,Sd}$) y compresión ($F_{i,c,Sd}$) que actúa sobre un montante resulta:

$$F_{i,c,Sd} = F_{i,t,Sd} = F_d \cdot \frac{b_i}{b_{tot}} \cdot \frac{h}{b_i} = \frac{F_d \cdot h}{b_{tot}}$$

El caso más desfavorable corresponde al muro M₄, resultando:

$$F_{i,c,Sd} = F_{i,t,Sd} = 5,4 \text{ kN}$$

Esta fuerza de compresión y tracción será considerada a la hora de dimensionar el montante en el apartado 2 del presente capítulo. Cabe destacar que estas fuerzas provienen de la acción del viento sobre la estructura, que ya se encuentran mayoradas por el coeficiente de seguridad parcial para las acciones de valor 1,5.



2. Montante de los muros de entramado

Se verificará el caso más desfavorable. La geometría del montante de diseño, así como también las propiedades del material que lo constituye se presentan en la

Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Propiedades geométricas de la pieza y propiedades del material

Elemento	Montante de muro entramado
Luz (mm)	2.44
Sección, $(b \times h)$ (mm ²)	46x96
Área de la sección, $A = bh$ (mm ²)	4416
Módulo resistente en su plano, $w_y = bh^2/6$ (mm ³)	70656
Módulo resistente en el plano perpendicular, $w_z = hb^2/6$ (mm ³)	33856
Momento de inercia en su plano, $I_y = bh^3/12$ (mm ⁴)	3391488
Momento de inercia en el plano perpendicular, $I_z = hb^3/12$ (mm ⁴)	778688
Ancho de paño (m)	0,40
Clase resistente	C14
Resistencia a flexión, $f_{m,k}$ (N/mm ²)	14,0
Resistencia a tracción paralela a la fibra, $f_{t,0,k}$ (N/mm ²)	7,2
Resistencia a compresión paralela a la fibra, $f_{c,0,k}$ (N/mm ²)	16,0
Resistencia a cortante, $f_{v,k}$ (N/mm ²)	3,0
Densidad característica, ρ_k (kg/m ³)	290
Densidad media, ρ_{mean} (kg/m ³)	350
Clase de servicio	1

Acciones

Cargas permanentes

Las cargas permanentes (G) que actúan sobre el montante corresponden al peso del propio montante, a la descarga proveniente del peso de los tableros de cerramiento y a la descarga proveniente del peso de la cubierta. La carga axial máxima producida por el peso propio del montante de cálculo es $G_{k,p,mon} = 0,09$ kN.

La composición del cerramiento es tal que resulta en una carga superficial de 1.36 kN/m². Dado que el área de influencia máxima de cubierta que descarga sobre los montantes es de 0.98 m², se obtiene una carga puntual $G_{k,p,cub} = 1.33$ kN.



El peso del cerramiento de los muros resulta en una carga superficial de 0,40 kN/m². Considerando que el ancho de paño que soportan los montantes es de 0,40 m, se obtiene una carga lineal distribuida $g_{k,p,muro} = 0,16$ kN/m.

Cargas variables

Como sobrecarga de uso sobre el montante se considera la correspondiente a la categoría de uso G1, que corresponde a cubiertas accesibles únicamente para conservación, con una inclinación menor a 20°. De este modo, se considera una carga distribuida de 1,0 kN/m² que actúa sobre un área de influencia máxima de la cubierta de 0.98 m², lo que resulta en una carga puntual sobre el montante de $Q_{k, scu} = 0.98$ kN. No se considera en este caso la carga puntual definida en la categoría G1 dado que se entiende muy poco probable que esta actúe sobre el montante.

En función del estudio de viento, se determinan las cargas de viento que inciden tanto sobre la cubierta como sobre los muros. Para simplificar el análisis se analizan los casos más restrictivos. Esto implica:

- En la cubierta, considerar la máxima carga de presión existente de 0,30 kN/m², obtenida para un coeficiente de presión +0,55 que, aplicándola en el área máxima de influencia de 0.98 m², resulta en una carga puntual sobre el montante de $Q_{k,w}^1 = 0,29$ kN.
- En la cubierta, considerar la máxima carga de succión existente de 1,15 kN/m², obtenida para un coeficiente de presión -2,15 que, aplicándola sobre el área máxima de influencia de 0.98 m², resulta en una carga puntual sobre el montante de $Q_{k,w}^2 = 1,13$ kN.
- En el muro, considerar la máxima carga de succión existente de 0.83 kN/m², obtenida para un coeficiente de presión -1.55 que, aplicándola en el ancho de paño de 0,40m, se traduce en una carga lineal distribuida sobre el montante de $q_{k,w} = 0,33$ kN/m.

Se considera, además, la fuerza de compresión y tracción resultante del descuadre de los muros, con valor de cálculo 5,4 kN, ya mayoradas por el coeficiente parcial de seguridad para la acción de viento de valor 1,5. El valor característico resulta $Q_{k,w}^3 = 3,56$ kN.

Se resumen en la *Tabla* los valores característicos de las distintas cargas consideradas para el diseño del montante del muro entramado.

Tabla 2.2. Hipótesis simples de cargas sobre el montante de muro entramado

Cargas		superficial	lineal	puntual
		(kN/m ²)	(kN/m)	(kN)
$G_{k,p,mon}$	Carga permanente (CP)	-	-	0,05 ¹
$G_{k,p,cub}$	Carga permanente (CP)	1,36	-	1,33 ¹
$g_{k,p,muro}$	Carga permanente (CP)	0,40	0,16 ¹	-
$Q_{k, scu}$	Sobrecarga de uso (SU)	1,0	-	0,98 ¹
$Q_{k,w}$	Sobrecarga de viento (W1)	0,30	-	0,29 ¹



$Q_{k,w}^2$	Sobrecarga de viento (W2)	1,15	-	1,13 ³
$q_{k,w}$	Sobrecarga de viento (W1 y W2)	0,83	0,33 ²	-
$Q_{k,w}^3$	Sobrecarga de viento (W1 y W2)	-	-	3,56 ⁴

¹ Cargas de compresión aplicadas en el eje del montante.

² Cargas aplicadas en dirección perpendicular al eje del montante, según la mayor inercia.

³ Cargas de tracción aplicadas en el eje del montante.

⁴ Carga tanto de tracción como de compresión aplicada en el eje del montante.

Combinaciones de acciones

La *Tabla 2.3* presenta los valores de cálculo para las combinaciones de acciones persistentes o transitorias.

Tabla 2.3. Valores de cálculo de las combinaciones de acciones persistentes o transitorias en el montante de muro entramado

Combinación	$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \varphi_{0,i} Q_{k,i}$	Valores de cálculo		
		kN/m	kN/m	kN
1 Permanente	$1,35 \cdot CP + 0 + 0$	0,22 ¹	-	1,85 ¹
2 Variable 1	$1,35 \cdot CP + 1,5 \cdot SU + 1,5 \cdot (0,6 \cdot W_1)$	0,22 ¹	0,30 ²	6,78 ¹
3 Variable 2	$1,35 \cdot CP + 1,5 \cdot W_1 + 0$	0,22 ¹	0,50 ²	7,62 ¹
4 Variable 3	$0,80 \cdot CP + 1,5 \cdot W_2 + 0$	0,13 ¹	0,50 ²	5,95 ³

¹ Cargas de compresión aplicadas en el eje del montante

² Cargas aplicadas en dirección perpendicular al eje del montante, según la mayor inercia.

³ Carga de tracción aplicada en el eje del montante.

Los valores de las combinaciones de acciones accidentales para el dimensionado del montante de muro entramado se detallan en la *Tabla 2.4*.

Tabla 2.4. Valores de cálculo de las combinaciones de acciones accidentales en el montante de muro entramado

Combinación	$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \frac{A_k}{\gamma_A} + \gamma_{Q,1} \varphi_{1,i} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \varphi_{2,i} Q_{k,i}$	Valores de cálculo		
		kN/m	kN/m	kN
5 Fuego 1	$1 \cdot CP + 0 + 1 \cdot 0,5 \cdot W_1 + 0$	0,16 ¹	0,17 ²	3,29 ¹
6 Fuego 2	$1 \cdot CP + 0 + 1 \cdot 0,5 \cdot W_2 + 0$	0,16 ¹	0,17 ²	0,98 ³

¹ Cargas de compresión aplicadas en el eje del montante

² Cargas aplicadas en dirección perpendicular al eje del montante, según la mayor inercia.

³ Carga de tracción aplicada en el eje del montante.



Modelo de cálculo y determinación de esfuerzos o solicitaciones

El montante de muro entramado se considera apoyado en sus dos extremos en un sistema isostático en el eje fuerte, y continuamente arriostrado a través de las uniones a los tableros OSB/paneles de yeso exteriores e interiores en el eje débil.

En la Tabla 2.5 se presentan, para cada combinación de acciones, los esfuerzos a los que se ve sometido el montante.

Tabla 2.5. Esfuerzos en el montante para cada combinación de acciones

Combinaciones	Carga ¹ (kN/m)	Carga ² (kN/m)	Carga (kN)	N_{max} (kN)	V_{max} (kN)	M_{max} (kNm)
1 Permanente 1,35·CP	0,22 ¹	-	1,85 ¹	2,34 ¹	-	-
2 Variable 1 1,35·CP+1,5·(SU+0,6·W ₁)	0,22 ¹	0,30 ²	6,78 ¹	7,28 ¹	0,34	0,20
3 Variable 2 1,35·CP+1,5·W ₁	0,22 ¹	0,50 ²	7,62 ¹	8,12 ¹	0,57	0,33
4 Variable 3 0,8·CP+1,5·W ₂	0,13 ¹	0,50 ²	5,95 ³	5,65 ³	0,57	0,33
5 Fuego 1 1·CP+0,5·W ₁	0,16 ¹	0,17 ²	3,29 ¹	3,66 ¹	0,19	0,11
6 Fuego 2 1·CP+0,5·W ₂	0,16 ¹	0,17 ²	0,98 ³	0,61 ³	0,19	0,11

¹ Cargas de compresión aplicadas en el eje del montante

² Cargas aplicadas en dirección perpendicular al eje del montante, según la mayor inercia.

³ Carga de tracción aplicada en el eje del montante.

Estados Límite Últimos

Verificación de ELU en situación permanente o transitoria

Los estados límite últimos que se deben verificar en piezas sometidas a compresión, tracción y flexión combinadas, como es el caso del montante de muro entramado, se detallan a continuación:

Flexotracción

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

donde,

$\sigma_{t,0,d}$ es la tensión de cálculo a tracción paralela

$f_{t,0,d}$ es la resistencia de cálculo a tracción paralela

$\sigma_{m,y,d}$ es la tensión de cálculo a flexión respecto al eje y

$f_{m,y,d}$ es la resistencia de cálculo a flexión respecto al eje y

$\sigma_{m,z,d}$ es la tensión de cálculo a flexión respecto al eje z

$f_{m,z,d}$ es la resistencia de cálculo a flexión respecto al eje z



k_m es un factor que tiene en cuenta el efecto de redistribución de tensiones y la falta de homogeneidad del material en la sección transversal y adopta el valor 0,7 para secciones rectangulares de madera maciza, madera laminada encolada y madera microlaminada; y el valor 1,0 para otras secciones y otros productos derivados de la madera.

Flexocompresión sin vuelco lateral

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

donde,

$\sigma_{c,0,d}$ es la tensión de cálculo a compresión paralela

$f_{c,0,d}$ es la resistencia de cálculo a compresión paralela

Puede considerarse que el montante del muro de entramado se encuentra libre de fallo por vuelco lateral dado que se encontrará arriostrado interior y exteriormente por los tableros de cerramiento. En caso de que la cara comprimida del montante no se encuentre arriostrada (bien porque no hubiese uno de los tableros de cerramiento o porque este no se encuentre unido solidariamente al montante), sí sería necesario considerar la posibilidad de vuelco lateral y dimensionar el elemento en función de esto.

Pandeo en flexocompresión

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

donde,

$k_{c,y}$ y $k_{c,z}$ son los coeficientes de pandeo.

Para definir los coeficientes de pandeo es necesario tener en cuenta una serie de conceptos involucrados en su determinación que se presentan a continuación.

Esbeltez mecánica

Las esbelteces mecánicas de una pieza comprimida se definen como sigue según el pandeo en el plano xz y xy, respectivamente.



- pandeo en el plano xz, flectando respecto al eje y:

$$\lambda_y = \frac{L_{k,y}}{i_y}$$

- pandeo en el plano xy, flectando respecto al eje z:

$$\lambda_z = \frac{L_{k,z}}{i_z}$$

donde,

$L_{k,y}$ y $L_{k,z}$ son las longitudes de pandeo en los planos xz y xy, respectivamente

$$L_{k,y} = \beta_y \cdot L$$

$$L_{k,z} = \beta_z \cdot L$$

donde,

L es la longitud de la pieza

β_y y β_z son los coeficientes que dependen de las condiciones de restricción de los extremos de la pieza para el movimiento en el plano xz y xy, respectivamente.

El Anexo G del CTE DB SE-M presenta los valores de β para los casos más habituales, y que se resumen en la **Error! Reference source not found.**, para los casos involucrados en el dimensionado de montantes de estructuras de entramado ligero.

i_y e i_z son los radios de giro de la sección respecto a los ejes principales y y z, respectivamente.

Esbeltez relativa

Las esbelteces relativas de una pieza comprimida según los ejes y y z se presentan en las ecuaciones siguientes

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}}$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}}$$

donde, las tensiones críticas de pandeo en los ejes y y z están dadas como:



$$\sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,k}}{\lambda_y^2}$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,k}}{\lambda_z^2}$$

donde,

$E_{0,k}$ es el módulo de elasticidad paralelo a la fibra

λ_y y λ_z son las esbelteces mecánicas

Coefficientes de pandeo

Los coeficientes de pandeo se obtienen a partir de las siguientes expresiones.

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3)) + \lambda_{rel,y}^2$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3)) + \lambda_{rel,z}^2$$

donde,

β_c es un factor asociado a la rectitud de las piezas, al que le corresponde el valor 0,2 para madera maciza

$\lambda_{rel,y}$ es la esbeltez relativa.

Cortante

La verificación a cortante se realiza según la ecuación siguiente:

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

donde,

τ_d es la tensión de cálculo a cortante

$f_{v,d}$ es la resistencia de cálculo a cortante



Para la comprobación de cortante en piezas a flexión, se debe tener en cuenta la influencia de las fendas utilizando un ancho eficaz de la pieza b_{ef} , definido por la expresión: $b_{ef} = k_{cr}b$, donde k_{cr} toma el valor 0,67 para piezas de madera maciza.

Verificaciones en situaciones persistentes o transitorias

La longitud de pandeo del montante en el eje fuerte $L_{k,y}$ corresponde a la longitud total del montante, mientras que en el eje débil $L_{k,z}$ corresponde a la distancia correspondiente a la máxima separación entre los clavos que lo sujetan a los tableros de cerramiento (300 mm). La Tabla 2.6 presenta los parámetros necesarios para el cálculo de los coeficientes de pandeo.

Tabla 2.6. Parámetros de interés en el cálculo de los coeficientes de pandeo

Parámetro	Valor
L_y (mm)	2300
L_z (mm)	2300
β_y	1
$\beta_z = 300/2300$	0,13
$L_{k,y}$ (mm)	2.300
$L_{k,z}$ (mm)	300
λ_y	55,33
λ_z	22,59
$\lambda_{rel,y}$	1,03
$\lambda_{rel,z}$	0,42
β_c	0,20
k_y	1,10
k_z	0,60
$k_{c,y}$	0,67
$k_{c,z}$	0,97

La Tabla 2.7 presenta las verificaciones del montante del muro en el caso de situaciones permanentes o transitorias.

Tabla 2.7. Verificaciones del montante de muro entramado en situaciones persistentes y transitorias

Combinaciones	1	2	3	4
k_{mod}	0,6	0,9	0,9	0,9
$\sigma_{t,0,d}$ (N/mm ²)	0,00	0,00	0,00	1,28



Situaciones	$\sigma_{c,0,d}$ (N/mm ²)	0,53	1,65	1,84	0,00
	$\sigma_{m,y,d}$ (N/mm ²)	0,00	2,80	4,67	4,67
	$\tau_{v,d}$ (N/mm ²)	0,00	0,17	0,29	0,29
Resistencia	$f_{t,0,d}$ (N/mm ²)	3,63	5,45	5,45	5,45
	$f_{c,0,d}$ (N/mm ²)	7,38	11,08	11,08	11,08
	$f_{m,y,d}$ (N/mm ²)	7,06	10,60	10,60	10,60
	$f_{v,d}$ (N/mm ²)	1,38	2,08	2,08	2,08
Verificaciónes	$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$	0,00	0,26	0,44	0,68
	$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$	0,01	0,29	0,47	0,44
	$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$	0,20	0,68	0,90	0,44
	$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z}f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$	0,07	0,34	0,48	0,31
	$\tau_{v,d}/f_{v,d} \leq 1$	0,00	0,08	0,14	0,14
Combinación 1: 1,35-CP Combinación 2: 1,35-CP+1,5·(SU+0,6·W ₁) Combinación 3: 1,35-CP+1,5·W ₁ Combinación 4: 0,8-CP+1,5·W ₂					

Todas las verificaciones que relacionan las tensiones con las resistencias resultaron en valores menor a 1 para todas las combinaciones de acciones, por lo que se verifica el dimensionado del montante en situación permanente o transitoria.

Verificaciones de ELU en situación accidentales de incendio

Para las combinaciones de acciones correspondientes, se verifican nuevamente los estados límite últimos para el caso para la sección reducida del montante debido a la situación de incendio. Considerando que los montantes tienen ambas caras laterales protegidas con lana de vidrio, y las restantes con una placa de yeso de 12,5 mm, se presenta en la Tabla, las propiedades geométricas de la sección reducida del montante en situación de incendio.



Tabla 2.8. Geometría y propiedades de la sección reducida del montante en caso de incendio

Elemento	Montante de muro entramado
Luz (mm)	2.300
Sección, ($b \times h$) (mm ²)	46x53.2
Área de la sección, $A = bh$ (mm ²)	2447
Módulo resistente en su plano, $w_y = bh^2/6$ (mm ³)	21699
Módulo resistente en el plano perpendicular, $w_z = hb^2/6$ (mm ³)	18762
Momento de inercia en su plano, $I_y = bh^3/12$ (mm ⁴)	577180
Momento de inercia en el plano perpendicular, $I_z = hb^3/12$ (mm ⁴)	431523
Momento de inercia torsional, $I_{tor} = (b^3h/3) (1 - (0,63b/h))$ (mm ⁴)	785826

Los parámetros necesarios para el cálculo de los coeficientes de pandeo son los ya presentados en la Tabla 2.6. En la *Tabla* se presentan las verificaciones correspondientes para su dimensionado.

Tabla 2.10. Verificaciones del montante de muro entramado en situación de incendio

Combinaciones	5	6	
$k_{mod,fi}$	1,0	1,0	
Tensiones	$\sigma_{t,0,d}$ (N/mm ²)	0,00	0,25
	$\sigma_{c,0,d}$ (N/mm ²)	1,50	0,00
	$\sigma_{m,y,d}$ (N/mm ²)	5,07	5,07
	$\tau_{v,d}$ (N/mm ²)	0,18	0,18
Resistencia	$f_{t,0,d}$ (N/mm ²)	9,00	9,00
	$f_{c,0,d}$ (N/mm ²)	20,00	20,00
	$f_{m,y,d}$ (N/mm ²)	17,50	17,50
	$f_{v,d}$ (N/mm ²)	3,75	3,75
Verificaciones	$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$	0,29	0,32
	$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$	0,30	0,29
	$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$	0,91	0,29



$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z}f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$	0,28	0,20
$\tau_{v,d}/f_{v,d} \leq 1$	0,05	0,02
Combinación 5: CP + 0,5 W ₁ Combinación 6: CP + 0,5 W ₂		

Dado que las relaciones entre tensiones y resistencias son menores a 1 para todas las combinaciones de acciones en situación de incendio, se verifica el dimensionado del montante en el caso de sección reducida debido a incendio.

Conclusiones

Con una sección de madera aserrada de Pinus elliotti/taeda clasificada estructuralmente como C14, con las medidas 2" x 4" y un tablero de OSB estructural de 11.1 mm de espesor se cumplen los requisitos de seguridad frente a las combinaciones de carga consideradas. Se debe respetar que existan al menos dos paneles resistentes por muro exterior de vivienda.

Se cumplen las verificaciones para estados límite últimos en situación habitual, habiéndose verificado las condiciones de resistencia y estabilidad para los elementos que componen los muros.

Las deformaciones en estado límite de servicio se consideran aceptables, los efectos considerados a largo plazo fueron debido al peso propio de la cubierta y los muros solamente.

Las combinaciones de carga en situación accidental (incendio), se realizó mediante los materiales considerados, a fin de cumplir las verificaciones de estabilidad en los montantes es necesario el uso de un aislante en los muros que sea capaz de retrasar la carbonización en los laterales de estos. Se considero un tiempo de incendio R30 (edificio de vivienda de menos de 15 metros de altura).



