



Edad en % de la duración (vida Probable)	Estado de conservación								
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
48	35.520	35.541	37.14	40.74	47.19	56.93	69.43	84.01	100
49	36.505	36.525	38.10	41.64	48.00	57.59	69.90	84.25	100
50	37.500	37.520	39.07	42.56	48.81	58.25	70.37	84.50	100
51	38.505	38.525	40.05	43.48	49.63	58.92	70.85	84.75	100
52	39.520	39.539	41.04	44.41	50.46	59.60	71.33	85.00	100
53	40.545	40.564	42.04	45.35	51.30	60.28	71.82	85.25	100
54	41.580	41.599	43.05	46.30	52.15	60.97	72.31	85.51	100
55	42.625	42.643	44.07	47.26	53.01	61.67	72.80	85.77	100
56	43.680	43.698	45.10	48.24	53.87	62.38	73.30	86.03	100
57	44.745	44.763	46.14	49.22	54.74	63.09	73.81	86.29	100
58	45.820	45.837	47.19	50.20	55.62	63.81	74.32	86.56	100
59	46.905	46.922	48.25	51.20	56.51	64.53	74.83	86.83	100
60	48.000	48.017	49.32	52.20	57.41	65.26	75.35	87.10	100
61	49.105	49.121	50.39	53.22	58.32	66.00	75.87	87.38	100
62	50.220	50.236	51.47	54.25	59.23	66.75	76.40	87.66	100
63	51.345	51.361	52.57	55.28	60.15	67.50	76.94	87.94	100
64	52.480	52.495	53.68	56.32	61.08	68.26	77.48	88.22	100
65	53.625	53.640	54.80	57.38	62.02	69.02	78.02	88.50	100
66	54.780	54.794	55.93	58.44	62.96	69.79	78.57	88.79	100
67	55.945	55.959	57.06	59.51	63.92	70.57	79.12	89.08	100
68	57.120	57.134	58.20	60.59	64.88	71.36	79.68	89.37	100
69	58.305	58.318	59.36	61.68	65.85	72.15	80.24	89.66	100
70	59.500	59.513	60.52	62.78	66.83	72.95	80.80	89.96	100
71	60.705	60.718	61.70	63.88	67.82	73.75	81.37	90.26	100
72	61.920	61.932	62.88	65.00	68.81	74.56	81.95	90.56	100
73	63.145	63.157	64.08	66.13	69.81	75.38	82.53	90.86	100
74	64.380	64.391	65.28	67.26	70.83	76.21	83.12	91.17	100
75	65.625	65.636	66.49	68.41	71.85	77.04	83.71	91.47	100
76	66.880	66.891	67.71	69.56	72.87	77.88	84.30	91.78	100
77	68.145	68.155	68.95	70.72	73.91	78.72	84.90	92.10	100
78	69.420	69.430	70.19	71.89	74.95	79.57	85.50	92.42	100
79	70.705	70.714	71.44	73.07	76.01	80.43	86.11	92.74	100
80	72.000	72.009	72.71	74.27	77.07	81.30	86.73	93.06	100
81	73.305	73.314	73.98	75.47	78.14	82.17	87.35	93.38	100
82	74.620	74.628	75.26	76.67	79.21	83.05	87.97	93.70	100
83	75.945	75.953	76.56	77.89	80.30	83.93	88.60	94.03	100
84	77.280	77.287	77.85	79.12	81.39	84.82	89.23	94.36	100
85	78.625	78.632	79.16	80.35	82.49	85.72	89.87	94.70	100
86	79.980	79.986	80.48	81.60	83.60	86.63	90.51	95.04	100
87	81.345	81.351	81.82	82.85	84.72	87.54	91.16	95.38	100
88	82.720	82.725	83.16	84.12	85.85	88.46	91.81	95.72	100
89	84.105	84.110	84.51	85.39	86.98	89.38	92.47	96.06	100
90	85.500	85.505	85.87	86.67	88.12	90.31	93.13	96.40	100
91	86.905	86.909	87.23	87.96	89.27	91.25	93.79	96.75	100
92	88.320	88.324	88.61	89.26	90.43	92.20	94.46	97.10	100
93	89.745	89.748	90.00	90.57	91.59	93.15	95.14	97.45	100
94	91.180	91.183	91.40	91.89	92.77	94.11	95.82	97.81	100
95	92.625	92.627	92.81	93.22	93.96	95.07	96.50	98.17	100
96	94.080	94.082	94.23	94.56	95.15	96.04	97.19	98.53	100
97	95.545	95.546	95.66	95.91	96.35	97.02	97.89	98.89	100
98	97.020	97.021	97.10	97.26	97.56	98.01	98.59	99.26	100
99	98.505	98.505	98.54	98.63	98.78	99.00	99.29	99.63	100
100	100.000	100.000	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100

**CIR**  
INFORME TÉCNICO DEL PROPONENTE

# ANEXO I:

## MEMORIA DE ESTRUCTURAS





# Memoria de cálculo

## Sistema estructural "mass timber" con CLT

Rev.01



oak Ingeniería  
Diseño estructural

[www.oakingeneria.com](http://www.oakingeneria.com)  
[info@oakingeneria.com](mailto:info@oakingeneria.com)

(+34) 621 067 113  
117



---

## Contenido

---

1.	Introducción.....	1
1.1.	Antecedentes.....	2
1.2.	Presentación.....	2
2.	Definición del sistema estructural.....	2
3.	Definición del producto y del material.....	3
3.1.	Madera laminada encolada (GLT).....	4
3.2.	Madera contralaminada (CLT).....	5
4.	Metodología de cálculo.....	8
4.1.	General.....	8
4.1.1.	Estados Límite Últimos en situación normal.....	8
4.1.2.	Estados Límite Últimos en situación accidental de incendio.....	9
4.1.3.	Estados Límite de Servicio.....	11
4.2.	Madera contralaminada (CLT).....	14
4.2.1.	Estados Límite Últimos: sección neta.....	14
4.2.2.	Momento estático.....	16
4.2.3.	Estados Límite Últimos en situación de incendio.....	17
4.2.4.	Estados Límite de Servicio (deformaciones).....	18
4.2.5.	Estados Límite de Servicio (vibraciones).....	21
5.	Verificación de los entrepisos.....	24
5.1.	Cargas.....	24
5.1.1.	Cargas Permanentes.....	24
5.1.2.	Sobrecarga de uso.....	24
5.2.	Combinación de cargas.....	24
5.3.	Modelado de los paneles CLT.....	25
5.4.	Propiedades del material.....	26
5.5.	Dimensiones de los paneles considerados.....	27
5.6.	Verificaciones de CLT en entrepisos.....	27



5.6.1.	ELU.....	27
5.6.2.	ELS .....	28
5.7.	Detalle de las verificaciones de CLT en entresijos .....	28
6.	Verificación de los muros.....	38
6.1.	Cargas .....	38
6.1.1.	Cargas Permanentes.....	38
6.1.2.	Sobrecarga de uso.....	38
6.1.3.	Sobrecarga de viento .....	38
6.2.	Combinación de cargas .....	38
6.3.	Modelado de los paneles CLT de muro.....	39
6.4.	Propiedades del material.....	39
6.5.	Verificaciones de CLT en muros.....	40
6.5.1.	ELU.....	40
6.6.	Detalle de las verificaciones de CLT en muros.....	40
7.	Verificación de la cubierta con vigas de MLE.....	43
7.1.	Cargas .....	43
7.1.1.	Cargas Permanentes.....	43
7.1.2.	Sobrecarga de mantenimiento .....	43
7.1.3.	Sobrecarga de viento .....	43
7.2.	Combinación de cargas .....	43
7.3.	Modelado de las vigas de MLE de cubierta.....	44
7.4.	Verificaciones de las vigas de MLE de cubierta.....	46
7.4.1.	ELU.....	46
7.4.2.	ELS .....	47
8.	Estabilidad global de la edificación .....	47



----2021019-ENKEL-Memoria cálculo CLT DAT\_entrega02 | oak Ingeniería

---

## Revisiones

---

Revisión	Fecha	Autores
00	13/08/2021	VB
01	20/08/2021	VB

---

---

Oak Ingeniería



Vanesa Baño, Dr. Ing.

---

20 de agosto de 2021

*Toda la información contenida en este informe son propiedad exclusiva de Oak Ingeniería, todos los derechos reservados. No se admiten modificaciones sin previa autorización por escrito.*



## 1. Introducción

El presente documento presenta la memoria de cálculo de seguridad estructural (SE) en base al sistema de madera masiva o “mass timber” con paneles de madera contralaminada (CLT, del inglés *Cross Laminated Timber*) y con elementos de madera laminada encolada (GLT, del inglés *Glued Laminated Timber*) de acuerdo con los requisitos del capítulo 4 de estándares de desempeño del Documento de Aptitud Técnica (DAT).

La memoria de cálculo incluye las verificaciones estructurales en caso de acciones normales y accidentales (incendio) según el método de los estados límite últimos y de servicio de: 1) los paneles CLT para ser usados como elementos estructurales de entresijos y muros; y 2) de elementos GLT a ser usados como vigas de cubierta.

Para el cálculo estructural se han tenido en cuenta la siguiente normativa: <sup>1234567891011</sup>

1. UNIT. UNIT 33:91. Cargas a utilizar en el proyecto de edificios. (1991).
2. UNIT. UNIT 50:84. Acción del viento sobre construcciones. (1994).
3. UNIT. UNIT 1261. Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural – Madera de pino taeda y pino ellioti (*Pinus taeda* y *Pinus elliottii*). (2018).
4. UNIT. PU UNIT 1262. Madera aserrada de uso estructural. Clasificación visual. Maderade eucalipto (*Eucalyptus grandis*). 18 (2018).
5. UNIT. UNIT 1265: 2020. Estructuras de madera. Madera laminada encolada. Requisitos. 45 (2020).
6. AENOR. EN 338. Madera estructural. Clases resistentes. (2016).
7. AENOR. EN 1995-1-1 Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación. (2016).
8. AENOR. UNE-EN 1995-1-1:2006/A1. Eurocódigo 5: Proyecto de estructuras de ma dera. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación. (2013).
9. AENOR. EN 1995-1-2. Eurocódigo 5: Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-2: Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas al fuego. (2011).
10. AENOR. EN 14080. Estructuras de madera. Madera laminada encolada y madera maciza encolada. Requisitos. (2013).
11. CEN. EN 16351:2021. Timber structures. Cross laminated timber. Requirements. 1–7 (2021).
12. Sales, A., Candian, M. & De Salles Cardin, V. Nondestructive evaluation of timber: The new Brazilian code for the design of timber structures. *Mater. Struct. Constr.* **43**, 213– 221 (2010).



13. ABNT/CB-02. NBR 7190. Projetos de estruturas de madeira. 1-50 (2012).
14. AENOR. Anexo Nacional al Eurocódigo 5: Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para la edificación. 1-17 (2008).
15. Wallner-Novak, M., Koppelhuber, J. & Pock, K. *Cross-Laminated Timber Structural Design- Basic design and engineering principles according to Eurocode.* (2014).

## 1.1. Antecedentes

El 15 de junio del 2021, la empresa ENKEL GROUP confirmó a OAK INGENIERÍA el trabajo de redacción de la memoria de cálculo del sistema estructural “Mass Timber” en base a paneles de madera contralaminada para la tramitación del DAT.

## 1.2. Presentación

La memoria está dividida en los siguientes 7 capítulos:

1. Introducción
2. Definición del sistema estructural
3. Definición del producto y del material
4. Metodología de cálculo
5. Verificación de entresijos
6. Verificación de muros
7. Verificación de cubiertas

---

## 2. Definición del sistema estructural

---

La Figura 1 muestra un esquema de un edificio tipo del sistema estructural “Mass Timber” en base a paneles CLT en entresijos y muros, y con la opción de resolver la cubierta con los mismos paneles o con vigas de madera laminada encolada.

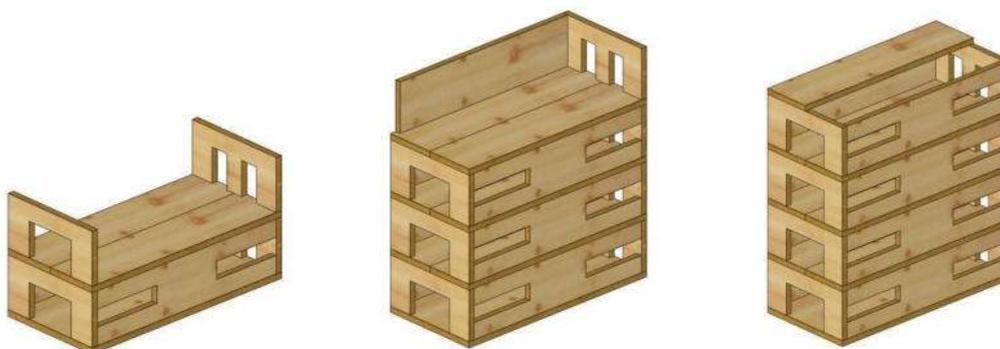


Figura 1 – Esquema del sistema estructural “Mass Timber” en base a paneles CLT

### 3. Definición del producto y del material

La Figura 2 muestra las diferentes normas europeas sobre requisitos de fabricación y propiedades estructurales que aplican a los diferentes productos de madera fabricados a partir del encolado de láminas. Los productos estructurales utilizados en el sistema definido en la presente memoria son los identificados con los números 6 (GLT o *glulam*) y 9 (CLT) de la Figura 2.

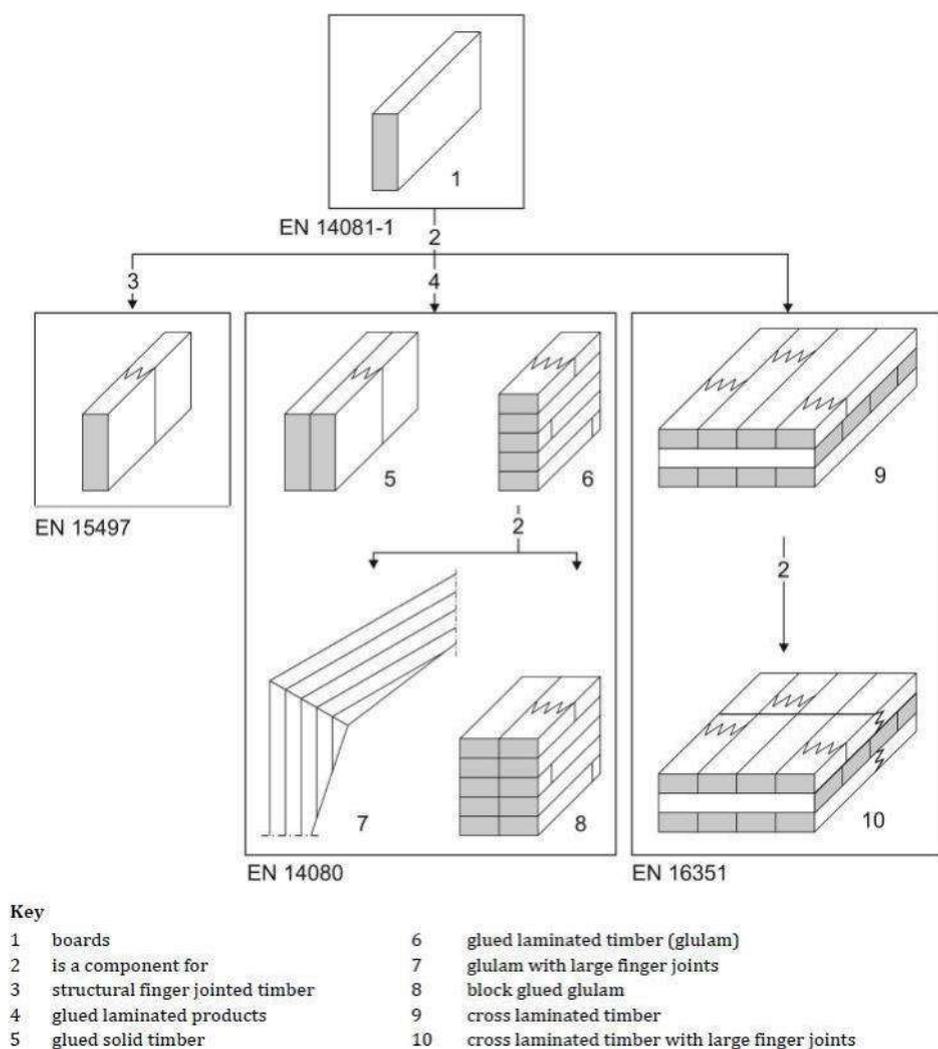


Figura 2 – Normas que aplican a diferentes productos estructurales de madera laminada<sup>11</sup>

### 3.1. Madera laminada encolada (GLT)

Las propiedades estructurales de la madera laminada encolada para la mayoría de las especies de madera europea y para el cálculo estructural según el Método de los Estados Límite se definen en la norma EN 14080<sup>10</sup> según su asignación a clases resistentes. Las Tablas 1 y 2 muestran los valores característicos de las propiedades físicas y mecánicas de la madera laminada encolada homogénea (todas las láminas de las vigas de la misma clase resistente de madera aserrada) y combinada (combina diferentes clases resistentes en las láminas de madera aserrada que conforman la viga), respectivamente. En el caso de utilizar GLT fabricada a partir de madera aserrada de procedencia uruguaya, la norma que aplica es la UNIT 12655 y las propiedades del material definidas para estas especies son las correspondientes a las clases resistentes de la madera laminada encolada homogénea de la norma EN 14080<sup>10</sup> (Tabla 1).

Tabla 1. Valores característicos de las clases resistentes de GLT homogénea<sup>5 10</sup>

Propiedad	Símbolo	GL 20h	GL 22h	GL 24h	GL 26h	GL 28h	GL 30h	GL 32h
Resistencia a flexión	$f_{m,e,k}$	20	22	24	26	28	30	32
Resistencia a tracción	$f_{t,0,e,k}$	16	17,6	19,2	20,8	22,3	24	25,6
	$f_{t,90,g,k}$	0,5						
Resistencia a compresión	$f_{c,0,e,k}$	20	22	24	26	28	30	32
	$f_{c,90,g,k}$	2,5						
Resistencia a esfuerzo cortante (cortadura y torsión)	$f_{v,g,k}$	3,5						
Resistencia al cortante de rodadura	$f_{r,e,k}$	1,2						
Módulo de elasticidad	$E_{0,g,mean}$	8 400	10 500	11 500	12 100	12 600	13 600	14 200
	$E_{0,g,05}$	7 000	8 800	9 600	10 100	10 500	11 300	11 800
	$E_{90,g,mean}$	300						
	$E_{90,g,05}$	250						
Módulo de elasticidad transversal	$G_{g,mean}$	650						
	$G_{g,05}$	540						
Módulo de cortante de rodadura	$G_{r,g,mean}$	65						
	$G_{r,g,05}$	54						
Densidad	$\rho_{e,k}$	340	370	385	405	425	430	440
	$\rho_{g,mean}$	370	410	420	445	460	480	490

\* Valores de resistencia y módulo de elasticidad en N/mm<sup>2</sup> y valores de densidad en Kg/m<sup>3</sup>

Tabla 2. Valores característicos de las clases resistentes de GLT combinada<sup>10</sup>

Propiedad <sup>a</sup>	Símbolo	GL 20c	GL 22c	GL 24c	GL 26c	GL 28c	GL 30c	GL 32c
Resistencia a flexión	$f_{m,g,k}$	20	22	24	26	28	30	32
Resistencia a tracción	$f_{t,0,g,k}$	15	16	17	19	19,5	19,5	19,5
	$f_{t,90,g,k}$	0,5						
Resistencia a compresión	$f_{c,0,g,k}$	18,5	20	21,5	23,5	24	24,5	24,5
	$f_{c,90,g,k}$	2,5						
Resistencia a esfuerzo cortante (cortadura y torsión)	$f_{v,g,k}$	3,5						
Resistencia al cortante de rodadura	$f_{r,g,k}$	1,2						
Módulo de elasticidad	$E_{0,g,mean}$	10 400	10 400	11 000	12 000	12 500	13 000	13 500
	$E_{0,g,0.05}$	8 600	8 600	9 100	10 000	10 400	10 800	11 200
	$E_{90,g,mean}$	300						
	$E_{90,g,0.05}$	250						
Módulo de elasticidad transversal	$G_{g,mean}$	650						
	$G_{g,0.05}$	540						
Módulo de cortante de rodadura	$G_{r,g,mean}$	65						
	$G_{r,g,0.05}$	54						
Densidad <sup>b</sup>	$\rho_{g,k}$	355	355	365	385	390	390	400
	$\rho_{g,mean}$	390	390	400	420	420	430	440

\* Valores de resistencia y módulo de elasticidad en N/mm<sup>2</sup> y valores de densidad en Kg/m<sup>3</sup>

### 3.2. Madera contralaminada (CLT)

La norma que regula los requisitos de fabricación y declaración de las propiedades estructurales de la madera contralaminada (CLT) es la EN 16351<sup>11</sup>. Las propiedades estructurales consideradas en el cálculo de los paneles CLT se corresponden con las clases resistentes de la madera aserrada que los conforman. La Tabla 3 muestra los valores característicos de las propiedades físicas y mecánicas de la madera aserrada de coníferas de procedencia europea<sup>6</sup> y las Tablas 4 y 5 las propiedades de madera aserrada de *Pinus elliottii/taeda*<sup>3</sup> y *Eucalyptus grandis*<sup>4</sup> de procedencia uruguayana, con potencial para ser usado en la fabricación de paneles CLT. La Tabla 6 muestra las propiedades estructurales de la madera aserrada de coníferas en Brasil<sup>1213</sup>, que coincide con la tabla de clases resistentes de las coníferas europeas. Las Tablas 3-6 muestran las propiedades estructurales en valores característicos para la verificación estructural según el Método de los Estados Límite.



Tabla 3. Valores característicos de las clases resistentes de madera aserrada de coníferas europeas<sup>10</sup>

		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Propiedades de resistencia (en N/mm <sup>2</sup> )													
Flexión	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
Tracción paralela a la fibra	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
Tracción perpendicular a la fibra	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Compresión paralela a la fibra	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
Compresión perpendicular a la fibra	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
Cortante	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Propiedades de rigidez (en kN/mm <sup>2</sup> )													
Módulo de elasticidad medio paralelo a la fibra	$E_{0,medio}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16
Módulo de elasticidad paralelo a la fibra (5% percentil)	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7
Módulo de elasticidad medio perpendicular a la fibra	$E_{90,medio}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53
Módulo medio de cortante	$G_{medio}$	0,44	0,5	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00
Densidad (en kg/m <sup>3</sup> )													
Densidad	$\rho_k$	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
Densidad media	$\rho_{medio}$	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550

Tabla 4. Valores característicos de las propiedades estructurales de la madera de pino uruguayo<sup>3</sup>

Propiedad	Valor característico EC1	Valor característico ECO
Resistencia característica a flexión (5º percentil), $f_{m,k}$ (MPa)	15,52	11,01
Módulo de elasticidad medio paralelo a la fibra, $E_{0,mean}$ (MPa)	7 139	5 327
Densidad media, $\rho_{mean}$ (kg/m <sup>3</sup> )	421	392
Densidad característica (5º percentil), $\rho_k$ (kg/m <sup>3</sup> )	365	332

Tabla 5. Valores característicos de las propiedades estructurales de la madera de *Eucalyptus* uruguayo<sup>4</sup>

Propiedad	Valor característico EF1
Resistencia característica a flexión (5º percentil), $f_{m,k}$ (MPa)	21,4
Módulo de elasticidad medio paralelo a la fibra, $E_{0,mean}$ (MPa)	11960
Densidad media, $\rho_{mean}$ (kg/m <sup>3</sup> )	519
Densidad característica (5º percentil), $\rho_k$ (kg/m <sup>3</sup> )	386

Tabla 6. Valores característicos de las propiedades estructurales de la madera aserrada de coníferas de Brasil<sup>13</sup>

		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
<b>Propiedades de resistência (em MPa)</b>													
Flexão	$f_{0,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
Tração paralela	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
Tração perpendicular	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Compressão paralela	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
Compressão perpendicular	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
Cisalhamento	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
<b>Propiedades de rigidez (em GPa)</b>													
Módulo de elasticidade a 0º médio	$E_{0,m}$	7	8	9	9,5	10	11	12	12	13	14	15	16
Módulo de elasticidade a 0º característico	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10	11
Módulo de elasticidade a 90º médio	$E_{90,m}$	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
Módulo de elasticidade transversal médio	$G_m$	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0
<b>Densidade (em kg/m<sup>3</sup>)</b>													
Densidade característica	$\rho_k$	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
Densidade média	$\rho_m$	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550



## 4. Metodología de cálculo

### 4.1. General

El cálculo se realiza según el Método de los Estados Límite definido en el Eurocódigo 5<sup>7</sup>, aplicable tanto a madera laminada encolada como a madera contralaminada (CLT), aunque en este último caso hay algunas particularidades en el cálculo que se describen en el apartado 4.2.

#### 4.1.1. Estados Límite Últimos en situación normal

##### Combinaciones de acciones

La combinación genérica en situación normal de diseño en ELU se define en la Ecuación 1

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

donde,

$G_k$  es el valor de la carga permanente

$Q_{k,1}$  es el valor de la carga variable principal

$Q_{k,i}$  es el valor de las restantes cargas variables

$A_k$  es el valor de carga accidental

$\gamma$  es el coeficiente de combinación de las diferentes cargas permanentes o variables

$\varphi$  son los coeficientes de simultaneidad de las diferentes acciones variables, definidos en la Tabla 7

Tabla 7. Coeficientes de simultaneidad de las combinaciones de acciones variables en las sobrecargas habituales en edificaciones de vivienda

Acción variable	$\varphi_0$	$\varphi_1$	$\varphi_2$	
Sobrecarga de uso	Zonas residenciales (categoría A)	0,7	0,5	0,3
	Cubiertas transitables (categoría F)	0,7	0,5	0,3
	Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (categoría G)	0	0	0
Nieve	Altitud > 1000 m	0,7	0,5	0,2
	Altitud ≤ 1000 m	0,5	0,2	0
Viento		0,6	0,5	0

##### Verificación en ELU en situación normal

La verificación que se debe cumplir es que la combinación de diseño ( $E_d$ ) sea menor que el valor de cálculo de una propiedad resistente específica ( $R_d$ ), tal y como se muestra en la Ecuación 2.

$$E_d \leq R_d \quad \text{Ec. 2}$$

El valor de cálculo de una propiedad resistente se define en función del valor característico de acuerdo con la Ecuación 3.

$$R_d = k_{mod} \frac{R_k}{\gamma_m} k_{sys} \quad \text{Ec. 3}$$

donde,

$R_k$ , es el valor característico de la resistencia considerada, mostrada en las tablas de clases resistentes (Tablas 3- 5)

$\gamma_m$ , es el coeficiente parcial de seguridad del material, que varía en función del tipo de material o producto empleado, que para GLT y CLT toma valor 1.25

$k_{mod}$ , es el factor de modificación de la resistencia, que depende de la duración de la carga y de la clase de servicio a la que está sometido el elemento de madera (Tabla 8). El valor del  $k_{mod}$  que se aplica a la resistencia en su valor de combinación de carga es el correspondiente a la carga de duración más corta.

$k_{sys}$  es el coeficiente de carga compartida

Tabla 8. Valor de  $k_{mod}$  para GLT y CLT

Clase de servicio	Duración de la carga				
	Permanente	Larga	Media	Corta	Instantánea
1	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
2	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
3	0.50	0.55	0.65	0.70	0.90

#### 4.1.2. Estados Límite Últimos en situación accidental de incendio

##### *Combinaciones de acciones*

En la combinación genérica en situación de incendio en ELU (Ec. 1), el valor  $\gamma$  toma valor igual a 1 y los valores de  $\varphi$  se mantienen de acuerdo a la Tabla 7.

##### *Verificación en ELU en situación accidental de incendio*

El método de diseño en caso de incendio es el de la sección reducida definido en la parte 1-2 del Eurocódigo 5.

El valor de cálculo de una propiedad resistente en caso de incendio se define en función del valor característico de acuerdo con la Ecuación 4.

$$R_{d,fi} = k_{mod,fi} \frac{f_{20}}{\gamma_{m,fi}} \quad \text{Ec. 4}$$



donde,

$R_{d,fi}$ , es el valor de cálculo de la resistencia en caso de incendio

$f_{20}$ , es el valor del percentil del 20% de una propiedad resistente a temperatura normal, calculado según la Ecuación 5 y cuyo valor de  $k_{fi}$  toma valor igual a 1,25 en madera laminada encolada.

$$f_{20} = k_{fi} f_k \quad \text{Ec. 5}$$

$\gamma_{M,fi}$ , es el coeficiente parcial de seguridad del material en caso de incendio, que toma valor igual a 1.0

$k_{mod,fi}$ , es el factor de modificación de la resistencia en caso de incendio, que tiene en cuenta los efectos de la temperatura y del contenido de humedad en la resistencia y que, para el método de la sección reducida, toma valor igual a 1.

El método de la sección eficaz propone disminuir la sección de la pieza en función de la profundidad de carbonización de la madera en caso de exposición a fuego en un incendio y del número de caras expuestas.

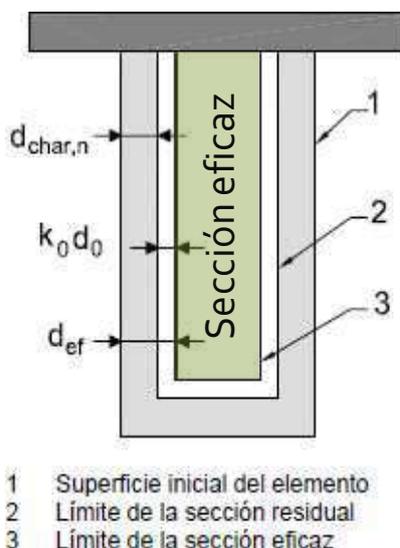


Figura 3 - Sección eficaz de cálculo de una pieza de madera con tres caras expuestas a fuego

Para ello, se define la profundidad eficaz de carbonización según la Ecuación 6.

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0 \quad \text{Ec. 6}$$

donde,

$d_{ef}$ , es la profundidad eficaz de carbonización (mm)

$d_0$ , es la profundidad carbonizada añadida, que toma un valor de 7 mm

$k_0$ , es el factor de corrección de la profundidad adicional para el instante inicial del fuego, que toma los valores mostrados en la Ecuación 7.

$$k_0 = \begin{cases} t/20, & \text{si } t < 20 \text{ minutos} \\ 1, & \text{si } t \geq 20 \text{ minutos} \end{cases} \quad \text{Ec. 7}$$

$d_{char,n}$ , es la profundidad de carbonización ficticia (Ec. 8)

$$d_{char,n} = \beta_n t \quad \text{Ec. 8}$$

donde,

$\beta_n$ , es la velocidad de carbonización ficticia (Tabla 9)

$t$ , es el tiempo de exposición al fuego requerido (R15, R 30, R60, etc.).

Tabla 9. Valores de velocidad de carbonización en madera laminada encolada

		$\beta_o$ (mm/min)	$\beta_n$ (mm/min)
Coníferas y haya	GLT con densidad característica $\rho_k \geq 290 \text{ Kg/m}^3$	0.65	0.7
	Madera aserrada con densidad característica $\rho_k \geq 290 \text{ Kg/m}^3$	0.65	0.8

#### 4.1.3. Estados Límite de Servicio

##### *Combinaciones de acciones*

Los valores de cálculo para las combinaciones de acciones en ELS en función de su situación poco frecuente, frecuente o casi permanente, se definen en las Ecuaciones 9-11.

$$\sum_{j \geq 1} G_{K,j} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \varphi_{0,i} \cdot Q_{K,i} \quad \text{Ec. 9}$$

$$\sum_{j \geq 1} G_{K,j} + \varphi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \varphi_{2,1} \cdot Q_{K,i} \quad \text{Ec. 10}$$

$$\sum_{j \geq 1} G_{K,j} + \sum_{i > 1} \varphi_{2,1} \cdot Q_{K,i} \quad \text{Ec. 11}$$

##### *Verificaciones de flecha*

Las verificaciones de flecha se realizan en base a los tres criterios siguientes <sup>14</sup>

1. *Integridad de los elementos constructivos*: se debe cumplir que la flecha activa ( $w_{act}$ ) sea menor a:

l/500 en pisos con tabiques frágiles o pavimentos rígidos sin juntas

l/400 en pisos con tabiques ordinarios o pavimentos rígidos con juntas

l/300 en el resto de los casos

siendo,



I la luz del elemento estructural



$w_{act}$  la flecha activa, calculada como la flecha instantánea de las cargas variables más la diferida de las cargas permanentes y variables, según la Ecuación 12

$$w_{act} = k_{def}w_G + w_{Q,1} + k_{def}\varphi_{2,1}w_{Q,1} + \sum \varphi_{0,i}w_{Q,i} + \sum \varphi_{0,i} k_{def}\varphi_{2,1}w_{Q,i} \text{ Ec. 12}$$

donde,

$k_{def}$ , es el factor de fluencia, definido en la Tabla 10

Tabla 10. Valores de  $k_{def}$  para distintos materiales de madera

Material	Clase de servicio		
	1	2	3
Madera aserrada	0.6	0.8	2.0
GLT	0.6	0.8	2.0
CLT	0.8	1.0	-

2. *Confort del usuario*: se debe cumplir que la flecha instantánea ( $w_{inst}$ ) de las cargas variables sea menor o igual que  $l/350$

siendo,

$l$ , la luz del elemento estructural

$w_{inst}$ , la flecha instantánea, calculada como las cargas variables con su valor característico y las restantes reducidas por sus correspondientes coeficientes de combinación ( $\varphi_{0,i}$ ), rotando las cargas variables para determinar la situación más desfavorable, según la Ecuación 13

$$w_{inst} = w_{Q,1} + \sum \varphi_{0,i}w_{Q,i} \text{ Ec. 13}$$

3. *Apariencia*: se debe cumplir que la flecha neta final ( $w_{net,fin}$ ) sea menor o igual que  $l/300$ .

siendo,

$l$ , la luz del elemento estructural

$w_{net,fin}$ , la flecha neta final o flecha a largo plazo, calculada como la flecha instantánea y diferida de las cargas permanentes y de las cargas variables menos la contraflecha ( $w_c$ ), según la Ecuación 14

$$w_{net,fin} = w_G (1 + k_{def}) + \sum \varphi_{2,i}w_{Q,i} (1 + k_{def}) - w_c \text{ Ec. 14}$$



donde,

$w_G$  es la flecha instantánea para las cargas permanentes

$w_{Q,1}$  es la flecha instantánea debida a una carga variable predominante

$w_{Q,i}$  es la flecha instantánea debida a las restantes cargas variables ( $i > 1$ )

$\varphi_{2,j} w_{Q,j}$  es la parte casi permanente de una carga variable

$k_{def} w_G$  es la flecha diferida para las cargas permanentes

$k_{def} \varphi_{2,j} w_{Q,j}$  es la flecha diferida debida a una carga variable

$w_c$  es la contraflecha de ejecución

Las Ecuaciones 15 y 16 muestran la flecha instantánea en el caso de una carga puntual y una carga uniformemente distribuida.

$$w_{inst\_puntual} = \frac{P l^3}{48 E I} \left[ \left( 1 + \frac{6}{5} \right) \left( \frac{E}{G} \right) \left( \frac{h}{l} \right)^2 \right] \quad \text{Ec. 15}$$

$$w_{inst\_uniforme} = \left( \frac{5}{384} \right) \frac{q l^4}{E I} \left[ \left( 1 + \frac{24}{25} \right) \left( \frac{E}{G} \right) \left( \frac{h}{l} \right)^2 \right] \quad \text{Ec. 16}$$

### Verificaciones de vibración

La verificación del estado límite de vibraciones que define el Eurocódigo 5 para el caso de entresijos de uso residencial con frecuencia fundamental superior a 8 Hz se realiza de acuerdo con dos requisitos de exigencia: Rigidez y Velocidad de vibración. Las verificaciones específicas para el caso de paneles CLT en entresijos son tres: 1) frecuencia natural; 2) aceleración; y 3) flecha debida a una carga puntual de 1 kN, y se definen en el apartado 4.2.5.

## 4.2. Madera contralaminada (CLT)

La metodología de cálculo detallada en la sección 4.1. es de aplicación a la verificación de los paneles de madera contralaminada, con las peculiaridades propias para el producto, que se detallan a continuación.

Las propiedades de rigidez y resistencia de los paneles CLT se estiman mediante aproximaciones analíticas que usan las propiedades de la madera aserrada que constituye las láminas de los paneles de madera contralaminada. Así, las propiedades físicas y mecánicas utilizadas para el cálculo serán las de la madera aserrada que las constituya, dependiendo del fabricante de paneles CLT. En el caso de utilizar paneles europeos, aplicarán las propiedades del material descritas en la Tabla 3; si el fabricante fuese uruguayo, aplicarían las propiedades de la madera descrita en la Tabla 4; y si el fabricante fuese de Brasil, las propiedades de la madera serían las mostradas en la Tabla 5.

El método de cálculo utilizado es el descrito en el Anexo B del Eurocódigo 5 para vigas unidas mecánicamente<sup>7</sup>. Los elementos horizontales (entrepisos o cubiertas) trabajan predominantemente en una única dirección, la dirección de las capas longitudinales del panel, mientras que los elementos verticales (muros) trabajan en dos direcciones.

### 4.2.1. Estados Límite Últimos: sección neta

Se considera el panel trabajando como una viga en la que la dirección principal coincide con la dirección longitudinal de las capas externas, que son las consideradas para el cálculo estructural. Las capas transversales se consideran como conectores entre las longitudinales que transfieren los esfuerzos de corte. Se considera que su valor de módulo de elasticidad transversal es igual a ( $E_{90}=0$ ), pero sí se tiene en cuenta su resistencia a cortante por rodadura ( $f_{R,k}$ ) y su módulo de corte por rodadura ( $G_R$ ). Las verificaciones en estado límite último se realizan a partir del cálculo de la sección neta ( $A_{o,net}$ ) de acuerdo a lo descrito en el apartado 5.5. Las verificaciones a cumplir son las mismas que en el caso de la GLT.

#### Sección neta

La Figura 4 muestra los parámetros geométricos que se tienen en cuenta en el cálculo estructural en ELU sobre la sección transversal de un panel CLT.

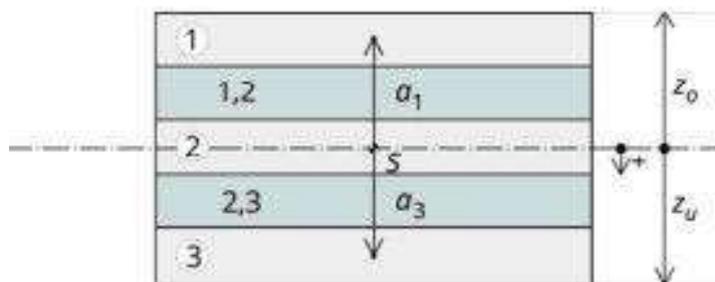


Figura 4. Designación de las dimensiones en una sección transversal simétrica<sup>15</sup>

*Centro de gravedad*

El centro de gravedad de una sección simétrica coincide con el su eje de simetría (Fig. 4), mientras que en una sección no simétrica, resultante de utilizar diferentes clases resistentes en las láminas longitudinales o diferentes espesores de capas, el centro de gravedad se determina tal y como se detalla a continuación:

1. Si las capas longitudinales tienen diferente módulo de elasticidad, se debe elegir un módulo de elasticidad de referencia ( $E_c$ )
2. Determinar la posición del centro de gravedad ( $o_i$ ) de las capas individuales medida desde la cara superior del panel
3. Determinar la distancia del centro de gravedad de cada capa longitudinal ( $a_i$ ) al centro de gravedad general de la sección transversal:  $a_i = o_i - z_s$
4. Determinación del centro de gravedad. La expresión genérica para una sección no simétrica se muestra en la Ecuación 17, que se transforma en la Ecuación 18 cuando todas las capas tienen el mismo espesor ( $d$ ) y en la Ecuación 19 cuando tienen distintos espesores, pero la misma clase resistente en las capas longitudinales. En el caso de secciones simétricas, con el mismo espesor y clase resistente de las capas longitudinales, el centro de gravedad coincide con el eje de simetría (Ecuación 20)

$$z_s = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{E_{0,i}}{E_{0,c}} \cdot b \cdot d_i \cdot o_i}{\sum_{i=1}^n \frac{E_{0,i}}{E_{0,c}} \cdot b \cdot d_i} \tag{Ec. 17}$$

$$z_s = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{E_{0,i}}{E_{0,c}} \cdot b \cdot d \cdot o_i}{\sum_{i=1}^n \frac{E_{0,i}}{E_{0,c}} \cdot b \cdot d} \tag{Ec. 18}$$

$$z_s = \frac{\sum_{i=1}^n b \cdot d_i \cdot o_i}{\sum_{i=1}^n b \cdot d_i} \tag{Ec. 19}$$

$$z_s = \frac{h}{2} \tag{Ec. 20}$$

*Área neta*

El área neta de una sección no simétrica se calcula según la Ecuación 21.

$$A_{0,net} = \sum_{i=1}^n \frac{E_{0,i}}{E_{0,c}} \cdot b \cdot d_i \tag{Ec. 21}$$



*Verificación de la flecha según el criterio de apariencia en combinaciones de diseño cuasi-permanentes*



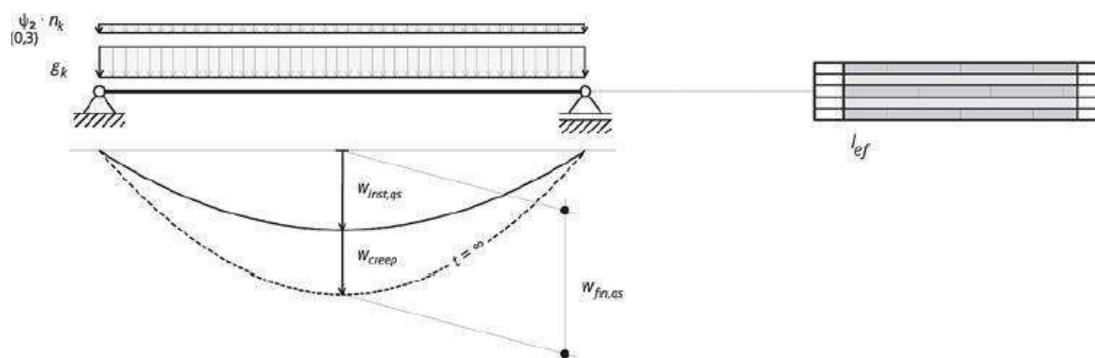


Figura 7. Verificación de flecha por apariencia en combinación cuasi-permanente<sup>15</sup>

Deformación inicial o instantánea:

$$w_{inst,qs} = w_g + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot w_{Q,i} \quad \text{Ec. 36}$$

Deformación por fluencia:

$$w_{creep} = k_{def} \cdot w_{inst,qs} \quad \text{Ec. 37}$$

Deformación final:

$$w_{fin,qs} = w_{inst,qs} \cdot (1 + k_{def}) \leq \frac{l}{250} \quad \text{Ec. 38}$$

donde,

\$w\_{inst,qs}\$, es la deformación inicial en situación de diseño cuasi-permanente

\$w\_{creep}\$, es la porción de fluencia

\$w\_{fin,qs}\$, es la deformación final en situación de diseño cuasi-permanente

\$k\_{def}\$, es el coeficiente de deformación (Tabla 10)

Verificación de la flecha por según el criterio de integridad y confort

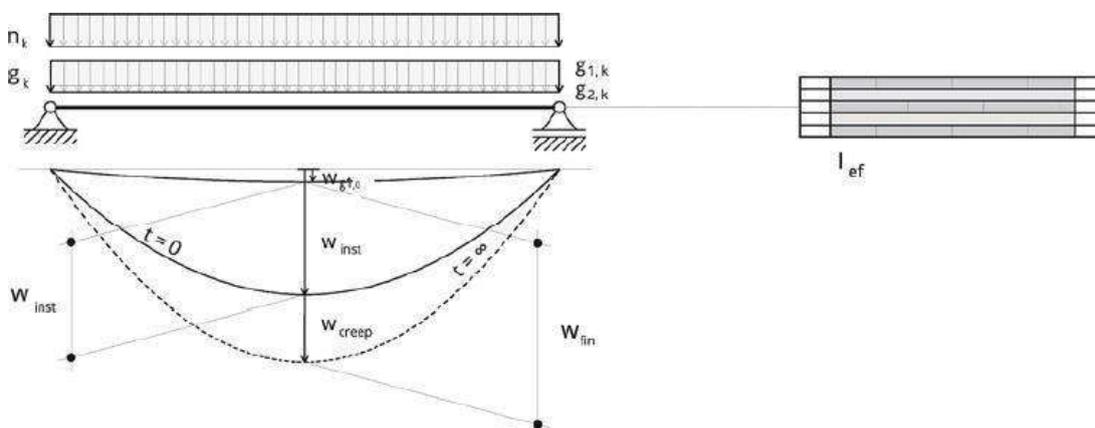


Figura 8. Verificación de flecha según criterios de integridad y confort<sup>15</sup>

Deformación inicial o instantánea para la combinación característica:

$$w_{inst} = w_g + w_{Q,1} + \sum_{i \geq 2} \psi_{0,i} \cdot w_{Q,i} \leq \frac{l}{300} \quad \text{Ec. 39}$$

Deformación o fluencia para combinación cuasi-permanente:

$$w_{creep} = k_{def} \cdot w_{inst,qs} \quad \text{Ec. 40}$$

Deformación final:

$$w_{fin} = w_{inst} + w_{creep} \leq \frac{l}{200} \quad \text{Ec. 41}$$

#### 4.2.5. Estados Límite de Servicio (vibraciones)

La verificación de vibraciones en los entrepisos de CLT fue realizada de acuerdo a lo contemplado en el manual de proHolz<sup>15</sup>, basado en el cumplimiento de tres criterios: 1) Rigidez: flecha (mm) como consecuencia de una carga puntual de 1kN aplicada en el punto más desfavorable ( $w_{1kN}$ ); 2) Frecuencia: primera frecuencia natural (Hz); y 3) Aceleración: valor efectivo de la aceleración por vibración ( $m/s^2$ ).

##### Verificación de rigidez

La flecha del panel de entrepiso como consecuencia de una carga puntual de 1 kN colocada en el punto más desfavorable de una viga biapoyada sin distribución transversal se calcula según la Ecuación 36.

$$w_{1kN} = \frac{1kN \cdot l^3}{48 E I_{ef}} \cdot 1000 \quad \text{Ec. 36}$$

donde,

$l_{ref}$ , es la longitud de referencia del panel (m)

$E I_{ef}$ , es la rigidez efectiva a flexión ( $kN \cdot m^2$ )

##### Verificación de frecuencia

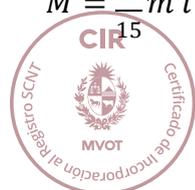
La determinación de la primera frecuencia natural en un entrepiso se puede determinar según la Ecuación 37.

$$f_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c}{M}} \quad \text{Ec. 37}$$

donde,

$M$ , es la masa modal (Kg), determinada según la Ecuación 38

$$M = \frac{8}{15} m l \quad \text{Ec. 38}$$



siendo,

$l$ , es el vano de la viga (m)

$m$ , es la masa distribuida (Kg/m)

$c$ , es la rigidez del resorte (N/m) que, para una viga biapoyada, la rigidez del resorte contra la deformación vertical en el centro de la viga se determina según la Ecuación 39.

$$c = \frac{48 E I_{ef}}{l^3} \tag{Ec. 39}$$

siendo,

$E I_{ef}$ , es la rigidez eficaz de flexión del panel CLT (Nm<sup>2</sup>)

### Verificación de aceleración

La aceleración ocurre como respuesta del entrepiso a la persona que camina sobre él, y se determina según la Ecuación 40.

$$a_{rms} = \frac{0.4 a F_0}{M 2 D} \tag{Ec. 40}$$

donde,

$F_0$ , es la carga debida al peso de la persona que camina, estimada en  $F_0=700$  N

$M$ , es la masa modal, determinada según la Ec. 38

$D$ , es el grado modal de amortiguamiento, determinado según la Tabla 12.

Tabla 12. Grados modales de amortiguamiento (D) para varios tipos de estructura de entrepiso

Type of ceiling structure	Modal degree of damping $D$
Ceiling structures without or with light floor structure, resp.	0,01
Ceiling structures with floating screed	0,02
Cross-laminated timber ceilings without or with light floor structure, respectively	0,025
Timber beam ceilings and mechanically connected board-stack ceilings with floating screed	0,03
Cross-laminated timber ceilings with floating screed and heavy floor structure	0,035

$a$ , (en -) es el coeficiente de tener en consideración la influencia de la frecuencia natural de la aceleración de vibración y que se determina según la Ec. 41

$$a = e^{-0.47 f_1} \tag{Ec. 41}$$

En el caso de edificación residencial en propiedad horizontal las de la clase de vibración I, y en el caso de edificación unifamiliar, las exigencias de vibración son las correspondientes a la clase de vibración II, definidos en la Tabla 13.

Tabla 13. Límites de verificación de vibraciones para las clases I y II

	Clase I	Clase II
Frecuencia	$f_1 \geq 8 \text{ Hz}$	$f_1 \geq 6 \text{ Hz}$
Rigidez	$w_{1kN} \leq 0.25 \text{ mm}$	$w_{1kN} \leq 0.5 \text{ mm}$ ó $\leq 1 \text{ mm}^*$
Aceleración	$a_{rms} \leq 0.05 \text{ m/s}^2$ y $f_1 \geq 4.5 \text{ Hz}$	$a_{rms} \leq 0.10 \text{ m/s}^2$ y $f_1 \geq 4.5 \text{ Hz}$
*Para bajos requerimientos. Se asume que vivienda social es un bajo requerimiento		



## 5. Verificación de los entrepisos

### 5.1. Cargas

#### 5.1.1. Cargas Permanentes

Las cargas permanentes (P) que actúan sobre los paneles CLT de entepiso se presentan en la Tabla 14.

Tabla 14. Acciones permanentes (P) sobre los paneles CLT de entepiso<sup>1</sup>

Elemento	Carga superficial (kN/m <sup>2</sup> )
A. Peso propio del CLT	variable
B. Peso agregado de los elementos constructivos	1.0

#### 5.1.2. Sobrecarga de uso

Las sobrecargas de uso de vivienda que aplican sobre los paneles CLT de entepiso son las mostradas en la Tabla 15. Tal y como se muestra en la Figura 10, se ha contemplado, además, una carga puntual de 2kN, no concomitante con la uniforme, ubicada en el punto más desfavorable a momento (centro del vano) y a cortante (cercana al apoyo).

Tabla 15. Acciones variables de uso en vivienda (SU) sobre los paneles CLT de entepiso<sup>1</sup>

Ubicación	S. Uso (Q1) (kN/m <sup>2</sup> )
Dormitorios, cocinas, azoteas accesibles y baños	1.5
Comedores y lugares de estar con luces ≤5m	1.5
Comedores y lugares de estar con luces >5m	2.0

### 5.2. Combinación de cargas

Tanto las cargas permanentes como las de uso se consideran desfavorables para el dimensionado los paneles CLT de entepiso, por lo que los coeficientes de simultaneidad de las acciones toman los valores 1.35 y 1.5 para las cargas permanentes y variables, respectivamente. La Tabla 16 presenta los valores de cálculo para las combinaciones de acciones persistentes o transitorias.

Tabla 16. Valores de cálculo de las combinaciones de acciones persistentes o transitorias

Combinación	$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j}$	+	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$	+	$\sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \varphi_{0,i} Q_{k,i}$
1 Permanente (CP)	$1,35 \cdot CP$			+	0
2 Sobrecarga de uso (Q1)	$1,35 \cdot CP$	+	$1,5 \cdot Q1$	+	0
3 Sobrecarga de uso puntual (Q2)	$1,35 \cdot CP$	+	$1,5 \cdot Q2$	+	0

Los valores de las combinaciones de acciones accidentales para el dimensionado de la vigueta de forjado se detallan en la Tabla 17. Los coeficientes de seguridad del material toman valor igual a 1 por tratarse de acciones desfavorables. En el caso de una situación accidental de incendio, no existe una carga accidental definida como tal ( $A_k$ ), sino que las combinaciones en caso de incendio se definen por la combinación de las permanentes y las variables con sus correspondientes coeficientes de seguridad ( $\gamma=1$  para todas las acciones) y de simultaneidad ( $\varphi$ ).

Tabla 17. Valores de cálculo de las combinaciones de acciones accidentales

Combinación	$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j}$	+	$A_k \gamma_A$	+	$\gamma_{Q,1} \varphi_1 Q_{k,1}$	+	$\sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \varphi_{2,i} Q_{k,i}$
4 Fuego	$1 \cdot CP$	+	0	+	$1 \cdot 0,5 \cdot Q1$	+	0
5 Fuego	$1 \cdot CP$	+	0	+	$1 \cdot 0,5 \cdot Q2$	+	0

### 5.3. Modelado de los paneles CLT

Los paneles CLT de entresuelo se modelan como vigas simplemente apoyadas en un sistema isostático, considerando que sólo las capas longitudinales (paralelas a la dirección principal) transmiten esfuerzos, mientras que las transversales se consideran como simples medios de unión entre las longitudinales. Las Figuras 8-10 muestran las cargas aplicadas sobre paneles CLT de 3 o 5 capas para cada caso de combinación de acciones.

Los esfuerzos o sollicitaciones a los que se encuentra sometida la vigueta en función de las combinaciones de acciones se calculan según la teoría de Resistencia de Materiales y de acuerdo al Anexo 2 del Eurocódigo 5<sup>7</sup>.

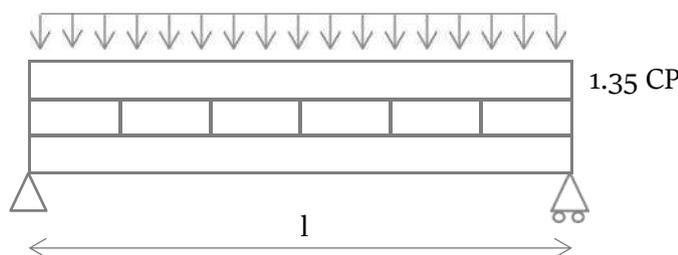


Figura 8. Combinación 1

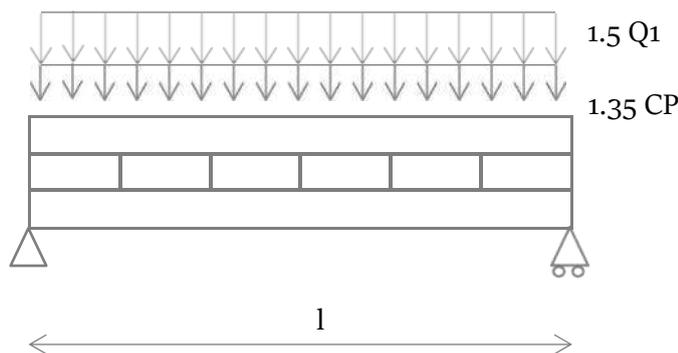


Figura 9. Combinación 2

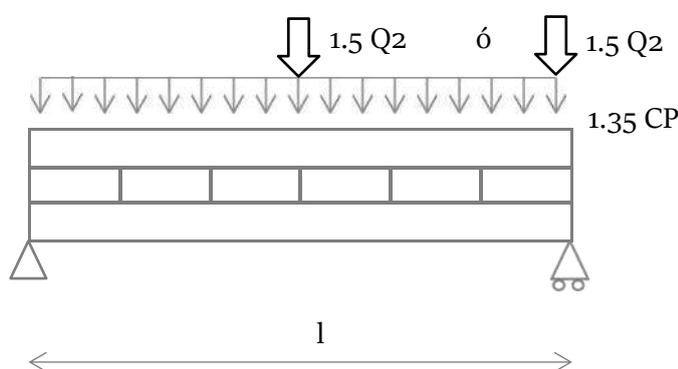


Figura 10. Combinación 3

## 5.4. Propiedades del material

Para el cálculo estructural de los paneles CLT de la presente memoria se ha considerado que las capas longitudinales corresponden a madera aserrada de coníferas de clase resistente C24 y las transversales de clase resistente C16, cuyas propiedades se definen en la Tabla 3. El método de cálculo descrito en la presente memoria aplica a cualquiera que sea la clase resistente de las láminas utilizadas en la fabricación del CLT.

## 5.5. Dimensiones de los paneles considerados

La Tabla 18 muestra las dimensiones de paneles CLT de 3 y 5 capas, considerados en las verificaciones estructurales para entrepisos.

Tabla 18. Espesores de paneles CLT de 3 y 5 capas

Espesor CLT (mm)	Espesores láminas (mm)				
	1	1-2	2	2-3	3
CR	C24	C16	C24	C16	C24
83	33	17	33	-	-
100	33	34	33	-	-
120	40	40	40	-	-
137	33	19	33	19	33
158	40	19	40	19	40
179	33	40	33	40	33
186	40	33	40	33	40
200	40	40	40	40	40

## 5.6. Verificaciones de CLT en entrepisos

### 5.6.1. ELU

#### Flexión

Verificación de flexión de un panel CLT en entrepisos según la dirección principal:

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{0,d}}{W_{0,net}} \leq f_{m,d} \tag{Ec. 42}$$

donde,

$M_{0,d}$ , es el momento de cálculo a flexión

$W_{0,net}$  es el módulo resistente de la sección neta

$f_{m,d}$ , es la resistencia de cálculo a flexión, calculada de acuerdo a la Ec. 3

#### Cortante

Verificación de cortante de las capas longitudinales de un panel CLT en entrepisos según la dirección principal (Ec. 43) y de cortante por rodadura (Ec. 44):

$$r_{V,d} = \frac{V_{0,d} \cdot S_{0,V,net}}{I_{0,net} \cdot b} \leq f_{V,d} \tag{Ec. 43}$$

$$r_{V,R,d} = \frac{V_{0,d} \cdot S_{0,R,net}}{I_{0,net} \cdot b} \leq f_{V,R,d} \tag{Ec. 44}$$



donde,

$V_{o,d}$ , es la tensión de cálculo a cortante, calculada de acuerdo a la Ec. 3

$I_{o,net}$  es el momento de inercia de la sección neta

$S_{o,V,net}$ , es el momento estático de la sección asociado a cortante de las capas longitudinales

$S_{o,R,net}$ , es el momento estático de la sección asociado a cortante por rodadura

### *Flexión y Cortante en caso de incendio*

Se realizan las mismas verificaciones anteriores, pero teniendo en cuenta la sección eficaz después de haberse carbonizado el espesor de panel en el tiempo de resistencia a fuego exigido y en función del número de caras expuestas. Para el caso de la verificación de los paneles de entepiso, se ha considerado una exigencia de resistencia a fuego de 30 minutos (R30) con las caras superior e inferior expuestas.

### 5.6.2. ELS

#### *Flecha*

Verificada según lo descrito en los apartados 4.1.3. y 4.2.4, sin tener en consideración el efecto de deformación por cortante de las Ecuaciones 15 y 16.

#### *Vibraciones*

Verificadas según lo descrito en el apartado 4.2.5., teniendo en consideración los límites definidos en la Clase I de la Tabla 13, excepto para la limitación de rigidez, que se ha tenido en cuenta el límite de 1 mm, según lo definido en la Clase II para bajos requerimientos.

## 5.7. Detalle de las verificaciones de CLT en entepisos

Según las verificaciones detalladas a continuación, las luces máximas que verifican ELU en situación normal y de incendio (R30) y ELS en flechas y vibraciones, para las cargas definidas en el presente documento, se detallan en la Tabla 19.

Tabla 19. Luces máximas que verifican los ELU y ELS en entrepisos para las cargas

Cargas de entrepisos: P: pp+1 kN/m <sup>2</sup>							
Sobrecargas uso para luces ≤ 5m: 1.5 kN/m <sup>2</sup> ; luces > 5m: 2.0 kN/m <sup>2</sup>							
Caras expuestas al fuego: 2; Tiempo de resistencia al fuego: 30 min (R30)							
Espesor CLT (mm)	Espesores láminas (mm)					Cumple para luces (m)	
	1	1-2	2	2-3	3		
	CR	C24	C16	C24	C16	C24	
83		33	17	33	-	-	≤ 2.8
100		33	34	33	-	-	≤ 3.3
120		40	40	40	-	-	≤ 4.0
137		33	19	33	19	33	≤ 4.5
158		40	19	40	19	40	≤ 5.2
179		33	40	33	40	33	≤ 5.3
186		40	33	40	33	40	≤ 5.6
200		40	40	40	40	40	≤ 5.8

Se detallan a continuación las verificaciones en ELU y ELS para la luz máxima de cada espesor de panel (Tablas 20-28)

Tabla 20. Parámetros geométricos en ELU de los paneles considerados

Esp.	Espesores láminas (mm)					$Z_s$	$A_{o,net}$	$a_1$	$a_2$	$a_2$	$I_{o,net}$	$W_{o,net}$	$S_{R,net}$
	1	1-2	2	2-3	3								
83	33	17	33	-	-	41.5	66000	-25	25	-	47239500	1138301	825000
100	33	34	33	-	-	50.0	66000	-33.5	33.5	-	80058000	1601160	1105500
120	40	40	40	-	-	60.0	80000	-40	40	-	138666667	2311111	1600000
137	33	19	33	19	33	68.5	99000	-52	0	52	187448250	2736471	1716000
158	40	19	40	19	40	79	120000	-59	0	59	294480000	3727595	2360000
179	33	40	33	40	33	89.5	99000	-73	0	73	360698250	4030148	2409000
186	40	33	40	33	40	93	120000	-73	0	73	442320000	4756129	2920000
200	40	40	40	40	40	100	120000	-80	0	80	528000000	5280000	3200000

Tabla 21. Parámetros geométricos en ELS de los paneles considerados

Esp.	Espesores láminas (mm)					$\gamma_1$	$\gamma_2$	$\gamma_3$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$I_{o,ef}$	$k_{def}$
	1	1-2	2	2-3	3								
83	33	17	33	-	-	0.87	1.00	-	26.8	23.2	-	44265978	0.6
100	33	34	33	-	-	0.82	1.00	-	36.9	30.1	-	72606519	0.6
120	40	40	40	-	-	0.82	1.00	-	43.9	36.1	-	126131186	0.6
137	33	19	33	19	33	0.94	1.00	0.94	52	0	52	176205892	0.6
158	40	19	40	19	40	0.94	1.00	0.94	59	0	59	278462435	0.6
179	33	40	33	40	33	0.91	1.00	0.91	73	0	73	328134133	0.6
186	40	33	40	33	40	0.92	1.00	0.92	73	0	73	406619506	0.6
200	40	40	40	40	40	0.92	1.00	0.92	80	0	80	480073752	0.6



## Verificación de Flexión

Tabla 22. Verificación de flexión en ELU de los paneles de entrepiso

Esp. CLT (mm)	Luz (m)	Cb.	M <sub>d</sub> N mm	ρ <sub>m,d</sub> N/mm <sup>2</sup>	f <sub>m,d</sub> N/mm <sup>2</sup>	Verificación <1
83	2.8	1	1926950	1.7	11.2	0.15
		2	4131950	3.6	15.4	0.24
		3	4026950	3.5	17.3	0.20
100	3.3	1	2848416	1.8	11.5	0.15
		2	5911228	3.7	15.4	0.24
		3	5323416	3.3	17.3	0.19
120	4.0	1	4482000	1.9	11.5	0.17
		2	8982000	3.9	15.4	0.25
		3	7482000	3.2	17.3	0.19
137	4.5	1	2992038	2.2	11.5	0.19
		2	11687351	4.3	15.4	0.28
		3	9367038	3.4	17.3	0.20
158	5.2	1	8528247	2.3	11.5	0.20
		2	1868247	5.0	15.4	0.33
		3	12428247	3.3	17.3	0.19
179	5.3	1	9406902	2.3	11.5	0.20
		2	19940652	4.9	15.4	0.32
		3	13381902	3.3	17.3	0.19
186	5.6	1	10705716	2.2	11.5	0.19
		2	22465716	4.7	15.4	0.31
		3	14905716	3.1	17.3	0.18
200	5.8	1	11921175	2.3	11.5	0.20
		2	24536175	4.6	15.4	0.30
		3	16271175	3.1	17.3	0.18

## Verificación de Cortante

Tabla 23. Verificación de cortante en ELU de los paneles de entrepiso

Esp. CLT (mm)	Luz (m)	Cb.	$V_d$ N	$\tau_d$ N/mm <sup>2</sup>	$f_{v,d}$ N/mm <sup>2</sup>	Verificación <1
83	2.8	1	2753	0.05	0.34	0.14
		2	5903	0.10	0.45	0.23
		3	5753	0.10	0.50	0.20
100	3.3	1	3453	0.05	0.3	0.14
		2	7165	0.1	0.4	0.22
		3	6453	0.09	0.5	0.18
120	4.0	1	4482	0.05	0.3	0.15
		2	8982	0.1	0.4	0.26
		3	7482	0.09	0.5	0.17
137	4.5	1	5326	0.05	0.3	0.14
		2	10389	0.1	0.4	0.21
		3	8326	0.08	0.5	0.15
158	5.2	1	6560	0.05	0.3	0.16
		2	14360	0.11	0.4	0.26
		3	9560	0.08	0.5	0.15
179	5.3	1	7100	0.05	0.3	0.14
		2	15050	0.10	0.4	0.22
		3	10100	0.07	0.5	0.13
186	5.6	1	7647	0.05	0.3	0.15
		2	16047	0.11	0.4	0.24
		3	10647	0.07	0.5	0.14
200	5.8	1	8222	0.05	0.3	0.15
		2	16922	0.10	0.4	0.23
		3	11222	0.07	0.5	0.14

## Flecha

Tabla 24. Verificación de flecha en ELS de los paneles de entrepiso

Esp. CLT (mm)	Luz (m)	Flecha Máx.	Flecha (mm)	Máx. adm. (mm)	Verificación <1
83	2.8	$w_{inst,qs}$	5.01	11.20	0.45
		$W_{inst}$	4.9	9.3	0.52
		$W_{net,fin}$	6.7	14.0	0.48
100	3.3	$w_{inst,qs}$	6.2	13.2	0.47
		$W_{inst}$	5.9	11.0	0.54
		$W_{net,fin}$	8.2	16.5	0.50
120	4.0	$w_{inst,qs}$	8.1	16.0	0.51
		$W_{inst}$	7.6	13.3	0.57
		$W_{net,fin}$	10.6	20.0	0.53
137	4.5	$w_{inst,qs}$	9.7	18.0	0.54
		$W_{inst}$	9.0	15.0	0.60
		$W_{net,fin}$	12.6	22.5	0.56
158	5.2	$w_{inst,qs}$	12.3	20.8	0.59
		$W_{inst}$	12.0	17.3	0.69
		$W_{net,fin}$	16.6	26.0	0.64
179	5.3	$w_{inst,qs}$	11.8	21.2	0.55
		$W_{inst}$	11.3	17.7	0.64
		$W_{net,fin}$	15.8	16.5	0.59
186	5.6	$w_{inst,qs}$	12.0	22.4	0.54
		$W_{inst}$	11.5	18.7	0.62
		$W_{net,fin}$	16.0	28.0	0.57
200	5.8	$w_{inst,qs}$	12.0	23.2	0.52
		$W_{inst}$	11.4	19.3	0.59
		$W_{net,fin}$	16.0	29.0	0.55

## Vibraciones

Tabla 25. Verificación de vibraciones en ELS de los paneles de entrepiso

Esp. CLT (mm)	Luz (m)		Valor	Límite	Verificación
83	2.8	$f_1$ (Hz)	23.0	> 8 Hz	Ok
		$a_{rms}$ (m/s <sup>2</sup> )	0.00	< 0.10 m/s <sup>2</sup>	Ok
		$W_{ikN}$ (mm)	0.94	< 1 mm	Ok
100	3.3	$f_1$ (Hz)	19.5	> 8 Hz	Ok
		$a_{rms}$ (m/s <sup>2</sup> )	0.01	< 0.10 m/s <sup>2</sup>	Ok
		$W_{ikN}$ (mm)	0.94	< 1 mm	Ok
120	4.0	$f_1$ (Hz)	16.0	> 8 Hz	Ok
		$a_{rms}$ (m/s <sup>2</sup> )	0.03	< 0.10 m/s <sup>2</sup>	Ok
		$W_{ikN}$ (mm)	0.96	< 1 mm	Ok
137	4.5	$f_1$ (Hz)	13.9	> 8 Hz	Ok
		$a_{rms}$ (m/s <sup>2</sup> )	0.06	< 0.10 m/s <sup>2</sup>	Ok
		$W_{ikN}$ (mm)	0.98	< 1 mm	Ok
158	5.2	$f_1$ (Hz)	12.2	> 8 Hz	Ok
		$a_{rms}$ (m/s <sup>2</sup> )	0.10	< 0.10 m/s <sup>2</sup>	Ok
		$W_{ikN}$ (mm)	0.96	< 1 mm	Ok
179	5.3	$f_1$ (Hz)	12.1	> 8 Hz	Ok
		$a_{rms}$ (m/s <sup>2</sup> )	0.09	< 0.10 m/s <sup>2</sup>	Ok
		$W_{ikN}$ (mm)	0.86	< 1 mm	Ok
186	5.6	$f_1$ (Hz)	11.8	> 8 Hz	Ok
		$a_{rms}$ (m/s <sup>2</sup> )	0.10	< 0.10 m/s <sup>2</sup>	Ok
		$W_{ikN}$ (mm)	0.82	< 1 mm	Ok
200	5.8	$f_1$ (Hz)	11.5	> 8 Hz	Ok
		$a_{rms}$ (m/s <sup>2</sup> )	0.10	< 0.10 m/s <sup>2</sup>	Ok
		$W_{ikN}$ (mm)	0.77	< 1 mm	Ok

*Verificación en caso de incendio*

Tabla 26. Espesores eficaces de los paneles en situación de incendio con dos caras expuestas a fuego durante 30 min (R30)

Esp. CLT (mm)	Esp. fuego CLT (mm)	Espesores láminas en caso de incendio (mm)				
		1	1-2	2	2-3	3
83	30	6.5	17	6.5	-	-
100	47	6.5	34	6.5	-	-
120	67	13.5	40	13.5	-	-
137	84	6.5	19	33	19	6.5
158	105	13.5	19	40	19	13.5
179	126	6.5	40	33	40	6.5
186	133	13.5	33	40	33	13.5
200	147	13.5	40	40	40	13.5

*Verificación de flexión en caso de incendio*

Tabla 27. Verificación de flexión en ELU en caso de incendio con dos caras expuestas durante 30 min (R30)

Esp. CLT (mm)	Luz (m)	Cb.	$M_d$ N mm	$\rho_{m,d}$ N/mm <sup>2</sup>	$f_{m,d}$ N/mm <sup>2</sup>	Verificación <1
30	2.8	4	2162370	17.6	0.28	0.64
		5	2127370	17.3	0.28	0.63
47	3.3	4	3130875	13.7	27.6	0.50
		5	2934938	12.8	27.6	0.46
67	4.0	4	4820000	8.2	27.6	0.30
		5	4320000	7.3	27.6	0.27
84	4.5	4	6969797	13.0	27.6	0.47
		5	5563547	10.3	27.6	0.38
105	5.2	4	9697220	8.2	27.6	0.30
		5	7617220	6.4	27.6	0.24
126	5.3	4	10479326	13.3	27.6	0.48
		5	8293076	10.6	27.6	0.38
133	5.6	4	11850160	7.7	27.6	0.28
		5	9330160	6.1	27.6	0.22
147	5.8	4	13035500	7.6	27.6	0.28
		5	10280500	6.0	27.6	0.22

*Verificación de cortante en caso de incendio*

Tabla 28. Verificación de cortante en ELU en caso de incendio con dos caras expuestas a fuego

Esp. CLT (mm)	Luz (m)	Cb.	$V_d$ N	$\tau_d$ N/mm <sup>2</sup>	$f_{v,d}$ N/mm <sup>2</sup>	Verificación <1
30	2.8	4	3089	0.13	0.8	0.16
		5	3039	0.13	0.8	0.16
47	3.3	4	3795	0.09	0.8	0.11
		5	3558	0.09	0.8	0.11
67	4.0	4	4820	0.09	0.8	0.11
		5	4320	0.08	0.8	0.10
84	4.5	4	6195	0.07	0.8	0.09
		5	4945	0.05	0.8	0.07
105	5.2	4	7459	0.07	0.8	0.09
		5	5859	0.06	0.8	0.07
126	5.3	4	7909	0.06	0.8	0.07
		5	6259	0.05	0.8	0.06
133	5.6	4	8464	0.07	0.8	0.08
		5	6664	0.05	0.8	0.06
147	5.8	4	8990	0.06	0.8	0.08
		5	7090	0.05	0.8	0.06

## 6. Verificación de los muros

### 6.1. Cargas

#### 6.1.1. Cargas Permanentes

Las cargas permanentes (P) que actúan sobre los paneles CLT de muro son las correspondientes a su peso propio y a las de las cargas permanentes sobre los paneles de entrepiso. Las consideradas para las verificaciones de la presente memoria son las que se presentan en la Tabla 29. En el cálculo del panel se ha considerado que la altura del edificio es de 7 plantas y, por lo tanto, la carga permanente que aplica sobre el panel de la planta baja es la correspondiente al peso propio de los muros y entrepisos de las 6 plantas superiores.

Tabla 29. Acciones permanentes (P) sobre los paneles CLT de muro por planta

Elemento	Carga superficial (kN/m <sup>2</sup> )
A. Peso propio del CLT de muro y entrepiso	variable
B. Peso agregado de los elementos constructivos	1.0

#### 6.1.2. Sobrecarga de uso

Los valores de las sobrecargas de uso de vivienda que aplican sobre cada panel CLT de muro por planta son los mismos que los mostrados en la Tabla 15.

#### 6.1.3. Sobrecarga de viento

Para el dimensionado de los paneles de muro exteriores se ha considerado una carga de viento uniformemente distribuida en la dirección perpendicular al panel de 1 kN/m<sup>2</sup>.

### 6.2. Combinación de cargas

La Tabla 30 presenta los valores de cálculo para las combinaciones de acciones persistentes o transitorias y la Tabla 31 las combinaciones en caso de incendio

Tabla 30. Valores de cálculo de las combinaciones de acciones persistentes o transitorias

Combinación	$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j}$	+	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$	+	$\sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \varphi_{0,i} Q_{k,i}$
1 Permanente (CP)	$1,35 \cdot CP$	+	0	+	0
2 Sobrecarga de uso (Q1)*	$1,35 \cdot CP$	+	$1,5 \cdot Q1$	+	0
3 Sobrecarga de viento (W)**	$1,35 \cdot CP$	+	$1,5 W$	+	0

\*No se ha considerado la carga puntual del forjado a efectos de la verificación del muro

\*\* La carga de viento se ha considerado actuando de forma perpendicular a los muros exteriores, de modo que el muro trabaje a flexocompresión

Tabla 31. Valores de cálculo de las combinaciones de acciones accidentales

Combinación	$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j}$	+	$A_k \gamma_A$	+	$\gamma_{Q,1} \varphi_1 Q_{k,1}$	+	$\sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \varphi_{2,i} Q_{k,i}$
4 Fuego	$1 \cdot CP$	+	0	+	$1 \cdot 0,5 \cdot Q_1$	+	0

### 6.3. Modelado de los paneles CLT de muro

Los paneles CLT de muro se modelan como pilares biapoyados sobre los que actúa la carga resultante de los paneles de entrepiso y muro colocados en las plantas superiores. A efectos de la presente memoria, se han considerado tres plantas actuando sobre el muro a calcular. Sobre los muros exteriores actúa, además, la carga correspondiente al viento dependiendo de la exposición del muro y del edificio. En la presente memoria se ha considerado una carga de viento uniformemente distribuida en los muros exteriores de 1 kN/m<sup>2</sup>. El esquema de cálculo se representa en la Figura 11.

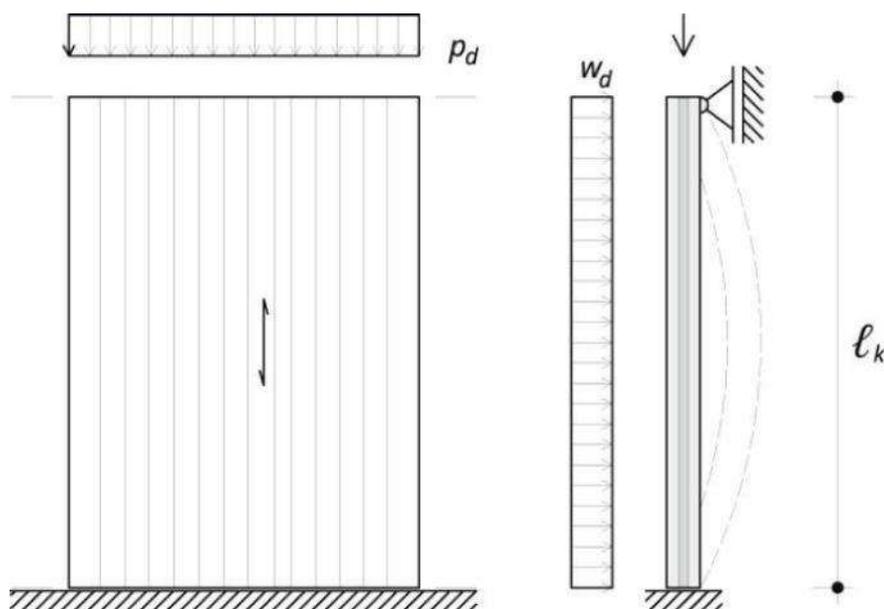


Figura 11. Esquema general de cálculo de los muros de CLT<sup>15</sup>

### 6.4. Propiedades del material

Para el cálculo estructural de los paneles CLT de la presente memoria se ha considerado que las capas longitudinales corresponden a madera aserrada de coníferas de clase resistente C24 y las transversales de clase resistente C16, cuyas propiedades se definen en la Tabla 3. El método de cálculo descrito en la presente memoria aplica a cualquiera que sea la clase resistente de las láminas utilizadas en la fabricación del CLT.

## 6.5. Verificaciones de CLT en muros

### 6.5.1. ELU

*Flexocompresión y pandeo*

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d} k_{c,y}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad \text{Ec. 45}$$

donde,

$f_{m,d}$ , es la resistencia de cálculo a flexión, calculada de acuerdo a la Ec. 3

$\sigma_{c,0,d}$ , es la tensión de cálculo a compresión paralela a la fibra

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{0,d}}{A_{0,net}} \quad \text{Ec. 46}$$

$\sigma_{m,d}$ , es la tensión de cálculo en flexión

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{0,d}}{w_{0,net}} \quad \text{Ec. 47}$$

$k_{c,y}$ , es el coeficiente de pandeo

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad \text{Ec. 48}$$

$$k_y = 0,5[(1 + 0,1(\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)] \quad \text{Ec. 49}$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi E_{0,05}} \sqrt{f_{c,0,k}} \quad \text{Ec. 50}$$

$$\lambda_y = \frac{l_{k,i}}{i_{y,0,ef}} \quad \text{Ec. 51}$$

$$i_{y,0,ef} = \sqrt{\frac{I_{y,0,ef}}{A_{0,net}}} \quad \text{Ec. 52}$$

## 6.6. Detalle de las verificaciones de CLT en muros

Se detallan a continuación las verificaciones en ELU y ELS para la una altura de 3 m de panel CLT de muro (Tablas 32-39)

Tabla 32. Parámetros geométricos en ELU del panel de muro considerado

Esp.	Espesores láminas (mm)					$Z_s$	$A_{o,net}$	$a_1$	$a_2$	$a_2$	$I_{o,net}$	$W_{o,net}$	$S_{R,net}$
	1	1-2	2	2-3	3								
CLT (mm)						mm	mm <sup>2</sup>	mm	mm	mm	mm <sup>4</sup>	mm <sup>3</sup>	mm <sup>3</sup>
11	33	34	33	-	-	50	66000	-33.5	33.5	-	80058000	1601160	1105500

Tabla 33. Parámetros geométricos en ELS del panel de muro considerado

Esp.	Espesores láminas (mm)					$\gamma_1$	$\gamma_2$	$\gamma_3$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$I_{o,ef}$	$k_{def}$
	1	1-2	2	2-3	3								
CLT (mm)									mm	mm		mm <sup>4</sup>	
100	33	34	33	-	-	0.80	1.00	-	37.3	29.7	-	71725673	0.6

*Verificación de flexocompresión y pandeo*

Tabla 34. Verificación de flexocompresión en ELU del panel de muro

Esp.	Luz (m)	Cb.	$M_d$	$N_d$	$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d} k_{c,y}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}}$	Verificación	
							N mm
CLT (mm)	100	3.1	1	0	35194	11.5	0.11
			2	1261313	89194	15.4	0.26
			3	1261313	35194	17.3	0.11

Siendo los parámetros de pandeo los mostrados en la Tabla 35.

Tabla 35. Parámetros de pandeo para la verificación de flexocompresión en ELU del panel de muro

$i_{y,o,ef}$	33.0	$\beta_c$	0.1
$\lambda_y$	94.0	$k_y$	1.8
$\lambda_{rel,y}$	1.6	$k_{c,y}$	0.4



*Flecha*

Tabla 36. Verificación de flecha debida al viento en ELS del panel de muro

Esp. CLT (mm)	Luz (m)	Flecha Máx.	Flecha (mm)	Máx. adm. (mm)	Verificación
100	3.1	$W_{net,fin}$	1.8	12.4	<1

*Verificación en caso de incendio*

Tabla 37. Espesor eficaz del panel en situación de incendio con dos caras expuestas a fuego durante 30 min (R30)

Esp. CLT (mm)	Esp. fuego CLT (mm)	Espesores láminas en caso de incendio (mm)		
		1	1-2	2
100	47	6.5	34	6.5

Tabla 38. Verificación de flexocompresión en ELU del panel de muro en caso de incendio con dos caras expuestas durante 30 min (R30)

Esp. CLT (mm)	Luz (m)	Cb.	$M_d$	$N_d$	$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d} k_{c,y}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}}$	Verificación
			N mm	N	N/mm <sup>2</sup>	<1
32	3.1	4	600625	27150	27.6	0.82
		5	600625	18150	27.6	0.58

Siendo los parámetros de pandeo los mostrados en la Tabla 39.

Tabla 39. Parámetros de pandeo para la verificación de flexocompresión en ELU del panel de muro

$i_{y,o,ef}$	20.1	$\beta_c$	0.10
$\lambda_y$	154	$k_y$	4.04
$\lambda_{rel,y}$	2.6	$k_{c,y}$	0.14

## 7. Verificación de la cubierta con vigas de MLE

Se detalla a continuación la verificación de la cubierta para un caso genérico de sobrecarga de viento. En el caso de resolver la cubierta con paneles CLT, aplica la misma metodología de cálculo que en el apartado 5.

### 7.1. Cargas

#### 7.1.1. Cargas Permanentes

Las cargas permanentes (P) que actúan sobre las vigas de MLE de cubierta se presentan en la Tabla 40.

Tabla 40. Acciones permanentes (P) sobre los las vigas de MLE de cubierta

Elemento	Carga superficial (kN/m <sup>2</sup> )
A. Peso propio de la viga de MLE	variable
B. Peso agregado de los elementos constructivos	1.0

#### 7.1.2. Sobrecarga de mantenimiento

Se tiene en cuenta la actuación de una carga de mantenimiento uniformemente distribuida de 1 kN/m<sup>2</sup> y una carga puntual de mantenimiento de 2kN actuando de forma no simultánea sobre el punto más desfavorable de la viga

#### 7.1.3. Sobrecarga de viento

Se ha considerado una carga de viento más desfavorable corresponde a una carga de presión en la dirección perpendicular a la viga de 1 kN/m<sup>2</sup>. Dependiendo de la inclinación de la cubierta y exposición pueden aparecer cargas de viento de succión que resulten más desfavorables que las de presión, por lo que debe ser tenido en cuenta en la memoria de cálculo de cada edificio particular.

### 7.2. Combinación de cargas

Tanto las cargas permanentes como las de mantenimiento y de viento se consideran desfavorables para el dimensionado las vigas de cubierta, por lo que los coeficientes de simultaneidad de las acciones toman los valores 1.35 y 1.5 para las cargas permanentes y variables, respectivamente. Las Tablas 41 y 42 presentan los valores de cálculo para las combinaciones de acciones persistentes o transitorias más desfavorables en el caso de acciones normales y accidentales (fuego), respectivamente.



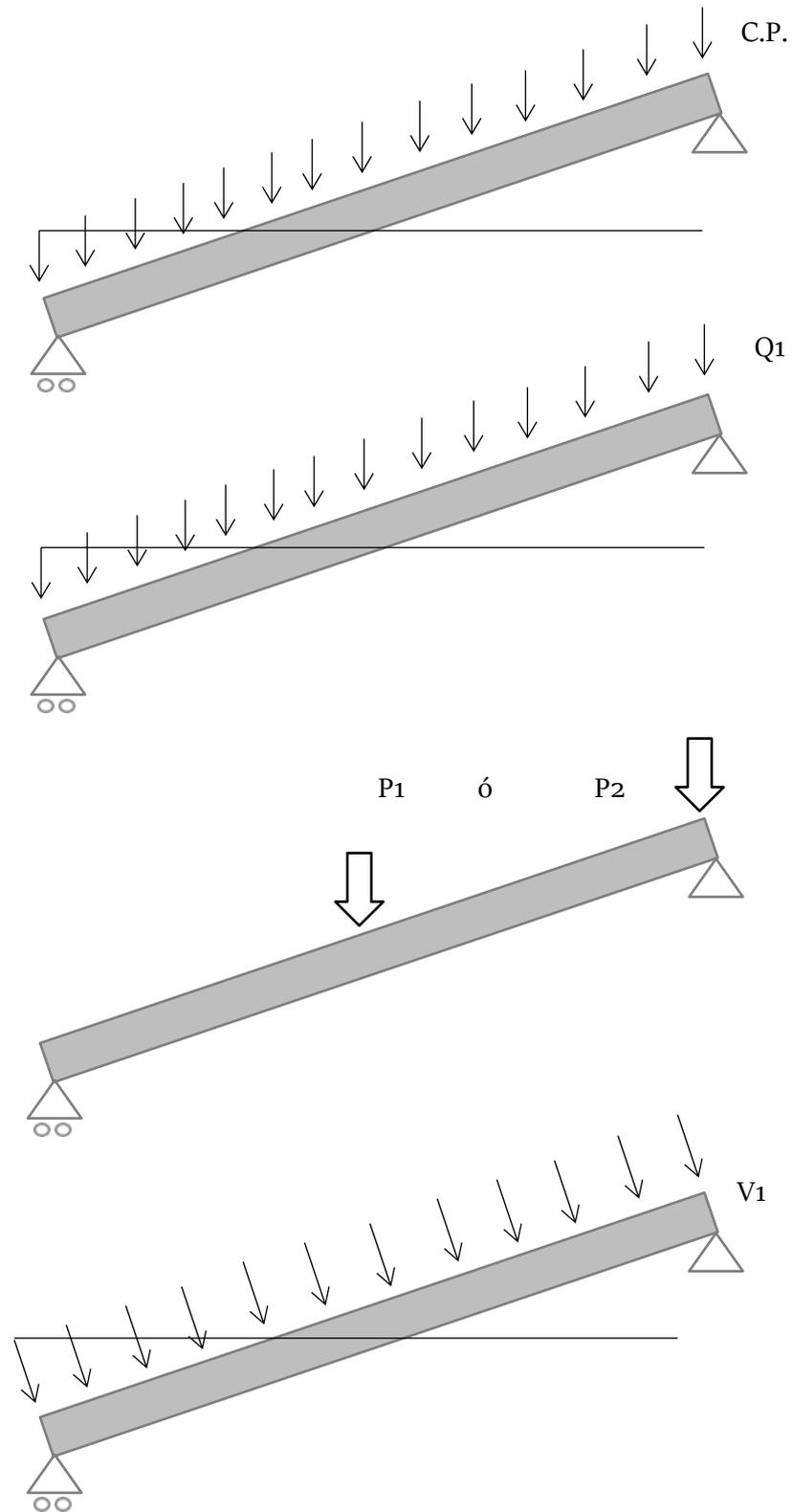


Figura 12. Esquema general de cálculo de las vigas de cubierta

Tabla 41. Valores de cálculo de las combinaciones de acciones más desfavorables

Combinación	$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j}$	+	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$	+	$\sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \varphi_{0,i} Q_{k,i}$
1 Permanente (CP)	$1,35 \cdot CP$			+	0
2 Sobrecarga de mantenimiento uniforme (Q1)	$1,35 \cdot CP$	+	$1,5 \cdot Q1$	+	0
3 Sobrecarga de mantenimiento puntual (P1)	$1,35 \cdot CP$	+	$1,5 \cdot P1$	+	0
4 Sobrecarga de viento (W)	$1,35 \cdot CP$	+	$1,5 \cdot W$	+	0

Tabla 42. Valores de cálculo de las combinaciones de acciones accidentales

Combinación	$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j}$	+	$A_k \gamma_A$	+	$\gamma_{Q,1} \varphi_{1} Q_{k,1}$	+	$\sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \varphi_{2,i} Q_{k,i}$
5 Fuego	$1 \cdot CP$	+	0	+	$1 \cdot 0,5 \cdot W$	+	0

### 7.3. Modelado de las vigas de MLE de cubierta

Se consideran vigas biapoyadas sometidas a flexión simple de 4 m de luz separadas cada 1.2 m y con una inclinación según la pendiente de 20°, solucionadas con vigas de madera laminada encolada de clase resistente GL24h (Fig. 12).



## 7.4. Verificaciones de las vigas de MLE de cubierta

### 7.4.1. ELU

Se realizan los cálculos en ELU para las combinaciones de acciones más desfavorables, que resultan ser las 1, 2, 4 y fuego de las Tablas 41 y 42. Los parámetros geométricos de la sección se muestran en la Tabla 43 y los parámetros geométricos en situación de incendio, para tres caras expuestas y una resistencia a fuego de 30 min se muestran en la Tabla 44..

Tabla 43. Parámetros geométricos en ELU de la viga de MLE de cubierta

b <sub>xh</sub> (mm <sup>2</sup> )	L (m)	Esp. lámina (mm)	Peso propio kN/m <sup>2</sup>	A mm <sup>2</sup>	I <sub>y</sub> mm <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> mm <sup>3</sup>
100 x 225	4.0	45	0,09	22500	94921875	843750

Tabla 44. Parámetros geométricos en ELU de la viga de MLE de cubierta en situación de incendio (3 caras expuestas y R30)

b <sub>xh</sub> (mm <sup>2</sup> )	L (m)	A <sub>fi</sub> mm <sup>2</sup>	I <sub>y,fi</sub> mm <sup>4</sup>	W <sub>y,fi</sub> mm <sup>3</sup>
44 x 197	4.0	8668	28033034	284599

#### Flexión y vuelco lateral

Verificación de flexión y a vuelco lateral

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d} \tag{Ec. 53}$$

$$k_{crit} = 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} \tag{Ec. 54}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \tag{Ec. 55}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi^2 b^2}{h l_{ef}} \frac{E G}{\sqrt{0,05 \ 0,05}} (1 - 0,63 b/h) \tag{Ec. 56}$$

donde

l<sub>ef</sub>, es la longitud eficaz de vuelco lateral para una carga aplicada en la parte comprimida de la viga, por lo que la longitud total se incrementa en 2h, (mm)



Tabla 45. Verificación de flexión en ELU de las vigas de cubierta

bxh (mm <sup>2</sup> )	L (m)	Cb.	M <sub>d</sub> N mm	ρ <sub>m,d</sub> N/mm <sup>2</sup>	f <sub>m,d</sub> N/mm <sup>2</sup>	ρ <sub>m,crit</sub> N/mm <sup>2</sup>	λ <sub>rel,m</sub>	k <sub>crit</sub>	Verificación <1	
100 x 225	4.0	1	3,45	4,10	12,67	62,6	0,62	1	0,32	OK
		2	6,74	7,99	19,01	62,6	0,62	1	0,42	OK
		4	7,06	8,36	19,01	62,6	0,62	1	0,44	OK
44 x 197	4.0	Fuego	3,64	12,79	27,60	15,1	0,62	1	0,75	OK

### Cortante

Tabla 46. Verificación de cortante en ELU de las vigas de cubierta

bxh (mm <sup>2</sup> )	L (m)	Cb.	V <sub>d</sub> kN	τ <sub>d</sub> N/mm <sup>2</sup>	f <sub>v,d</sub> N/mm <sup>2</sup>	Verificación <1	
100 x 225	4.0	1	3,46	0,34	1,68	0,20	OK
		2	6,74	0,67	2,52	0,26	OK
		4	7,05	0,70	2,52	0,28	OK
44 x 197	4.0	Fuego	3,65	0,63	4,03	0,16	OK

### 7.4.2. ELS

#### Flecha

Tabla 47. Verificación de flecha en ELS según AN-Eurocódigo 5 para la carga más desfavorable

bxh (mm <sup>2</sup> )	L (m)	wact mm	Integridad <l/300	Verif.	winst mm	Confort <l/350	Verif.	Wnet,fin mm	Apariencia <l/300	Verif.
100 x 225	4.0	5,79	13,33	OK	3,40	11,43	OK	6,37	13,33	OK

## 8. Estabilidad global de la edificación

En la memoria de cálculo de cada edificio específico se deberá verificar, además, la estabilidad lateral de la edificación, que dependerá de su geometría, y que se modelará y verificará para cada caso particular según los siguientes requerimientos: 1) estabilidad global de la edificación y/o local de los paneles CLT que componen la edificación (ELU de equilibrio); 2) inclinación o desplazamiento de los paneles CLT (ELS de desplome); y 3) fundaciones.

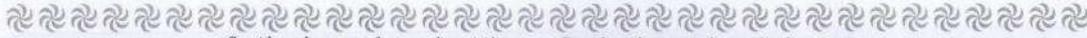




# Juan Carlos I, Rey de España

e no seu nome O  
Reitor da Universidade de  
Santiago de Compostela

y en su nombre El  
Rector de la Universidad de  
Santiago de Compostela



Considerando que, conforme as disposicións e circunstancias establecidas pola lexislación vixente,

Considerando que, conforme a las disposiciones y circunstancias prevenidas por la legislación vigente,

## Dona María Vanesa Baño Gómez

nada o día 15 de agosto de 1976, en Viveiro (Lugo), de nacionalidade española, e Enxeñeira de Montes, en 2003, pola Universidade de Santiago de Compostela superou os estudos de doutoramento no Departamento de Enxeñaría Agroforestal dentro do programa de Enxeñaría Agroforestal e fixo constar a súa suficiencia nesta Universidade coa cualificación de SOBRESALIENTE "CUM LAUDE", o día 28 de abril de 2009, expide o presente **TITULO DE DOUTORA** **POLA UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA** con carácter oficial e validez en todo o territorio nacional, que faculta á interesada para disfrutar os dereitos que a este título lle outorgan as disposicións vixentes. Dado en Santiago de Compostela, o 18 de maio de 2009

nacida el día 15 de agosto de 1976, en Viveiro (Lugo), de nacionalidad española, e Ingeniera de Montes, en 2003, por la Universidad de Santiago de Compostela ha superado los estudios de Doctorado en el Departamento de Ingeniería Agroforestal dentro del programa de Ingeniería Agroforestal y ha hecho constar su suficiencia en esta Universidad con la calificación de SOBRESALIENTE "CUM LAUDE", el día 28 de abril de 2009, expide el presente **TITULO DE DOCTORA** **POR LA UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA** con carácter oficial y validez en todo el territorio nacional, que faculta a la interesada para disfrutar los derechos que a este título otorgan las disposiciones vigentes. Dado en Santiago de Compostela, a 18 de mayo de 2009

A interesada  
La interesada,  
  
María Vanesa Baño Gómez

O reitor,  
El rector,  
  
Senén Barro Aneiros

A xefe da Sección de Títulos,  
La jefe de la Sección de Títulos,  
  
Gemma García Valladores

2-AA-630401

Registro Nacional de Títulos	Código de CENTRO	Registro Universitario de Títulos
2009152375	DOCTORA	3993A09

CLAVE ALFANUMERICA: <b>2-AA-630401</b>	Nº REGISTRO NAL. DE TÍTULOS: <b>2009152375</b>	CODIGO DE CENTRO: <b>DOCTORA</b>	REGISTRO UNIV. DE TÍTULOS: <b>3993A09</b>
---	---	-------------------------------------	--

**Revista do título de DOCTORA POLA UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA expedido o día 18 de maio de 2009, a favor de dona MARÍA VANESA BAÑO GÓMEZ con DNI 399487814 que verifica o feito da tese de doutoramento do día 28 de abril de 2009 a cal foi cualificada con SOBRESALIENTE "CUM LAUDE".**

**Revista del título de DOCTORA POR LA UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA expedido el día 18 de mayo de 2009, a favor de dona MARÍA VANESA BAÑO GÓMEZ con DNI 399487814 que verifica el hecho de la tesis de doctorado del día 28 de abril de 2009 a calificación con SOBRESALIENTE "CUM LAUDE".**

Certificado de Inscripción

**CIR**  
INFORME TÉCNICO DEL PROPONENTE

# ANEXO II:

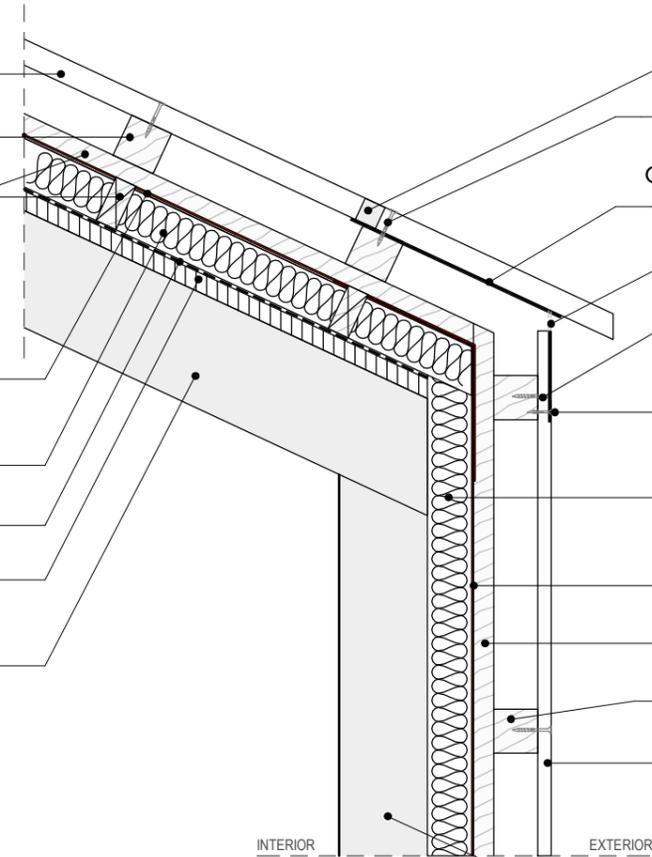
## RECAUDOS GRÁFICOS



**D01: CUBIERTA INCLINADA  
FACHADA VENTILADA**

**Chapa acanalada** prepintada cal. 0.41  
Colorgrip - Marca: Armco - Modelo: Chapanel  
**Alfaja de pino**  
tratado c/CCA sección 2x2" c/40 cm  
**Clavador de pino**  
tratado c/CCA sección 1x2"

**Membrana Transpirable**  
Marca: Tyvek o Rothoblaas  
**Filtro de lana de vidrio** - esp. 50 mm  
Marca: Isover - Modelo: SP 00730  
Densidad: 12/14 kg/m<sup>3</sup>  
**Lámina de polietileno**  
150 micras  
**Tablas de pino machimbradas**  
esp. 20 mm  
**Viga de madera laminada GL28h**  
sección: 120 x 60 mm c/ impregnante  
"CKC 2020"



**Burlete de goma** espuma sinusoidal  
Marca: Compriband  
**Tornillo galvanizado** hex. p/ aguja c/  
aro de goma - esp. 12mm - largo 2.5"  
Cada 60 cm - Marca: Ciser - Modelo: RM12212  
**Ángulo de chapa prepintada y perforada**  
Cal. 0.50 - Marca: Armco - Modelo: Colorgrip  
**Ventilación**  
Asegura 1500mm<sup>2</sup> x c/m<sup>2</sup> de azotea  
**Tornillo galvanizado** hex. p/ aguja c/  
aro de goma - esp. 12mm - largo 1.5"  
C/ 60 cm - Marca: Ciser - Modelo: RM12112  
**Tornillo galvanizado** cónico hex. c/ aro  
de goma - esp. 4.8mm - largo 8 mm  
C/ 120 cm - Marca: Wurth - Modelo: DIN7976  
**Filtro de lana de vidrio** - esp. 50 mm  
Marca: Isover - Modelo: SP 00730  
Densidad: 12/14 kg/m<sup>3</sup>  
**Membrana transpirable**  
Marca: Tyvek o Rothoblaas  
**Clavador de pino**  
tratado c/CCA sección 1x2"  
**Alfaja de pino**  
tratado c/CCA - sección 2x2" c/40 cm  
**Siding de fibrocemento con textura  
de madera esp\_8mm ó placa  
fibrocemento multicapa esp\_10mm**  
Marca Eternit -Modelo Superboard  
**Panel CLT** 100 mm  
c/ impregnante "CKC 2020"

INTERIOR EXTERIOR

DISEÑO ENKEL GROUP
CLIENTE
PROYECTO CIR

COMENTARIOS
-------------

LÁMINA 01	ESCALA 1.8	FECHA 2022
PLANO DETALLE 01		

**D02: ENTREPISO  
FACHADA VENTILADA**

Siding fibrocemento con textura de madera -esp-8mm ó

Placa fibrocemento multicapa - esp. 10mm  
Marca: Eternit - Modelo: Superboard

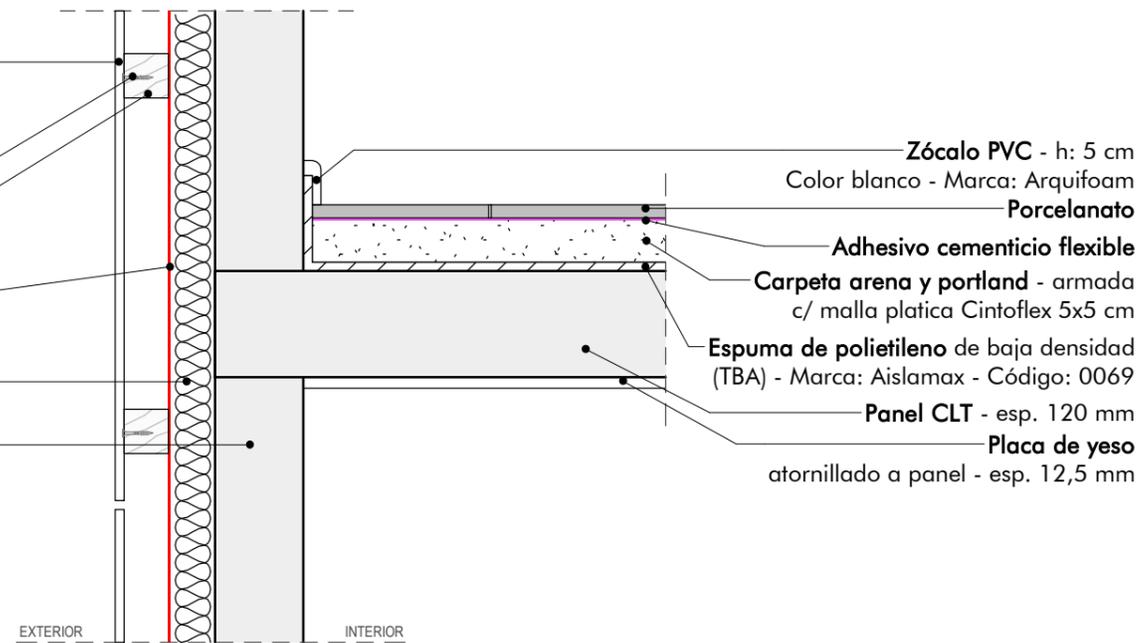
Tornillo galvanizado hex. p/aguja c/  
aro de goma - esp. 12mm - largo  
2.5" - Cada 120 cm - Marca: Ciser -  
Modelo: RM12212

Alfaja de pino tratado con CCA -  
sección 2 x 2 " c/ 40 cm

Membrana transpirable  
Marca: Tyvek o Rothoblaas

Filtro de lana de vidrio - esp. 50 mm  
Marca: Isover - Modelo: SP 00730  
Densidad: 12/14 kg/m3

Panel CLT 100 mm c/ impregnante  
"CKC 2020"



Zócalo PVC - h: 5 cm

Color blanco - Marca: Arquifoam

Porcelanato

Adhesivo cementicio flexible

Carpeta arena y portland - armada  
c/ malla plastica Cintoflex 5x5 cm

Espuma de polietileno de baja densidad  
(TBA) - Marca: Aislamax - Código: 0069

Panel CLT - esp. 120 mm

Placa de yeso  
atornillado a panel - esp. 12,5 mm

DISEÑO ENKEL GROUP	COMENTARIOS
CLIENTE CIR	
PROYECTO CIR	

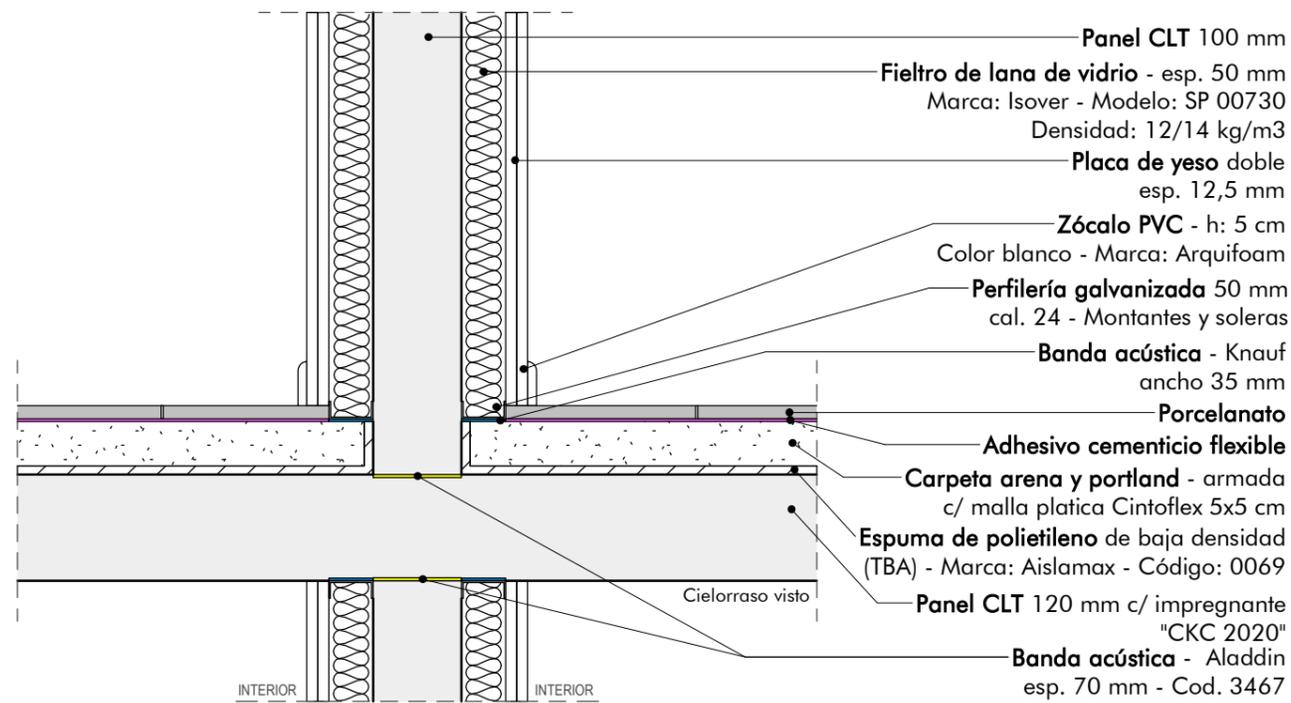


LÁMINA 02	ESCALA 1.8	FECHA 2022
PLANO DETALLE 02		

### D03: MURO DIVISORIO ENTREPISO

**NOTAS:**

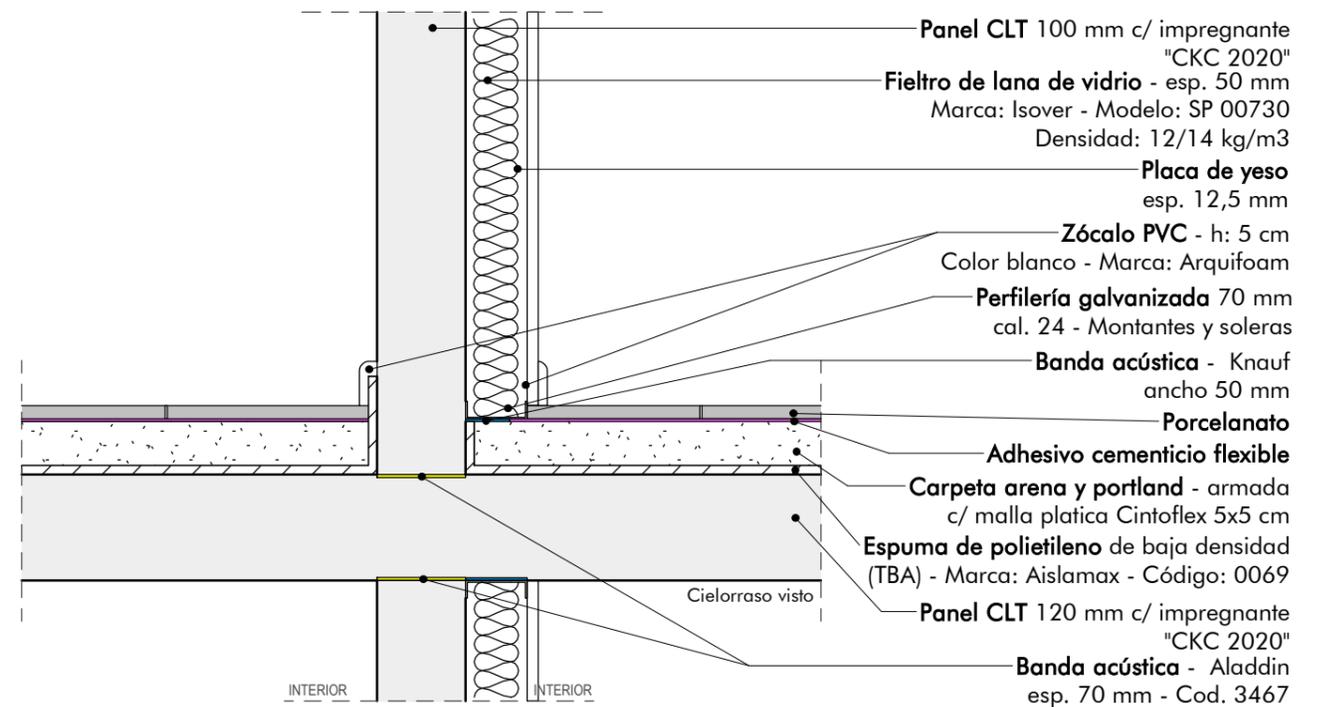
- Las placas de yeso no deben llegar al suelo, dejan 15 mm de separación.
- La membrana TBA debe pasar 5 cm por encima del nivel superior de la carpeta.



### D04: MURO INTERIOR ENTREPISO

**NOTAS:**

- Las placas de yeso no deben llegar al suelo, dejan 15 mm de separación.
- La membrana TBA debe pasar 5 cm por encima del nivel superior de la carpeta.

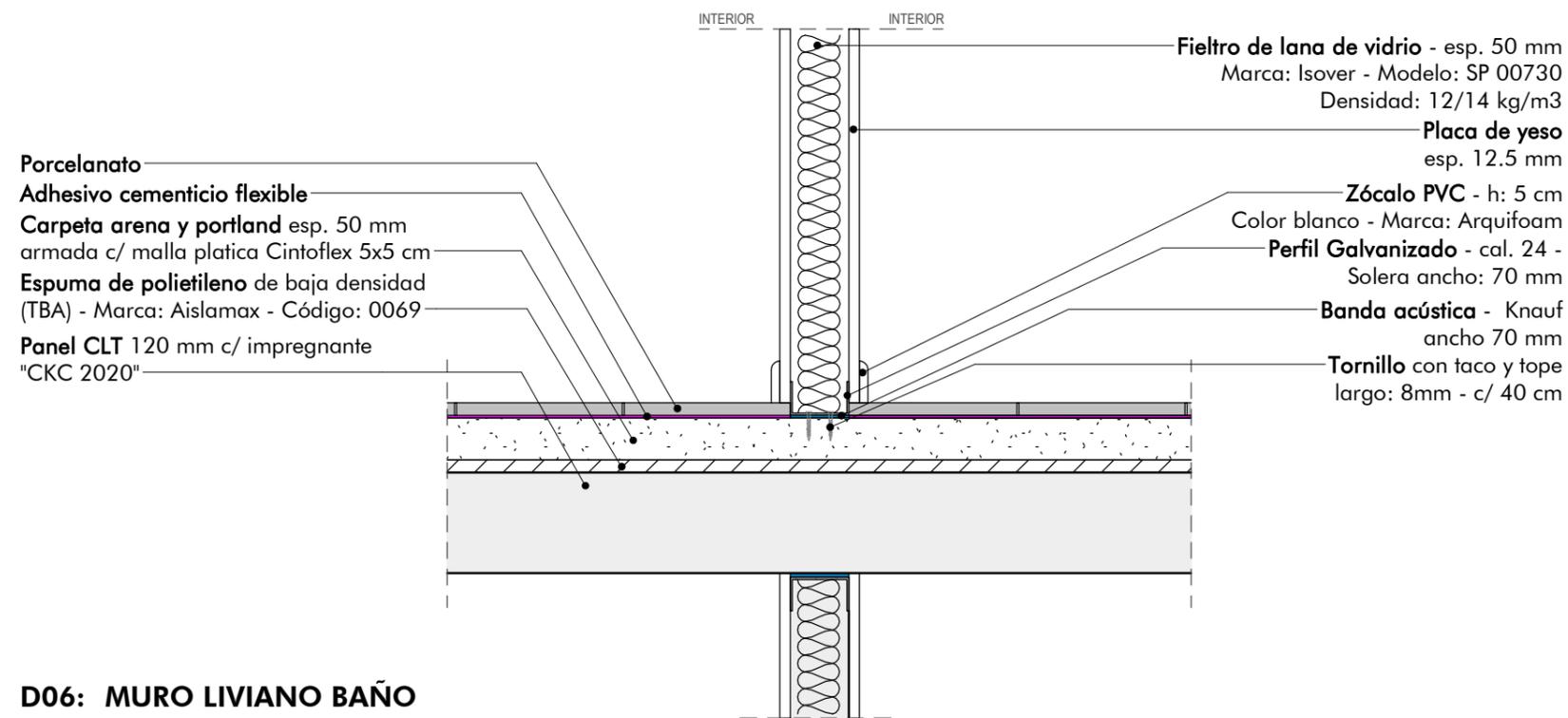


DISEÑO ENKEL GROUP	COMENTARIOS
CLIENTE	
PROYECTO CIR	

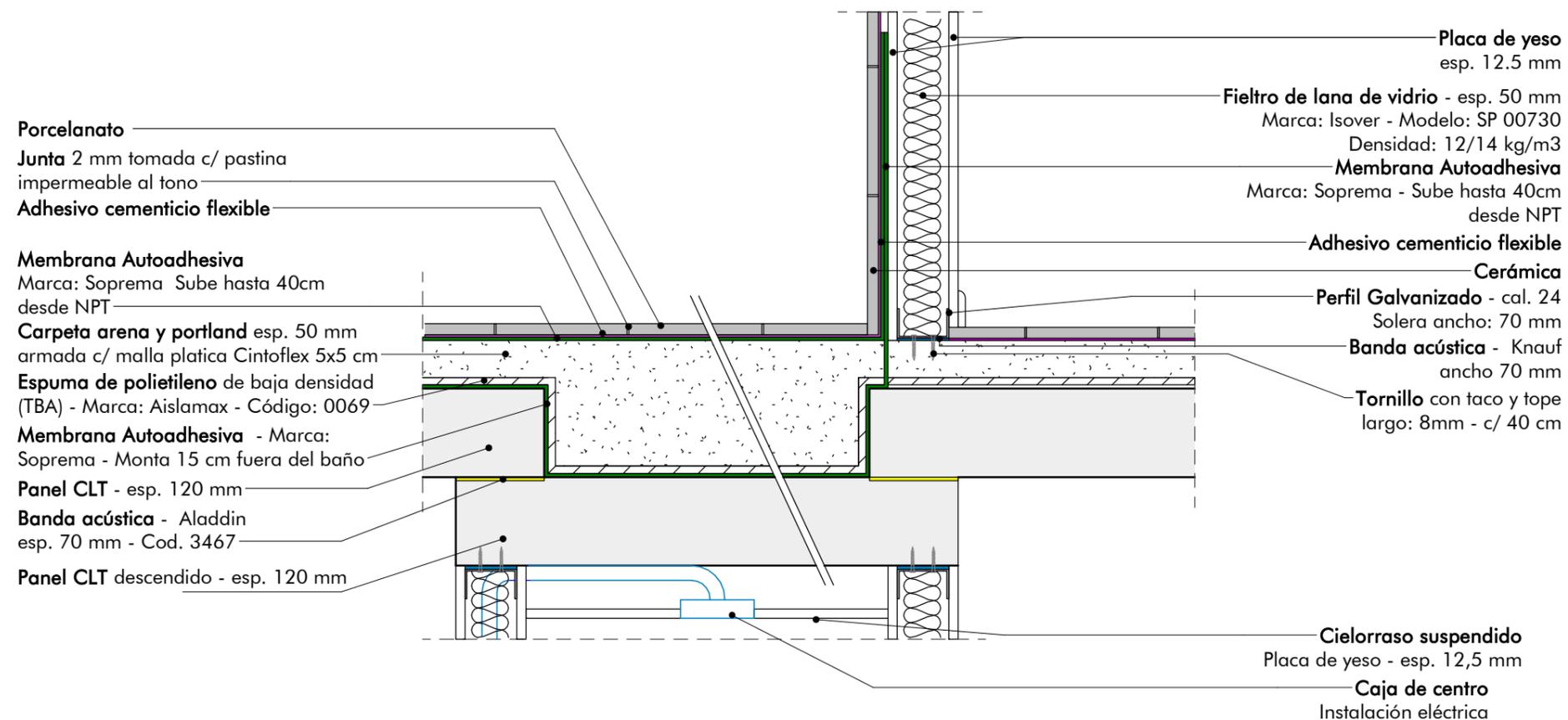
LÁMINA 03	ESCALA 1.8	FECHA 2022
PLANO DETALLE 03-04		

170

**D05 MURO INTERIOR LIVIANO ENTREPISO**



**D06: MURO LIVIANO BAÑO ENTREPISO**



DISEÑO ENKEL GROUP	COMENTARIOS
CLIENTE CIR	
PROYECTO CIR	

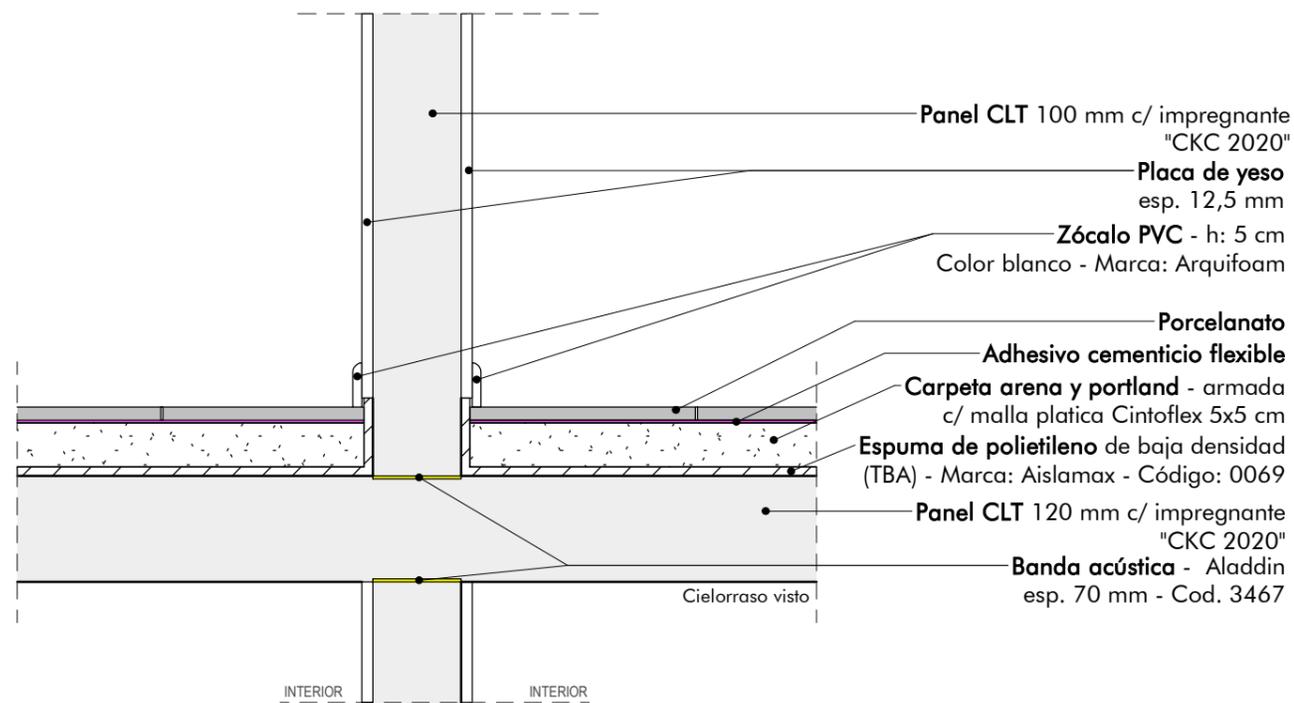
LÁMINA 04	ESCALA 1.8	FECHA 2022
PLANO DETALLE 05 y 06		

171

### D07: MURO INTERIOR (opción B) ENTREPISO

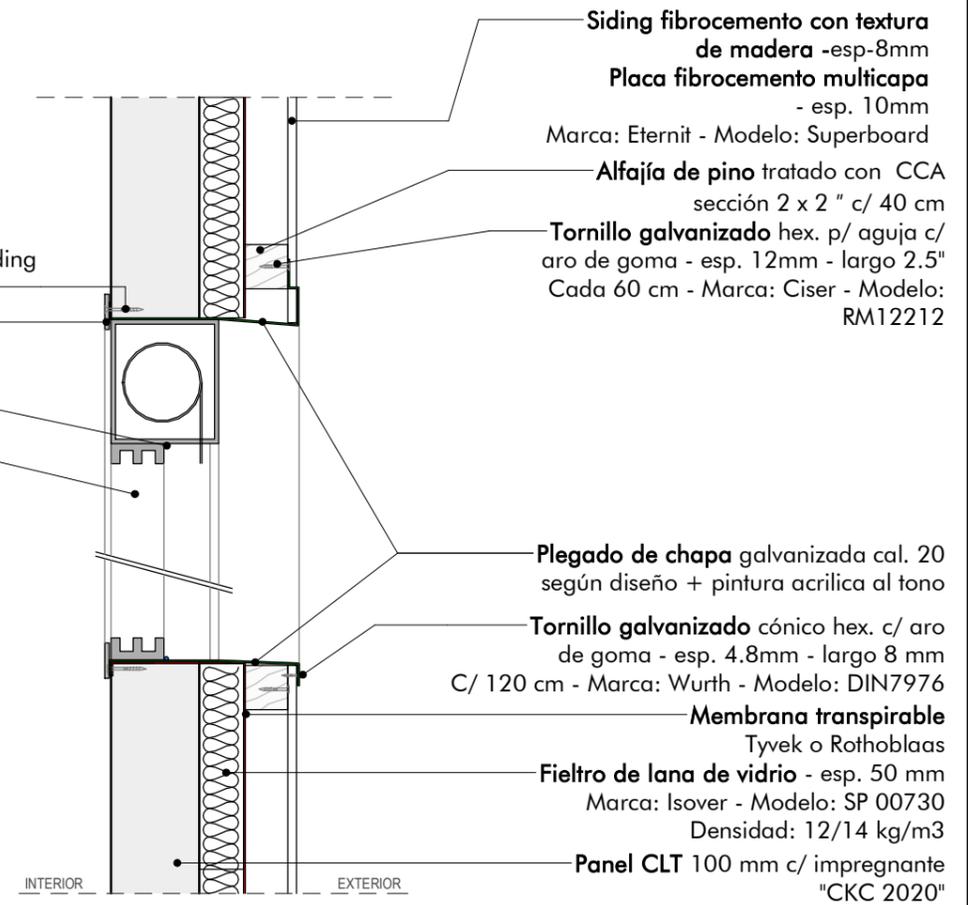
**NOTAS:**

- Las placas de yeso no deben llegar al suelo, dejan 15 mm de separación.
- La membrana TBA debe pasar 5 cm por encima del nivel superior de la carpeta.



### D08: AMURE ABERTURA FACHADA VENTILADA

- Tornillo autorosca galvanizado p/ aguja c/ binding**  
esp. 4.2 mm - largo 38 mm - c/ 60 cm
- Tapajunta PVC** - Marca: Royal
- Cordón de silicona neutra** - Sellado perimetral aberturas
- Abertura corrediza** 2 hojas - Marco PVC
- Vidrio DVH** - Marca: Royal



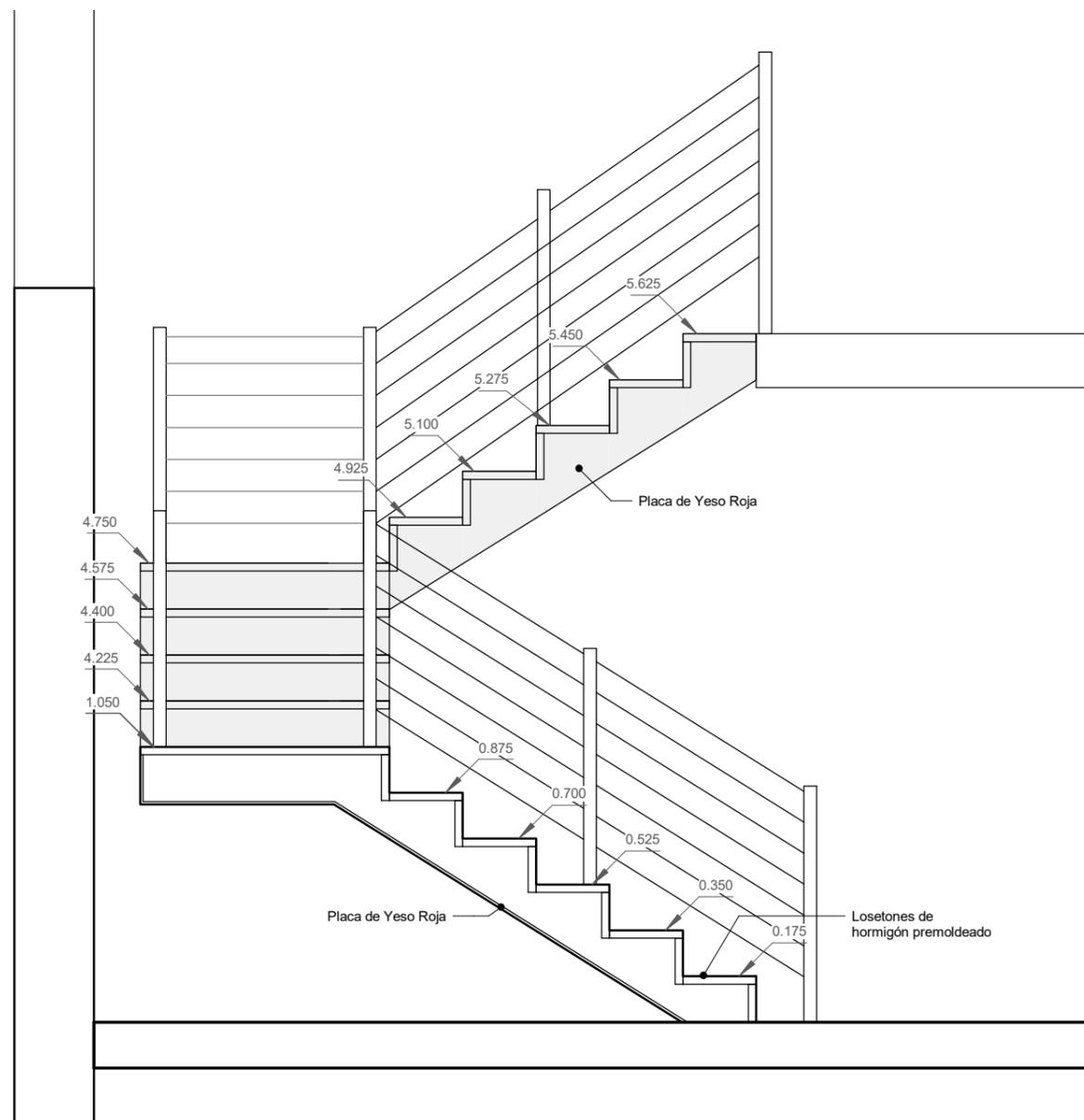
DISEÑO ENKEL GROUP	COMENTARIOS
CLIENTE	
PROYECTO CIR	

LÁMINA 05	ESCALA 1.8	FECHA 2022
PLANO DETALLE 07 y 08		

172

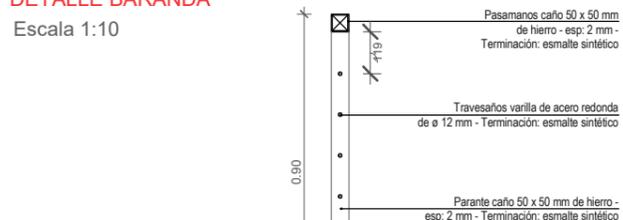
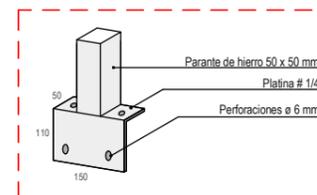
### D09: ESCALERAS

Escalera de 15 escalones de CLT estructural y revestidos en losetones de hormigón premoldeado de huella 28.00 y contrahuella 17.33 cm. Tratamiento superficial de escalones con cinta antideslizante autoadhesiva. Paredes y planos restantes de escalera revestidos en placas de yeso roja.

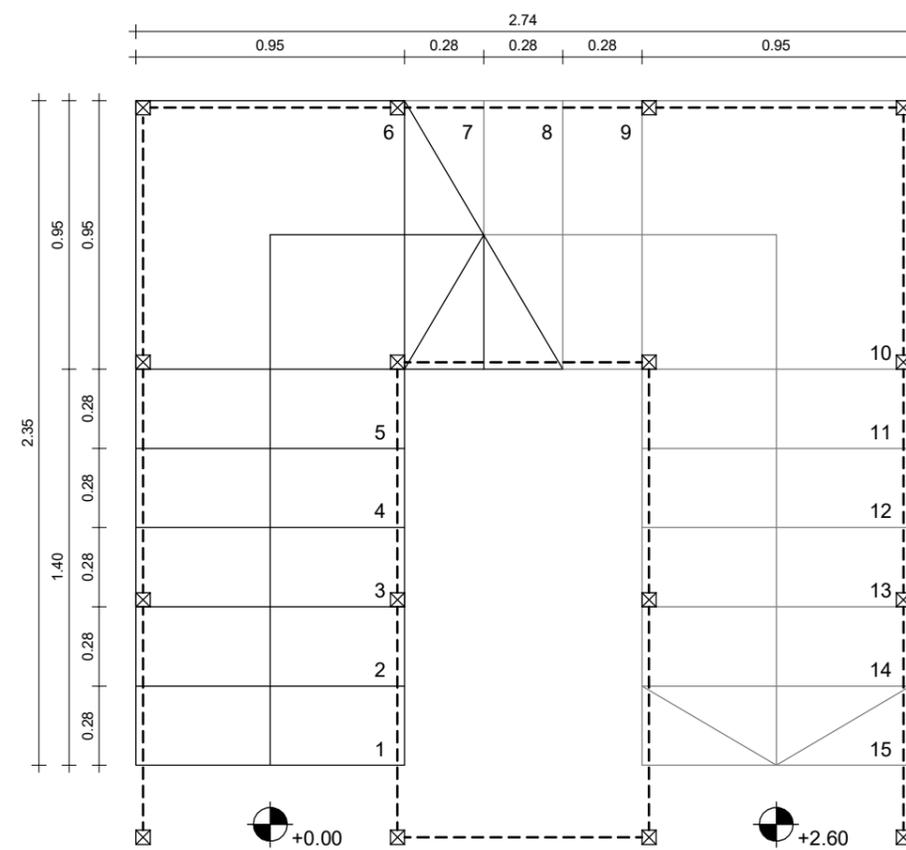


#### DETALLE BARANDA

Escala 1:10



Unión mediante soldadura cordón continuo, en todo el perímetro  
 Platina en "L" # 1/4 - ver detalle  
 Terminación: esmalte sintético  
 Tornillo galvanizado hex. p/ aguja c/ aro de goma - esp. 6mm - largo 80 mm - Marca: Rothoblaas - Modelo: TX30 HBS PEVO 680  
 Escalón de CLT



DISEÑO Enkel Group	COMENTARIOS
CLIENTE CIR	
PROYECTO Vivienda Colectiva	

LÁMINA 06	ESCALA 1.25	FECHA 2022
PLANO DETALLE 09		

173

**CIR**  
INFORME TÉCNICO DEL PROPONENTE

# ANEXO III:

## ENSAYO - LATU



**LABORATORIO TECNOLÓGICO DEL URUGUAY****Suplemento de Informe de Ensayo N°1837101**

<b>Solicitante:</b>	INVERCINCO S.A
<b>Dirección:</b>	MAR DEL PLATA EDIFICIO SAN RAFAEL
<b>Descripción e identificación de la muestra:</b>	Nº muestra SAS: 2130593, identificada por el cliente como Prototipo Estructura CLT
<b>Procedencia de la muestra:</b>	Suministrada por el solicitante

## LABORATORIO TECNOLÓGICO DEL URUGUAY

### Suplemento de Informe de Ensayo N°1837101

#### Preparación de la muestra:

La estructura de CLT fue construida por personal de la empresa INVERCINCO S.A (ENKEL) en el predio del Laboratorio Tecnológico del Uruguay. El modelo y los detalles constructivos fueron proporcionados por el solicitante (ver ANEXOS). En los detalles enviados existe una diferencia en la configuración de la fachada Placa Cementicia, donde hacia el interior luego de la estructura de CLT se colocaron tirantes de madera a 60 cm de distancia entre ellos. A dichos tirantes se atornillo una placa de yeso y posteriormente se pegaron a la misma, cerámicas de 40 x 40 cm. En la siguiente Figura N°1 se observan la estructura terminada, la pared interior, la instalación de las fachadas ventiladas y la cimentación del entrepiso. Una vez finalizada de construir se respetaron los tiempos de fraguado y endurecimiento de los materiales para posteriormente iniciar los ensayos de impacto de cuerpo duro y blando tanto en el entrepiso como en los sistemas verticales (fachadas) correspondientes.



Figura N°1. Imágenes estructura de CLT

**Ensayos realizados:**

**ENTREPISO**

**Resistencia al Impacto de cuerpo blando**

Norma: ensayo realizado basado en **ABNT NBR 15575-2 ANEXO C**

Descripción del ensayo: Se impacta con un objeto de masa (40 kg) y forma conocida, que se libera en caída libre desde diferentes alturas, que al llegar al componente produce desplazamiento, deformación o rotura verificable.

En la siguiente tabla N°1, se muestran las diferentes Energías de impacto, así como la altura de caída. Se realiza un impacto para cada altura de caída. El punto de impacto es el centro del entrepiso.

Energía de Impacto (J)	Altura de caída (cm)
120	30
180	45
240	60
360	90
480	120
720	180
960	240

Tabla N°1. Energía de impacto y alturas de caída para ensayo de Impacto cuerpo blando entrepiso

Luego de cada caída se determina la deformación instantánea y transcurrido 5 minutos del impacto se determina la deformación residual. También se observa luego de cada impacto que la estructura no haya sufrido daños visibles.

**Resistencia al impacto cuerpo duro**

Norma: ensayo realizado basado en **ABNT NBR 15575-3 ANEXO A**

Descripción del ensayo: Se impacta con un objeto de masa (0,5 y 1 kg) y forma conocida, que se libera en caída libre desde una altura conocida y que, al llegar al componente, causa daño verificable. Se determinan 5 impactos por cada conjunto de masa y altura de caída. En total se realizan 30 impactos.

En la siguiente tabla N°2, se muestran las diferentes Energías de impacto, así como la altura de caída y la masa utilizada.

Masa (kg)	Altura de caída (cm)	Energía de impacto (J)
1	100	10
1	200	20
1	300	30
0,5	50	2,5
0,5	75	3,75
0,5	100	5

Tabla N°2. Masas, altura de caída y energía de impacto cuerpo duro

Antes de la realización de cada impacto se aplica azul de metileno con el objetivo de verificar fisuras o anomalías previas en la cerámica a impactar. Luego se aplica cada impacto. Se vuelve a aplicar azul de metileno para visualizar fisuras y daños posteriores a cada impacto. Se determinan la cantidad de fisuras en cada impacto, así como su longitud. También se determina la profundidad que produce cada impacto en la cerámica.

**SISTEMAS VERTICALES (Fachadas)**

**Resistencia al impacto cuerpo blando**

Norma: ensayo realizado basado en **ABNT NBR 15575-2 ANEXO C y ABNT NBR 11675**

Descripción del ensayo: El panel a ensayar se impacta con un objeto de masa 40 kg, con movimiento pendular. Las energías y altura de caída se muestran en la siguiente tabla N°3.

Energía de Impacto (J)	Altura de caída (cm)
60	15
120	30
180	45
240	60
360	90
480	120
720	180
960	240

Tabla N°3. Energía de impacto y alturas de caída para ensayo de Impacto cuerpo blando paneles verticales

Luego de cada impacto se registra la deformación instantánea y luego de transcurridos 5 minutos la deformación residual medida en mm. A su vez, se observa luego de cada impacto que la estructura no haya sufrido daños visibles.

**Resistencia impacto cuerpo duro**

Norma: ensayo realizado basado en **ABNT NBR 15575-4 ANEXO B**

Descripción del ensayo: Se impacta con un objeto de masa (0,5 kg o 1 kg) y forma conocida, con movimiento pendular desde una altura conocida y que, a llegar al componente, causa daño verificable. Se determinan 10 impactos por cada conjunto de masa y altura de caída. En total se realizan 20 impactos por panel. En la tabla N°4 se muestran las diferentes combinaciones de ensayo.

Panel	Masa (kg)	Altura de caída (cm)	Energía (J)
Panel exterior fachada	0,5	75	3,75
Panel exterior fachada	1	200	20
Panel interior	0,5	50	2,5
Panel interior	1	100	10

Tabla N°4. Combinaciones de ensayo cuerpo duro sistemas verticales

Luego de cada impacto se registra la profundidad generada por el impacto, así como el diámetro de la huella que deja el mismo. También se observa cualquier daño producido como la existencia de fisuras, desprendimientos, etc.

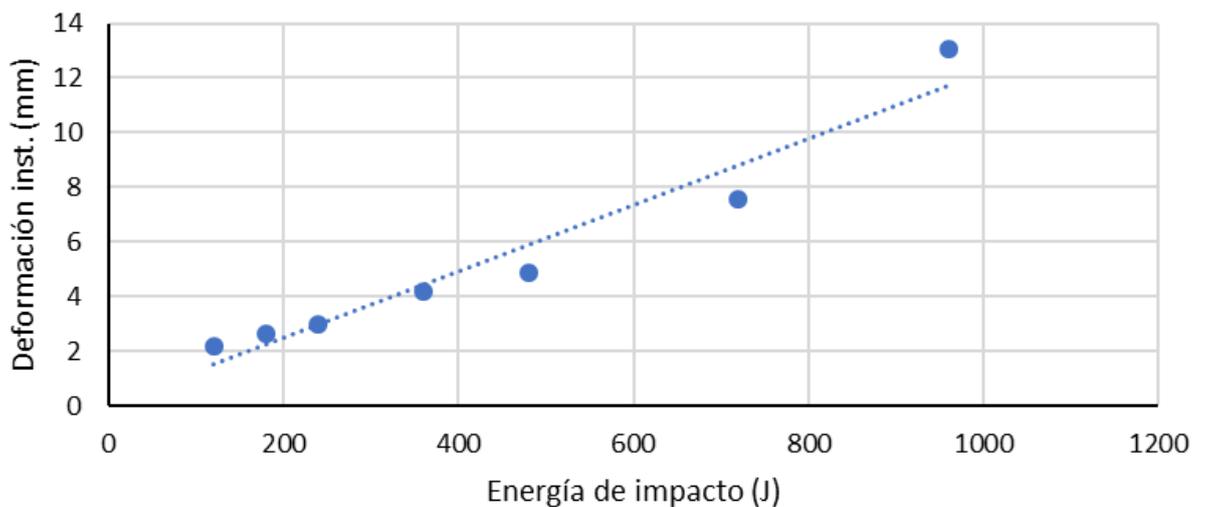
**Resultados:**

**ENTREPISO**

**Resistencia al ensayo de cuerpo blando**

Energía de impacto (J)	Altura de caída (cm)	Masa (kg)	Deformación Instantánea (mm)	Deformación Residual (mm)	Observaciones
120	30	40	2,20	0,12	No se observa la ocurrencia de fallas
180	45	40	2,65	0,15	No se observa la ocurrencia de fallas
240	60	40	2,98	0,17	No se observa la ocurrencia de fallas
360	90	40	4,16	0,18	No se observa la ocurrencia de fallas
480	120	40	4,87	0,07	No se observa la ocurrencia de fallas
720	180	40	7,55	0,11	No se observa la ocurrencia de fallas
960	240	40	13,03	0,06	No se observa la ocurrencia de fallas

**Impacto cuerpo blando - Deformación instantánea vs Energía de impacto**



**Resistencia al ensayo de cuerpo duro**

Cuerpo Prueba	Energía de impacto (J)	Profundidad marca de esfera metálica (mm)	Números fisuras superficiales	Máx longitud fisuras superficiales (mm)	Observaciones en zona de impacto
1	2,5	0,0	0	0	Marca de impacto
2	2,5	0,1	3	3	Marca de impacto
3	2,5	0,0	2	5	Marca de impacto
4	2,5	0,1	5	5	Marca de impacto
5	2,5	0,0	2	5	Marca de impacto

Cuerpo Prueba	Energía de impacto (J)	Profundidad marca de esfera metálica (mm)	Números fisuras superficiales	Máx longitud fisuras superficiales (mm)	Observaciones en zona de impacto
1	3,75	0,0	1	2	Marca de impacto
2	3,75	0,1	5	10	Marca de impacto
3	3,75	0,1	1	3	Marca de impacto
4	3,75	0,1	4	4	Marca de impacto
5	3,75	0,2	6	6	Marca de impacto

Cuerpo Prueba	Energía de impacto (J)	Profundidad marca de esfera metálica (mm)	Números fisuras superficiales	Máx longitud fisuras superficiales (mm)	Observaciones en zona de impacto
1	5	0,1	1	3	Descascaramiento pequeño
2	5	0,4	5	20	Descascaramiento
3	5	0,1	4	6	Marca de impacto
4	5	0,8	5	12	Descascaramiento y hundimiento capa esmaltada
5	5	0,3	5	6	Marca de impacto

**LABORATORIO TECNOLÓGICO DEL URUGUAY**

**Suplemento de Informe de Ensayo N°1837101**

Cuerpo Prueba	Energía de impacto (J)	Profundidad marca de esfera metálica (mm)	Números fisuras superficiales	Máx longitud fisuras superficiales (mm)	Observaciones en zona de impacto
1	10	0,4	4	19	Marca de impacto
2	10	0,2	3	90	Marca de impacto
3	10	0,5	3	39	Marca de impacto
4	10	0,3	3	40	Pequeños desprendimientos capa esmaltada
5	10	0,2	5	27	Pequeños desprendimiento capa esmaltada

Cuerpo Prueba	Energía de impacto (J)	Profundidad marca de esfera metálica (mm)	Números fisuras superficiales	Máx longitud fisuras superficiales (mm)	Observaciones en zona de impacto
1	20	1,1	4	30	Marca de impacto
2	20	0,3	4	49	Pequeños desprendimientos capa esmaltada
3	20	1,9	3	43	Desprendimiento capa esmaltada
4	20	1,3	4	61	Desprendimiento capa esmaltada
5	20	0,7	4	49	Marca de impacto

Cuerpo Prueba	Energía de impacto (J)	Profundidad marca de esfera metálica (mm)	Números fisuras superficiales	Máx longitud fisuras superficiales (mm)	Observaciones
1	30	0,8	6	63	Desprendimiento capa esmaltada
2	30	1,0	3	74	Desprendimiento capa esmaltada
3	30	0,6	4	103	Desprendimiento capa esmaltada
4	30	0,7	3	90	Desprendimiento capa esmaltada
5	30	0,7	6	66	Desprendimiento capa esmaltada

**SISTEMAS VERTICALES**  
**Resistencia impacto cuerpo blando**

**Sistema vertical N°1 (A): Fachada Placa Cementicia**, cara interior pared de yeso con cerámica  
 Impacto cuerpo blando en la cara externa, o sea de afuera hacia adentro  
 Punto de impacto es a 20 cm del borde de la placa cementicia.

Energía de impacto (J)	Altura (cm)	Masa (kg)	Deformación Instantánea (mm)	Deformación Residual (mm)
60	15	40	1,01	0
120	30	40	2,52	0
180	45	40	3,88	0
240	60	40	4,89	0,03
360	90	40	7,57	0,05
480	120	40	9,98	0,64
720	180	40	<b>17,69</b>	<b>5,91</b>
960	240	40	--	--

Observaciones: Luego de impacto a una energía de 720 J se generó un desplazamiento placa yeso interior, debido a efecto de corte de los tornillo y placa de yeso finalizando ensayo. Esto se observa en la Figura N°2.

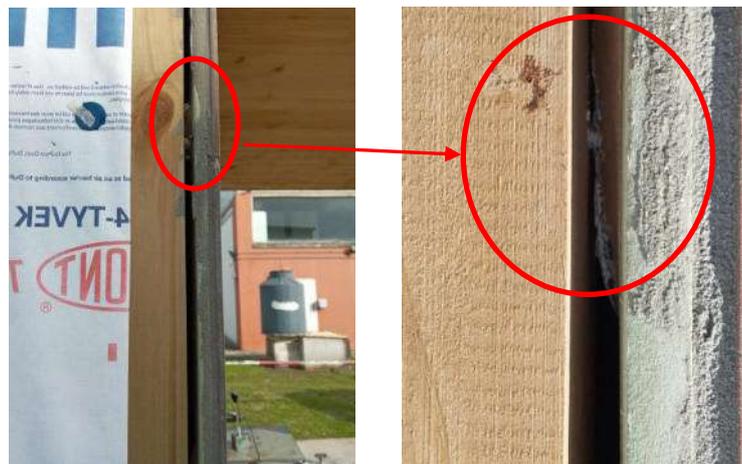


Figura N°2. Daños en placa de yeso luego de impacto con una energía de 720 J

**Sistema vertical N°1 (B): Fachada Placa Cementicia**, cara interior pared de yeso con cerámica  
Impacto cuerpo blando en la cara externa, o sea de afuera hacia adentro  
Punto de impacto en el centro de la placa cementicia.

Energía de impacto (J)	Altura (cm)	Masa (kg)	Deformación Instantánea (mm)	Deformación Residual (mm)
60	15	40	0,56	0
120	30	40	1,41	0
180	45	40	1,92	0
240	60	40	2,6	0
360	90	40	3,12	0
480	120	40	4,69	0
720	180	40	6,5	0,02
960	240	40	<b>8,03</b>	<b>0,14</b>

Observaciones: No se observan daños luego de realizado cada impacto

**Sistema vertical N°1 (C): Fachada Placa Cementicia**, cara interior pared de yeso con cerámica  
Impacto cuerpo blando en la cara interior, o sea de adentro hacia afuera  
Punto de impacto en el centro de pared de yeso con cerámicas

Energía de impacto (J)	Altura (cm)	Masa (kg)	Def Inst.	Def Resid
60	15	40	0,32	0
120	30	40	0,88	0
180	45	40	0,93	0

Observaciones: Rompió cerámica y placa de yeso luego de impacto a 45 cm de altura de caída, finalizando el ensayo



Figura N°3. Daño en cerámica luego de impacto con una energía de 180 J

## LABORATORIO TECNOLÓGICO DEL URUGUAY

### Suplemento de Informe de Ensayo N°1837101

**Sistema vertical N°1 (D):** Fachada Placa Cementicia, cara interior madera (CLT)  
Impacto cuerpo blando en la cara externa, o sea de afuera hacia adentro  
Punto de impacto a 20 cm del borde de la placa cementicia.

Energía de impacto (J)	Altura (cm)	Masa (kg)	Deformación Instantánea (mm)	Deformación Residual (mm)
60	15	40	1,03	0
120	30	40	2,64	0
180	45	40	3,77	0
240	60	40	4,99	0,1
360	90	40	7,94	0,17
480	120	40	11,06	0,2
720	180	40	17,72	0,2
960	240	40	<b>23,57</b>	<b>0,35</b>

Observaciones: No se observan daños luego de realizado cada impacto

**Sistema vertical N°1 (E):** Fachada Placa Cementicia, cara interior madera (CLT)  
Impacto cuerpo blando en la cara externa, o sea de afuera hacia adentro  
Punto de impacto en el centro de la placa cementicia.

Energía de impacto (J)	Altura (cm)	Masa (kg)	Deformación Instantánea (mm)	Deformación Residual (mm)
60	15	40	0,91	0,02
120	30	40	1,72	0
180	45	40	2,4	0,02
240	60	40	3,31	0,11
360	90	40	5,04	0,15
480	120	40	7,95	0,14
720	180	40	8,59	0,16
960	240	40	<b>11,53</b>	<b>0,22</b>

Observaciones: No se observan daños luego de realizado cada impacto

## LABORATORIO TECNOLÓGICO DEL URUGUAY

### Suplemento de Informe de Ensayo N°1837101

**Sistema vertical N°2:** Fachada ventilada con Placa Cementicia, cara interior madera (CLT)  
Impacto cuerpo blando en la cara externa, o sea de afuera hacia adentro  
Punto de impacto en el centro de la placa cementicia.

Energía de impacto (J)	Altura (cm)	Masa (kg)	Deformación Instantánea (mm)	Deformación Residual (mm)
60	15	40	0,47	0
120	30	40	0,76	0,02
180	45	40	0,83	0,01

Observaciones: La placa cementicia fisura en el impacto a una altura de 30 cm y quiebra en el ensayo a una altura de 45 cm, finalizando el ensayo



Figura N°4. Vista de daños en placa cementicia,

**Sistema vertical N°3:** Fachada ventilada con chapa, cara interior madera (CLT)  
Impacto cuerpo blando en la cara externa, o sea de afuera hacia adentro  
Punto de impacto en el centro de la chapa.

Energía de impacto (J)	Altura (cm)	Masa (kg)	Deformación Instantánea (mm)	Deformación Residual (mm)
60	15	40	0,55	0,01
120	30	40	0,93	0,01
180	45	40	1,48	0,02
240	60	40	1,79	0,05
360	90	40	2,48	0,1
480	120	40	3,28	0,13
720	180	40	4,87	0,31
960	240	40	<b>6,67</b>	<b>0,27</b>

Observaciones: Abolladuras en la chapa, con aumentando de tamaño progresivo al aumentar la altura de impacto En la figura N°5 se observa el daño final en la chapa luego del impacto a una energía de 960 J.



Figura N°5. Abolladura en chapa de fachada ventilada energía de impacto de 960J

**Sistema vertical N°4 (A):** Estructura de madera contralaminada de 10 cm de ancho (CLT)  
Impacto cuerpo blando en la cara externa, o sea de afuera hacia adentro  
Punto de impacto en el centro entre dos paneles de CLT

Energía de impacto (J)	Altura (cm)	Masa (kg)	Deformación Instantánea (mm)	Deformación Residual (mm)
60	15	40	0,74	0,13
120	30	40	1,9	0,08
180	45	40	3,58	0,07
240	60	40	4,52	0,05
360	90	40	5,91	0,05
480	120	40	10,35	0,06
720	180	40	12,14	0,06
960	240	40	<b>16,42</b>	<b>0,06</b>

Observaciones: No se observan daños luego de realizado cada impacto



# LABORATORIO TECNOLÓGICO DEL URUGUAY

## Suplemento de Informe de Ensayo N°1837101

**Sistema vertical N°4 (B):** Estructura de madera contralaminada de 10 cm de ancho (CLT)  
 Impacto cuerpo blando en la cara externa, o sea de afuera hacia adentro  
 Punto de impacto en el centro de un panel de CLT

Energía de impacto (J)	Altura (cm)	Masa (kg)	Deformación Instantánea (mm)	Deformación Residual (mm)
60	15	40	0,83	0
120	30	40	1,85	0
180	45	40	2,93	0
240	60	40	4,08	0,02
360	90	40	5,36	0,14
480	120	40	6,27	0,11
720	180	40	13,06	0,10
960	240	40	<b>16,03</b>	<b>0,10</b>

Observaciones: No se observan daños luego de realizado cada impacto

A continuación, en la figura N°6, se presentan gráficamente los resultados de Deformación instantánea en función de la energía de impacto para los sistemas verticales ensayados.

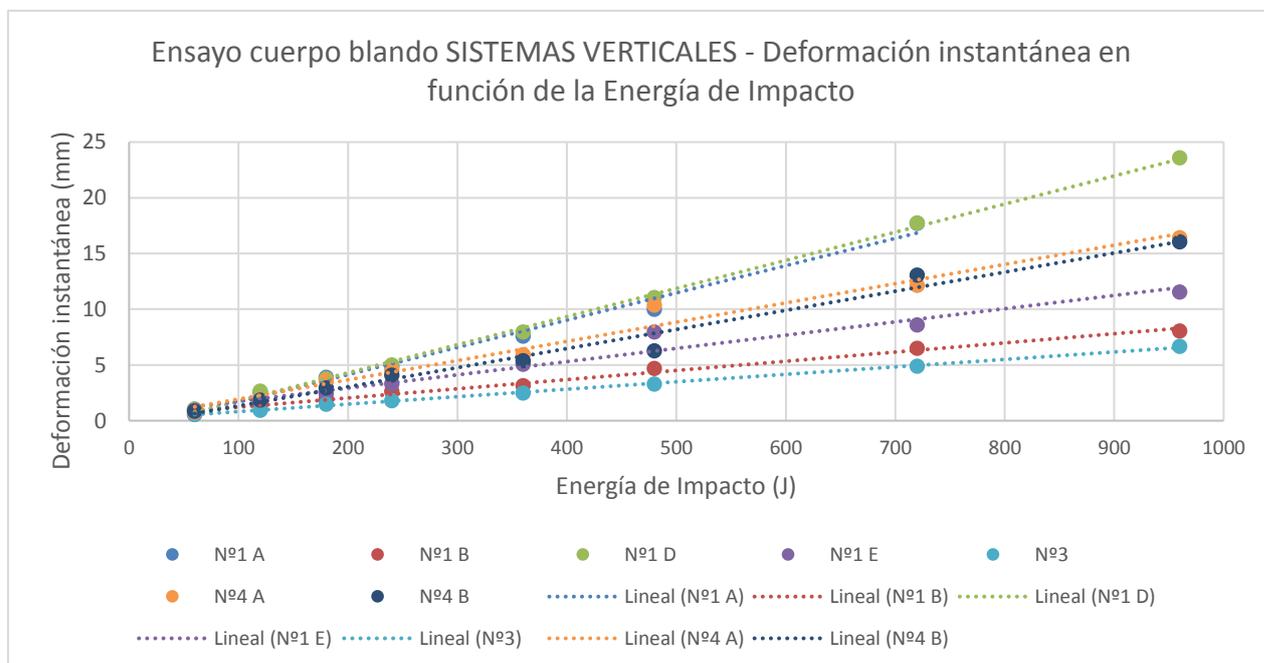


Figura N°6. Deformación instantánea en función de la energía de impacto para los diferentes sistemas verticales ensayados



**Resistencia impacto cuerpo duro**

**Sistema Vertical N°1: Impactos realizados sobre placa cementicia**

Cuerpo Prueba	Energía de impacto (J)	Altura (cm)	Masa (kg)	Profundidad impacto (mm)	Diámetro huella (mm)	Observaciones
1	3,75	75	0,5	1,29	9	No hay fisuras
2	3,75	75	0,5	0,93	7	No hay fisuras
3	3,75	75	0,5	1,34	7	No hay fisuras
4	3,75	75	0,5	2,01	9	No hay fisuras
5	3,75	75	0,5	2,35	9	No hay fisuras
6	3,75	75	0,5	1,11	7	No hay fisuras
7	3,75	75	0,5	1,5	7	No hay fisuras
8	3,75	75	0,5	1,45	6	No hay fisuras
9	3,75	75	0,5	1,88	8	No hay fisuras
10	3,75	75	0,5	1,71	9	No hay fisuras

Cuerpo Prueba	Energía de impacto (J)	Altura (cm)	Masa (kg)	Profundidad impacto (mm)	Diámetro huella (mm)	Observaciones
1	20	200	1	4,84	37	Fisuras en la placa cementicia
2	20	200	1	4,84	35	Fisuras en la placa cementicia
3	20	200	1	5,24	36	Fisuras en la placa cementicia
4	20	200	1	4,46	36	Fisuras en la placa cementicia
5	20	200	1	4,53	34	Fisuras en la placa cementicia
6	20	200	1	4,22	35	Fisuras en la placa cementicia
7	20	200	1	4,72	33	Fisuras en la placa cementicia
8	20	200	1	4,00	30	Fisuras en la placa cementicia
9	20	200	1	4,42	33	Fisuras en la placa cementicia
10	20	200	1	4,78	35	Fisuras en la placa cementicia

## LABORATORIO TECNOLÓGICO DEL URUGUAY

### Suplemento de Informe de Ensayo N°1837101

En la siguiente Figura N°7 se muestra un ejemplo de la huella que ocasiona el impacto con la esfera de 1kg de masa, provocando fisuras en la placa cementicia.



Figura N°7. Daños provocados por ensayo impacto cuerpo duro con la esfera de 1 kg

#### Sistema Vertical N°1: Impactos realizados sobre cerámicas pared interiorinterior

Cuerpo Prueba	Energía de impacto (J)	Altura (cm)	Masa (kg)	Profundidad marca de esfera metálica (mm)	Máx longitud fisuras superficiales (mm)	Números fisuras superficiales
1	10	100	1	0	195	3
2	10	100	1	0	352	3
3	10	100	1	0,6	265	5
4	10	100	1	0,21	240	6
5	10	100	1	0,23	310	5
6	10	100	1	0,4	169	1
7	10	100	1	0,31	182	4
8	10	100	1	0,1	124	1
9	10	100	1	0,4	160	2
10	10	100	1	0,3	200	4

**Observación:** No se presenta tabla para el ensayo con una energía de impacto de 2,5 J dado que no se observaron daños, ni fisuras, ni marca en las cerámicas luego de realizados 10 cuerpos de prueba. En el ensayo de impacto con una energía de 10 J se observan fisuras superficiales que afectan a la cerámica únicamente, como se muestra en la figura N°8.



Figura N°8. Fisuras superficiales luego de ensayo de impacto cuerpo duro con una energía de 10 J

## LABORATORIO TECNOLÓGICO DEL URUGUAY

### Suplemento de Informe de Ensayo N°1837101

#### Sistema vertical N°2: Fachada ventilada con Placa Cementicia

El resultado del ensayo de impacto de cuerpo duro para dicho sistema muestra que todos los cuerpos de ensayos no sufren daños visibles, observándose únicamente una marca del cuerpo duro sin generar fisuras, tanto para la energía de impacto de 3,75 J como para la de 20 J.

#### Sistema vertical N°3: Fachada ventilada con chapa

El resultado del ensayo de impacto de cuerpo duro para dicho sistema muestra que en todos los cuerpos de ensayos se observan abolladuras en la chapa en la zona de impacto. Dichas abolladuras son de pequeño tamaño. Esto ocurre tanto para la energía de impacto de 3,75 J como para la de 20 J.

#### Sistema vertical N°4: Estructura de madera contralaminada de 10 cm de ancho (CLT)

Cuerpo Prueba	Energía de impacto (J)	Altura (cm)	Masa (kg)	Profundidad impacto (mm)	Diámetro huella (mm)	Observaciones
1	3,75	75	0,5	0,8	17	Marca esfera
2	3,75	75	0,5	0,9	17	Marca esfera + fisuras locales producidas por compresión luego del impacto
3	3,75	75	0,5	0,7	s/d	Marca esfera, impacto sobre leño tardío
4	3,75	75	0,5	0,3	16	Marca esfera + fisuras locales producidas por compresión luego del impacto. Impacto en la unión de dos tablas
5	3,75	75	0,5	0,8	16	Marca esfera
6	3,75	75	0,5	0,9	16	Marca esfera + fisuras locales producidas por compresión luego del impacto
7	3,75	75	0,5	0,6	s/d	Marca esfera, impacto sobre leño tardío
8	3,75	75	0,5	0,7	15	Marca esfera + fisuras locales producidas por compresión luego del impacto
9	3,75	75	0,5	0,4	16	Marca esfera
10	3,75	75	0,5	0,4	16	Marca esfera + fisuras locales producidas por compresión luego del impacto

Cuerpo Prueba	Energía de impacto (J)	Altura (cm)	Masa (kg)	Profundidad impacto (mm)	Diámetro huella (mm)	Observaciones
1	20	200	1	1,5	30	Marca esfera + fisuras locales producidas por compresión luego del impacto
2	20	200	1	1,2	26	Marca esfera + fisuras locales producidas por compresión luego del impacto
3	20	200	1	1,2	26	Marca esfera + fisuras locales producidas por compresión luego del impacto
4	20	200	1	1,1	26	Marca esfera + fisuras locales producidas por compresión luego del impacto
5	20	200	1	1,5	30	Marca esfera + fisuras de locales de mayor tamaño producidas por compresión luego del impacto
6	20	200	1	1,5	28	Marca esfera + fisuras locales producidas por compresión luego del impacto
7	20	200	1	1,6	28	Marca esfera + fisuras locales producidas por compresión luego del impacto
8	20	200	1	1,6	27	Marca esfera + fisuras locales producidas por compresión luego del impacto
9	20	200	1	1	28	Marca esfera + fisuras locales producidas por compresión luego del impacto
10	20	200	1	1,1	27	Marca esfera + fisuras locales producidas por compresión luego del impacto

A continuación, se muestran en la Figura N°9 las marcas de la esfera y las fisuras producidas en la superficie del CLT luego de los impactos de cuerpo duro.



Figura N°9. Tipo de daños producidos en la madera contralaminada luego del ensayo de impacto de cuerpo duro con una energía de impacto de 20 J.

**LABORATORIO TECNOLÓGICO DEL URUGUAY**

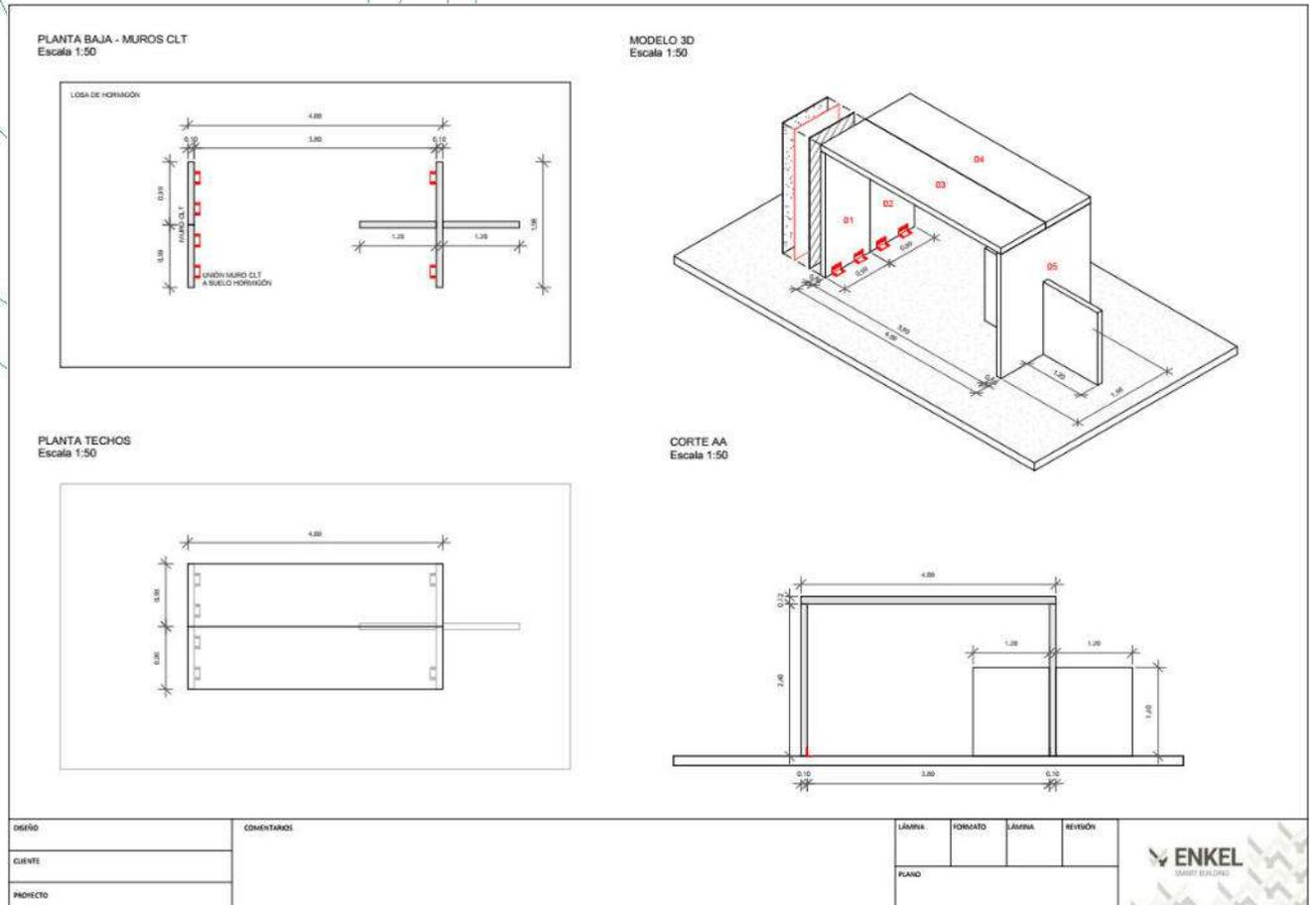
**Suplemento de Informe de Ensayo N°1837101**

Cuerpo Prueba	Energía de impacto (J)	Altura (cm)	Masa (kg)	Profundidad impacto (mm)	Diámetro huella (mm)	Observaciones
1	2,5	50	0,5	0,8	16	Pequeña marca esfera
2	2,5	50	0,5	0,7	15	Pequeña marca esfera
3	2,5	50	0,5	0,7	17	Pequeña marca esfera
4	2,5	50	0,5	0,6	17	Pequeña marca esfera
5	2,5	50	0,5	1	16	Pequeña marca esfera
6	2,5	50	0,5	0,6	15	Pequeña marca esfera
7	2,5	50	0,5	0,9	17	Pequeña marca esfera
8	2,5	50	0,5	0,9	16	Pequeña marca esfera
9	2,5	50	0,5	0,9	16	Pequeña marca esfera
10	2,5	50	0,5	0,7	15	Pequeña marca esfera

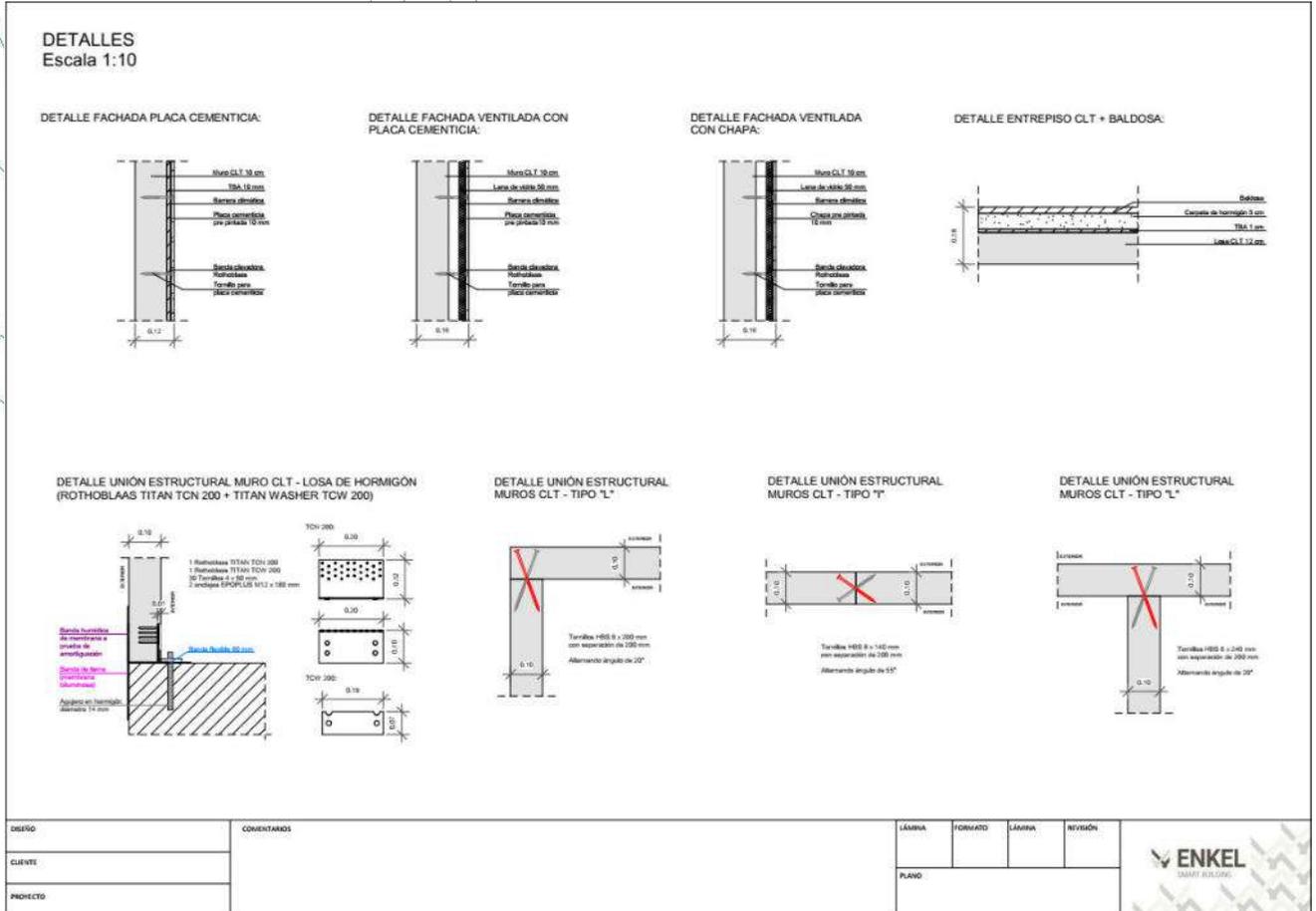
Cuerpo Prueba	Energía de impacto (J)	Altura (cm)	Masa (kg)	Profundidad impacto (mm)	Diámetro huella (mm)	Observaciones
1	10	100	1	0,7	25	Marca esfera + fisuras locales producidas por compresión luego del impacto
2	10	100	1	1	24	Marca esfera + fisuras locales producidas por compresión luego del impacto
3	10	100	1	0,8	23	Marca esfera + fisuras locales producidas por compresión luego del impacto
4	10	100	1	0,9	22	Marca esfera + fisuras locales producidas por compresión luego del impacto
5	10	100	1	0,8	23	Marca esfera + fisuras locales producidas por compresión luego del impacto
6	10	100	1	1	23	Marca esfera + fisuras locales producidas por compresión luego del impacto
7	10	100	1	1,4	24	Marca esfera + fisuras locales producidas por compresión luego del impacto
8	10	100	1	1,6	24	Marca esfera + fisuras locales producidas por compresión luego del impacto
9	10	100	1	1,4	27	Marca esfera + fisuras locales producidas por compresión luego del impacto
10	10	100	1	1	26	Marca esfera + fisuras locales producidas por compresión luego del impacto

**ANEXOS:**

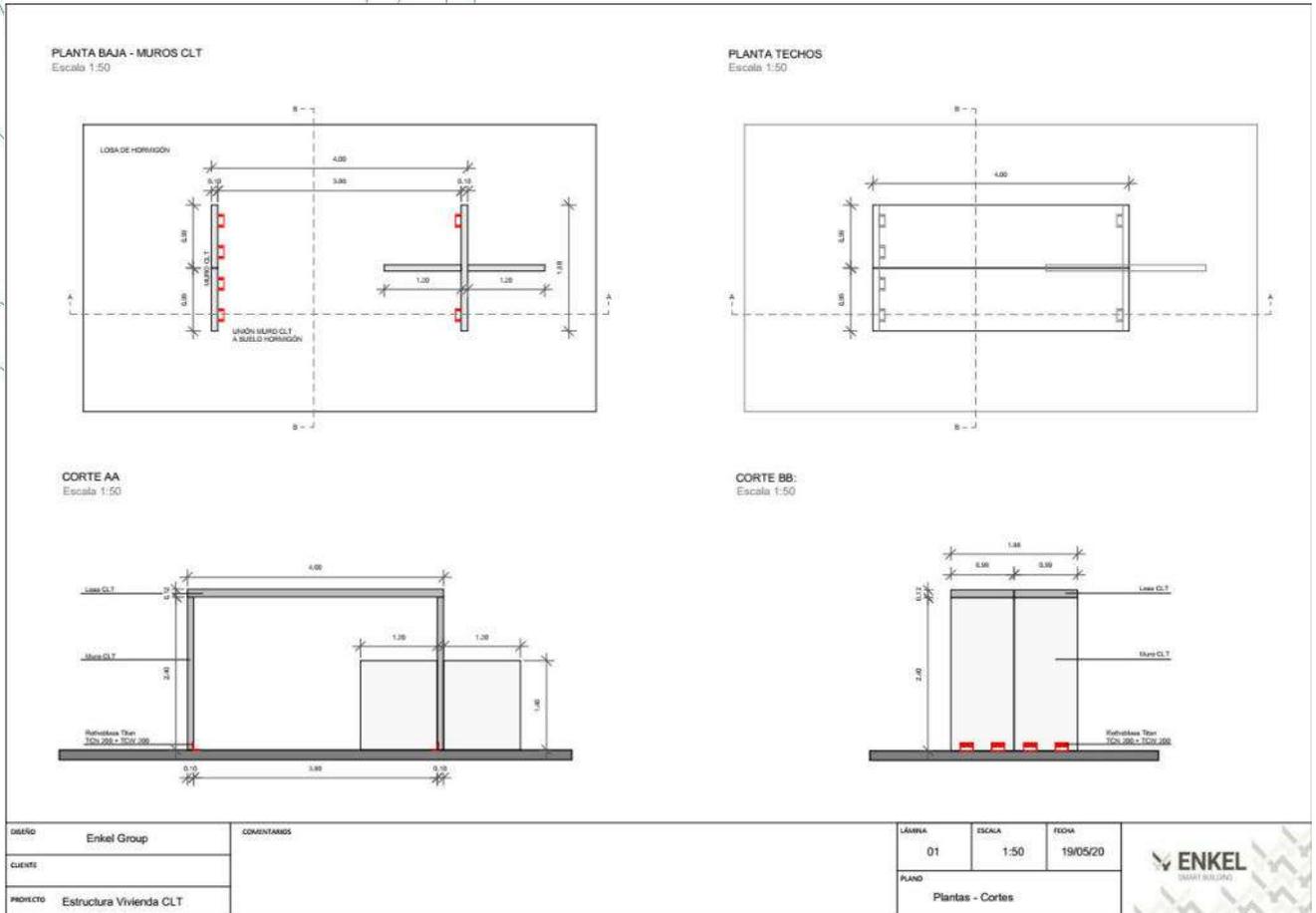
Detalles constructivos proporcionados por INVERCINCO S.A (Enkel Group)

**Anexo1.**


Anexo 2.

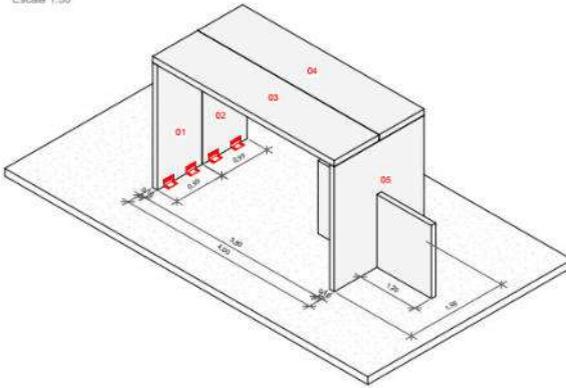


Anexo3.

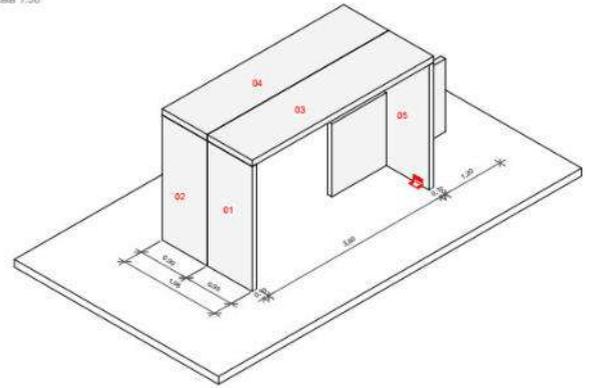


Anexo 4.

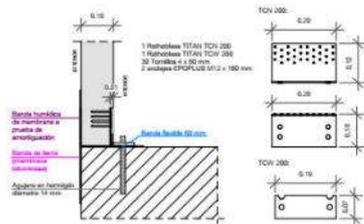
MODELO 3D - ESTRUCTURA CLT:  
VISTA 1  
Escala 1:50



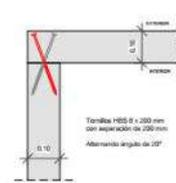
MODELO 3D - ESTRUCTURA CLT:  
VISTA 2  
Escala 1:50



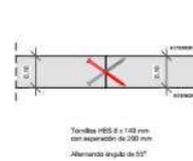
DETALLE UNIÓN ESTRUCTURAL MURO CLT - LOSA DE HORMIGÓN  
(ROTHOBLAAS TITAN TCN 200 + TITAN WASHER TCW 200)  
Escala 1:10



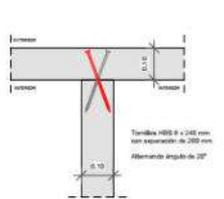
DETALLE UNIÓN ESTRUCTURAL  
MUROS CLT - TIPO "L"  
Escala 1:10



DETALLE UNIÓN ESTRUCTURAL  
MUROS CLT - TIPO "T"  
Escala 1:10



DETALLE UNIÓN ESTRUCTURAL  
MUROS CLT - TIPO "L"  
Escala 1:10

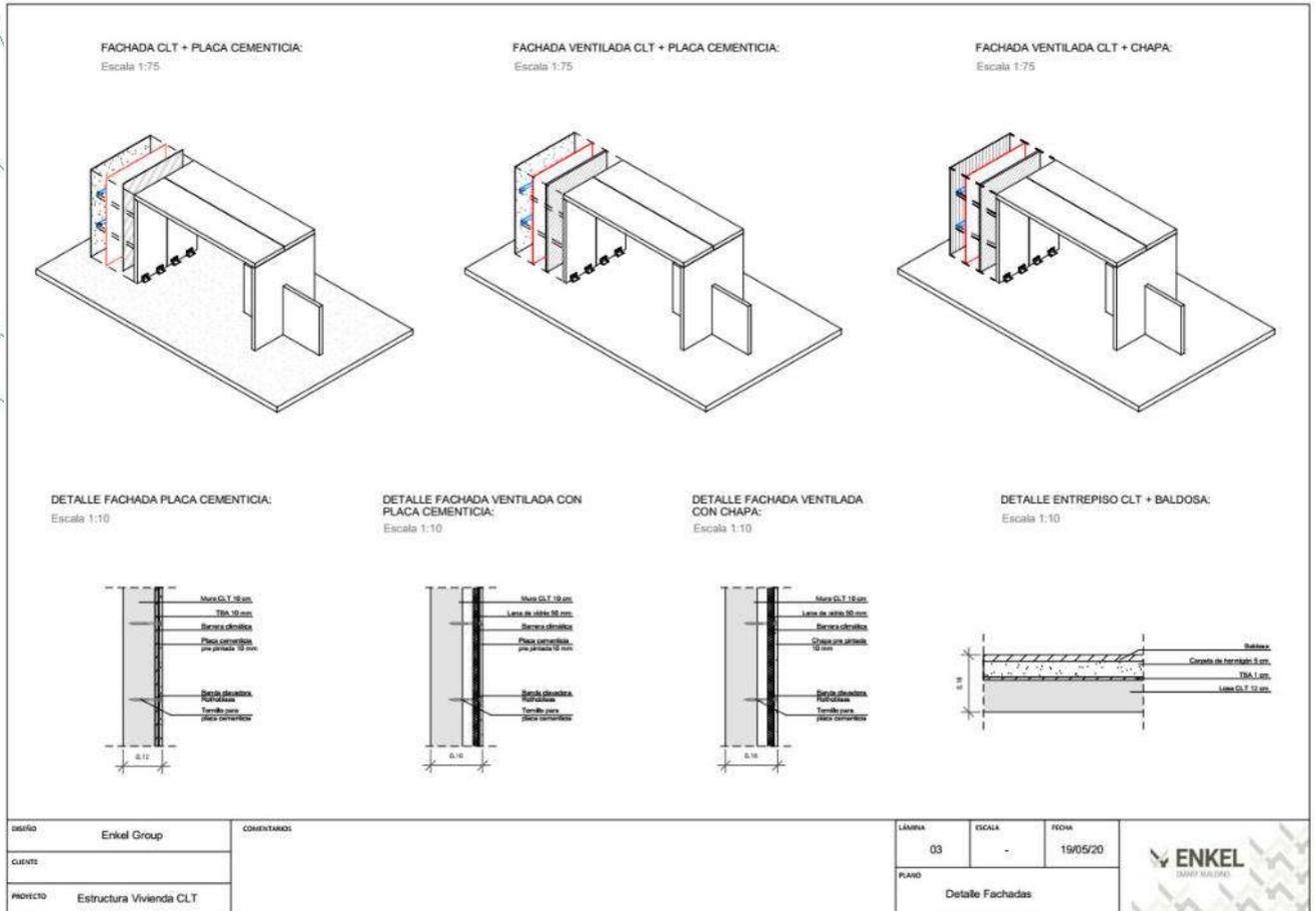


DISÑO	Enkel Group
CLIENTE	
PROYECTO	Estructura Vivienda CLT

COMENTARIOS	LAMINA	ESCALA	FECHA
	02	-	19/05/20
	PLANO	3D - Detalles	



Anexo 5.



DISEÑO: Enkel Group CLIENTE: PROYECTO: Estructura Vivienda CLT	COMENTARIOS:	LÁMINA: 03 ESCALA: - FECHA: 19/05/20 PLANO: Detalle Fachadas	
--	--------------	---	--

**LABORATORIO TECNOLÓGICO DEL URUGUAY****Suplemento de Informe de Ensayo N°1837101**

Ref.: Planilla de datos N° 1837101

**Observación general:** En todos los ensayos realizados, de impacto de cuerpo duro y cuerpo blando tanto en el sistema de entepiso como en los sistemas verticales, no se registró ningún daño visible a nivel de los componentes estructurales, como tampoco en los sistemas de impermeabilización.

Los resultados del ensayo se refieren exclusivamente a la muestra ensayada.

Este informe solo será válido en su versión electrónica firmada digitalmente.

Los servicios fueron realizados en LATU Montevideo.

Se expide el presente Suplemento, que anula y sustituye al Suplemento de Informe de Ensayo N°1837101, en Montevideo, a los once días del mes de noviembre del año dos mil veinte.



Javier Doldán  
Jefe del Departamento de  
Materiales y Productos Forestales  
Laboratorio Tecnológico del Uruguay

**CIR**  
INFORME TÉCNICO DEL PROPONENTE

# ANEXO IV:

## ENSAYOS DE MATERIALES



## **ANEXO IV – CERTIFICADOS DE ENSAYO SOBRE MATERIALES**

### **A – FUEGO**

A.1. – CLT (Cross Laminated Timber)

## RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1 096 205-203

**CLIENTE:** Serviço Social do Comércio – SESC.  
Rua Padre Adelino, 1.000 – Belenzinho.  
CEP: 03303-000 – São Paulo/SP.

**NATUREZA DO TRABALHO:** Determinação do índice de propagação superficial de chama.

**REFERÊNCIA:** Orçamento IPT nº 2833/15 datado de 06.03.2015.  
Pedido ao Fornecedor nº 11.688 de 18.06.2015.

### 1 INTRODUÇÃO

O método de ensaio descrito na norma NBR 9442 é utilizado para determinar o índice de propagação de chama de materiais pelo método do painel radiante, utilizando-se do equipamento visualizado na Figura 1.

Os corpos de prova, com dimensões de  $150 \pm 5$  mm de largura e  $460 \pm 5$  mm de comprimento, são inseridos em um suporte metálico e colocados em frente a um painel radiante poroso, com 300 mm de largura e 460 mm de comprimento, alimentado por gás propano e ar. O conjunto (suporte e corpo de prova) é posicionado em frente ao painel radiante com uma inclinação de  $60^\circ$ , de modo a expor o corpo de prova a um fluxo radiante padronizado. Uma chama piloto é aplicada na extremidade superior do corpo de prova.

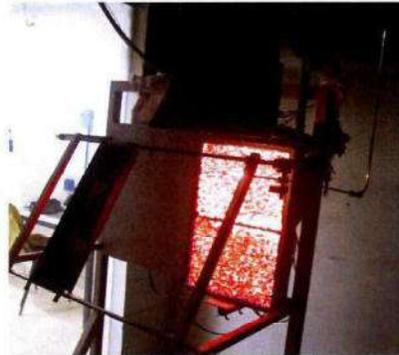


Figura 1: Equipamento de ensaio

É obtido no ensaio o fator propagação de chama desenvolvida na superfície do material ( $P_c$ ), medido através do tempo para atingir as distâncias padronizadas no suporte metálico com o corpo de prova, e o fator de evolução de calor desenvolvido pelo material ( $Q$ ), medido através de sensores de temperatura (termopares) localizados em uma chaminé sobre o painel e o suporte com o corpo de prova.

O índice é determinado através da seguinte equação (sem unidade):

$$I_p = P_c \times Q$$

Onde:

$I_p$ : Índice de propagação superficial de chama  
 $P_c$ : Fator de propagação da chama  
 $Q$ : Fator de evolução do calor.

Os resultados apresentados neste documento se aplicam somente ao item ensaiado ou calibrado. Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização. A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

Av. prof. Almeida Prado, 532 | Butantã  
São Paulo | SP | 05508-901  
Tel. 11 3767-4000 | Fax 11 3767-4002 | ipt@ipt.br

www.ipt.br



Laboratório de Segurança ao Fogo e a Explosões – CETAC/LSFEx  
Laboratório de Ensaio Credenciado pela Cgcre de acordo com a NBR ISO/IEC 17 025 sob o número  
CRL 0111

## 2 ITEM / MATERIAL

Foi entregue o material denominado "Madeira CLT Tratada Com Produto de Impregnação", identificado por este Laboratório com o número 1713-17. As seguintes características foram determinadas:

- espessura média dos corpos de prova: 20 mm;
- massa específica aparente média dos corpos de prova:  $5,1 \times 10^2 \text{ kg/m}^3$ ;
- aspecto: placa de madeira tratada com produto retardante de chamas (Figura 2).



Figura 2: Material ensaiado

Segundo informações do cliente, o material ensaiado consiste em lâminas de madeira maciça utilizadas como painéis CLT "Cross Laminated Timber", tratado superficialmente com produto "CKC-2020" (face exposta ao fogo e nas laterais dos corpos de prova), aplicado com pulverizador em três demãos e com consumo total de  $300 \text{ ml/m}^2$ .

## 3 MÉTODO UTILIZADO

- ABNT NBR 9442: 1986 (Versão Corrigida: 1988) – "Materiais de construção – Determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante – Método de ensaio".
- Procedimento de Ensaio CETAC-LSFEx-PE 006 – "Determinação do índice de propagação superficial de chama para materiais de construção".

## 4 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

- Equipamento de propagação superficial de chama marca FTT (identificação: EQ-033).
- Paquímetro Digimess (identificação: PQ-006, certificado de calibração nº 147726-101, validade: 07.2018).
- Balança HF-6000G (identificação: BL-005, certificado de calibração nº 151796-101, validade: 05.2018).
- Régua Hope (identificação: RG-008, certificado de calibração nº 141670-101, validade: 11.2017).

Os resultados apresentados neste documento se aplicam somente ao item ensaiado ou calibrado.  
Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização.  
A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

Av. prof. Almeida Prado, 532 | Butantã  
São Paulo | SP | 05508-901  
Tel 11 3767-4000 | Fax 11 3767-4002 | ipt@ipt.br

www.ipt.br



Laboratório de Segurança ao Fogo e a Explosões – CETAC/LSFEx  
 Laboratório de Ensaio Credenciado pela Cgcre de acordo com a NBR ISO/IEC 17 025 sob o número CRL 0111

## 5 RESULTADOS DE ENSAIO

Ensaio realizado em 28.10.2017.

	Valores		
	Médio	Mínimo	Máximo
Índice de propagação de chama (Ip)	25	14	34
Fator de evolução de calor (Q)	7,0	6,1	8,9
Fator de propagação de chama (Pc)	3,6	2,6	4,9
<b>Classificação</b>	<b>Classe A</b>		

### 5.1 Observações de ensaio

- A propagação de chama avançou, em média, 350 mm (76% da superfície dos corpos de prova).
- Desenvolvimento de fumaça de coloração cinza.

*Nota 1: Os resultados referem-se somente ao material entregue no laboratório. Não foi verificado se o envelhecimento do produto ou sua hidrossolubilidade comprometem o desempenho do tratamento antichama. Desta forma, há a necessidade de estabelecer a durabilidade deste acabamento para a preservação do desempenho do produto, estabelecendo, se necessário, periodicidade de sua aplicação.*

## 6 LIMITES ESPECIFICADOS EM NORMA

O método de ensaio NBR 9442 propõe o enquadramento dos materiais em cinco classes, de acordo com o Índice de Propagação de Chamas médio, a saber:

Classe	Índice de Propagação de Chamas (Ip) médio
A	0 a 25
B	26 a 75
C	76 a 150
D	151 a 400
E	Superior a 400

## 7 CONCLUSÃO

O Índice de Propagação Superficial de Chama Médio (Ip) alcançado pelo material foi de **25**, correspondente à **classe A** do método de ensaio.

São Paulo, 27 de novembro de 2017.

CENTRO TECNOLÓGICO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO  
 Laboratório de Segurança ao Fogo e a Explosões

Eng.º Civil Mestre Carlos Roberto Metzker de Oliveira  
 Supervisor do Ensaio  
 CREA n.º 5061453656 – RE n.º 08632

CENTRO TECNOLÓGICO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO  
 Laboratório de Segurança ao Fogo e a Explosões

Eng.º Civil Mestre Antônio Fernando Berto  
 Chefe do Laboratório  
 CREA n.º 0600745569 – RE n.º 2467.9

Os resultados apresentados neste documento se aplicam somente ao item ensalado ou calibrado.  
 Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização.  
 A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

Av. prof. Almeida Prado, 532 | Butantã  
 São Paulo | SP | 05508-901  
 Tel 11 3767 4000 | Fax 11 3767 4002 | ipt@ipt.br

www.ipt.br

TRADUCCIÓN N° 308/22.-----ENSAYO-----

(Documento en tres fojas, numeradas del 228 al 230, escritas en papel membretado del "IPT" (Instituto de Investigaciones Tecnológicas). Al pie de las tres fojas, luce el siguiente texto: "Los resultados presentados en este documento se aplican solamente al ítem ensayado o calibrado. Este documento no da derecho al uso del nombre o de la marca IPT, para ningún fin, bajo pena de indemnización. La reproducción de este documento sólo podrá hacerse íntegramente, sin ninguna alteración". Las tres fojas lucen en el ángulo superior derecho, el siguiente texto: "Av. Mar del Plata esq. Curitiba; Ed. San Rafael Beach, Punta del Este, Uruguay; 4248-3201 [info@enkelgroup.com](mailto:info@enkelgroup.com)". -----

(Foja 1, N° 228:)------  
Laboratorio de Seguridad al Fuego y a las Explosiones -  
CETAC/LSFEx.-----

**INFORME DE ENSAYO N° 1 096 205-203. 1/3.**-----

**CLIENTE:** Servicio Social del Comercio - SESC.-----

Calle Padre Adelino, 1.000 - Belenzinho.-----

CEP (Código Postal) 03303-000 - San Pablo/SP.-----

**NATURALEZA DEL TRABAJO:** Determinación del índice de propagación superficial de llama.-----

**REFERENCIA:** Presupuesto IPT N° 2833/15 fechado el 06/03/2015.-

Pedido al Proveedor N° 11.688 de 18/06/2015.-----

**1 INTRODUCCIÓN.**-----

El método de ensayo descrito en la norma NBR 9442 es utilizado para determinar el índice de propagación de llama de



Mabel A. T  
 TRADUCTORA  
 S.C.J. 16'  
 29

materiales por el método del panel radiante, utilizándose el equipo visualizado en la Figura 1.-----

Los cuerpos de prueba, con dimensiones de 150 ± 5 mm de ancho y 460 ± 5 mm de largo, son insertados en un soporte metálico y colocados frente a un panel radiante poroso, con 300 mm de ancho y 460 mm de largo, alimentado por gas propano y aire. El conjunto (soporte y cuerpo de prueba) está ubicado frente al panel radiante con una inclinación de 60°, de tal manera de exponer al cuerpo de prueba a un flujo radiante estandarizado. Una llama piloto es aplicada en la extremidad superior del cuerpo de prueba. (A la derecha luce "Figura 1: Equipo de Ensayo").-----

En el ensayo se obtiene el factor propagación de llama desarrollada en la superficie del material (Pc), medido a través del tiempo para alcanzar las distancias estandarizadas en el soporte metálico con el cuerpo de prueba, y el factor de evolución de calor desarrollado por el material (Q), medido a través de sensores de temperatura (termopares) ubicados en una chimenea sobre el panel y el soporte con el cuerpo de prueba.-

El índice es determinado a través de la siguiente ecuación (sin unidad): **Ip = PC x Q** -----

Donde: Ip: Índice de propagación superficial de llama;-----

Pc: Factor de propagación de la llama;-----

Q: Factor de evolución del calor.-----

(Foja 2, N° 229: )-----

Informe de Ensayo N° 1 096 205-203. 2/3.-----

**Laboratorio de Seguridad al Fuego y a las Explosiones -**

Mabel A. Tapel  
 TRADUCTORA  
 S.C.J. 169 (ING  
 294 (PO



Apela Marengo  
 ORA PUBLICA  
 (INGLES)  
 (PORTUGUES)

**CETAC/LSFEx.**-----  
**Laboratorio de Ensayo Certificado por la Cgcre (Coordinación General de Acreditación) de acuerdo con la NBR ISO/IEC 17 025 con el número CRL 0111.**-----

**2. ITEM / MATERIAL.**-----

Fue entregado el material denominado "Madera CLT Tratada con Producto de Impregnación", identificado por este Laboratorio con el número 1713-17. Las siguientes características fueron determinadas:-----

- espesor medio de los cuerpos de prueba: 20 mm -----
- masa específica aparente media de los cuerpos de prueba: 5,1 x 10<sup>2</sup> kg/m<sup>3</sup>.-----
- aspecto: placa de madera tratada con producto de retardo de llamas (Figura 2). (A continuación luce: "Figura 2: material ensayado").-----

Según las informaciones del cliente, el material ensayado consiste en láminas de madera maciza utilizadas como paneles CLT "Cross Laminated Timber", tratado superficialmente con producto "CKC-2020" (cara expuesta al fuego y en las laterales de los cuerpos de prueba), aplicado con pulverizador en tres capas y con consumo total de 300 ml/m<sup>2</sup>.-----

**3. MÉTODO UTILIZADO.**-----

-ABNT NBR 9442: 1986 (Versión corregida: 1988) - "Materiales de construcción - Determinación del índice de propagación superficial de llama por el método del panel radiante - Método de ensayo".-----

-Procedimiento de Ensayo CETAC-LSFEx-PE 006 - "Determinación

Apela Marengo  
 ORA PUBLICA  
 (INGLES)  
 (PORTUGUES)



Mabel A. Ta  
TRADUCTO  
S.C.J. 169 /  
294

del índice de propagación superficial de llama para materiales de construcción".-----

**4. EQUIPOS UTILIZADOS.**-----

-Equipo de propagación superficial de llama marca FTT (identificación: EQ-033).-----

-Calibrador Digimess (identificación: PQ-006, certificado de calibración N° 147726-101, validez: 07.2018).-----

-Balanza HF -6000G (Identificación: BL -005, certificado de calibración N° 151796-101, validez: 05.2018).-----

-Regla Hope (identificación: RG -008, certificado de calibración N° 141670-101, validez: 11.2017).-----

(Foja 3, N° 230:).-----

**Laboratorio de Seguridad al Fuego y a las Explosiones - CETAC/LSFEx.**-----

Laboratorio de Ensayo Certificado por la Cgcre (Coordinación General de Acreditación) de acuerdo con la NBR ISO/IEC 17 025 con el número CRL 0111.-----

**5. RESULTADOS DE ENSAYO.**-----

Ensayo realizado el 28/10/2017.-----

Valores: Medio; Mínimo; Máximo.-----

Índice de propagación de llama (Ip) 25; 14; 34.-----

-Factor de evolución de calor (Q) 7,0; 6,1; 8,9.-----

-Factor de propagación de llama (Pc) 3,6; 2,6; 4,9.-----

**Clasificación. Clase A.**-----

**5.1 Observaciones de ensayo** -----

-La propagación de llama avanzó, como promedio, 350 mm (76% de la superficie de los cuerpos de prueba).-----



Mabel A. Ta  
TRADUCTO  
S.C.J. 169 /  
294

pele Marengo  
RA PUBLICA  
(INGLÉS)  
(PORTUGUES)

-Desarrollo de humo de coloración gris.-----

**Nota 1:** Los resultados se refieren solamente al material entregado al laboratorio. No fue verificado si el envejecimiento del producto o su hidro-solubilidad comprometen el desempeño del tratamiento anti-llama. De esta forma, existe la necesidad de establecer la durabilidad de esta terminación para la preservación del desempeño del producto, estableciendo, de ser necesario, la periodicidad de su aplicación.-----

**6. LÍMITES ESPECIFICADOS EN LA NORMA.**-----

El método de ensayo NBR 9442 propone el marco de los materiales en cinco clases, de acuerdo con el Índice de Propagación de Llamas promedio, a saber: -----

Clase; índice de Propagación de Llamas (Ip) promedio.-----

A; 0 a 25.-----

B; 26 a 75.-----

C; 76 a 150.-----

D; 151 a 400.-----

E; Superior a 400.-----

**7. CONCLUSIÓN.**-----

El Índice de Propagación Superficial de Llama Promedio (Ip) alcanzado por el material fue de **25**, correspondiente a la **clase A** del método de ensayo.-----

San Pablo, 27 de noviembre de 2017.-----

(Firmado:) CENTRO TECNOLÓGICO DEL AMBIENTE CONSTRUIDO;  
Laboratorio de Seguridad al Fuego y a las Explosiones,  
Ingeniero Civil **Maestro Carlos Roberto Metzker de Oliveira,**

pele Marengo  
RA PUBLICA  
(INGLÉS)  
(PORTUGUES)



Supervisor de Ensayo; CREA (Consejo Regional de Ingeniería y Agronomía) n° 50614533656 - RE n° 08632; CENTRO TECNOLÓGICO DEL AMBIENTE CONSTRUIDO; Laboratorio de Seguridad al Fuego y a las Explosiones, Ingeniero Civil **Maestro Antonio Fernando Berto**, Jefe del Laboratorio; CREA n° 0600745569 - RE n° 2467.9.-----

La suscrita, Traductora Pública, declara que lo que antecede es traducción fiel al español, de Informe de Ensayo redactado en idioma portugués, en tres fojas, guardando copia en su archivo con el N° 308/22. Montevideo, 25 de enero de 2022.----

*est*  
Mabel A. Tapela Marengo  
TRADUCTORA PUBLICA  
S.C.J. 169 (INGLÉS)  
294 (PORTUGUES)



Laboratório de Segurança ao Fogo e a Explosões/CETAC

## RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1 096 206-203

**CLIENTE:** Serviço Social do Comércio – SESC.  
Rua Padre Adelino, 1.000 – Belenzinho.  
CEP: 03303-000 – São Paulo/SP.

**NATUREZA DO TRABALHO:** Determinação da densidade óptica específica de fumaça.

**REFERÊNCIAS:** Orçamento IPT nº 2833/15 datado de 06.03.2015.  
Pedido ao Fornecedor nº 11.688 de 18.06.2015.

### 1 INTRODUÇÃO

O método de ensaio definido na norma ASTM E662 utiliza uma câmara de densidade óptica fechada, onde é medida a fumaça gerada por materiais sólidos. A medição é feita pela atenuação de um raio de luz em razão do acúmulo da fumaça gerada na decomposição pirolítica sem chama e na combustão com chama.

Os corpos de prova medindo 76 mm x 76 mm são testados na posição vertical, expostos a um fluxo radiante de calor de 2,5 W/cm<sup>2</sup>. São realizados ensaios com aplicação de chama piloto, descritos como “com chama”, visando garantir a condição de combustão com chama e outros sem, descritos como “sem chama”, visando garantir a condição de decomposição pirolítica. Os resultados são expressos em termos de densidade óptica específica (sem unidade), Ds, de acordo com a seguinte equação:

$$D_s = V / AL [\log_{10} (100/T) + F];$$

Onde: V é o volume da câmara fechada, A é a área exposta do corpo de prova, L é o comprimento do caminho da luz através da fumaça, T é a porcentagem de transmitância da luz e F é uma função da densidade óptica do filtro utilizado.

Os resultados do ensaio estão apresentados na forma tabular neste relatório. De acordo com a norma, os ensaios são conduzidos até um valor mínimo de transmitância ser atingido, agregando-se, no mínimo, um tempo adicional de ensaio de três minutos, ou até o tempo máximo de ensaio de 20 minutos, o que ocorrer primeiro.



Figura 1: Câmara de ensaio

Os resultados apresentados neste documento se aplicam somente ao item ensaiado ou calibrado.  
Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização.  
A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

Av. prof. Almeida Prado, 532 | Butantã  
São Paulo | SP | 05508-901  
Tel 11 3767 4000 | Fax 11 3767 4002 | ipt@ipt.br

www.ipt.br



**Laboratório de Segurança ao Fogo e a Explosões/CETAC**

**2 ITEM / MATERIAL**

Foi entregue o material denominado "Madeira CLT Tratada Com Produto de Impregnação", identificado por este Laboratório com o número 1716-17. As seguintes características foram determinadas:

- espessura média dos corpos de prova: 20 mm;
- massa específica aparente média dos corpos de prova:  $5,1 \times 10^2 \text{ kg/m}^3$ ;
- aspecto: placa de madeira tratada com produto retardante de chamas (Figura 2).



Figura 2: Material ensaiado

Segundo informações do cliente, o material ensaiado consiste em lâminas de madeira maciça utilizadas como painéis CLT "Cross Laminated Timber", tratado superficialmente com produto "CKC-2020" (face exposta ao fogo e nas laterais dos corpos de prova), aplicado com pulverizador em três demãos e com consumo total de 300 ml/m<sup>2</sup>.

**3 MÉTODO UTILIZADO**

- ASTM E 662-15 – *Specific Optical Density of Smoke Generated by Solid Materials*.
- Procedimento de Ensaio CETAC-LSFEx-PE 002 – "Determinação da densidade óptica específica de fumaça".

**4 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS**

- Câmara de medição de densidade óptica de fumaça (identificação EQ-043).
- Balança HF-6000G (identificação: BL-005, certificado de calibração n° 151796-101, validade: 05.2018).
- Paquímetro Digital (identificação: PQ-009, certificado de calibração n° 07480-17-DI/SP, validade: 03.2020).
- Régua Hope (identificação: RG-008; última calibração: 21.11.2014, certificado calibração n°141670-101, órgão calibrador: CME/LMM, próxima calibração: 11.2017).

Os resultados apresentados neste documento se aplicam somente ao item ensaiado ou calibrado.  
Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização.  
A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

Av. prof. Almeida Prado, 532 | Butantã  
São Paulo | SP | 05508-901  
Tel. 11 3767 4000 | Fax 11 3767 4002 | ipt@ipt.br

www.ipt.br

Laboratório de Segurança ao Fogo e a Explosões/CETAC

## 5 RESULTADOS DE ENSAIO

Ensaio realizado de 22.11.2017 a 23.11.2017.

Os resultados do ensaio estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1: Resultados obtidos no ensaio.

Tipo de Ensaio	sem chama	com chama
<b>Densidade óptica específica máxima corrigida (Dm)</b>	<b>437</b>	<b>279</b>
Tempo, em minutos, para atingir Dm	19,9	20
Densidade óptica específica aos 90 s	13	37
Densidade óptica específica aos 4 min	88	159
Densidade óptica específica aos 20 min	443	289
Densidade óptica específica máxima sem correção (Ds)	445	289
Tempo, em minutos, para atingir Ds = 16	1,6	0,9
Razão máxima de desenvolvimento de fumaça (Ds/min)	40	55
Cor da fumaça	cinza	cinza

*Nota 1: Os resultados referem-se somente ao material entregue no laboratório. Não foi verificado se o envelhecimento do produto ou sua hidrossolubilidade comprometem o desempenho do tratamento antichama. Desta forma, há a necessidade de estabelecer a durabilidade deste acabamento para a preservação do desempenho do produto, estabelecendo, se necessário, periodicidade de sua aplicação.*

## 6 CONCLUSÃO

O valor da densidade óptica específica máxima (Dm) atingida pelo material foi de **437**, correspondente ao ensaio sem chama.

São Paulo, 27 de novembro de 2017.

CENTRO TECNOLÓGICO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO  
 Laboratório de Segurança ao Fogo e a Explosões

Eng.º Civil Mestre Carlos Roberto Metzker de Oliveira  
 Supervisor do Ensaio  
 CREA n.º 5061453656 – RE n.º 08632

CENTRO TECNOLÓGICO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO  
 Laboratório de Segurança ao Fogo e a Explosões

Eng.º Civil Mestre Antônio Fernando Berto  
 Chefe do Laboratório  
 CREA n.º 0600745569 – RE n.º 2467.9

Os resultados apresentados neste documento se aplicam somente ao item ensaiado ou calibrado.  
 Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização.  
 A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

Av. prof. Almeida Prado, 532 | Butantã  
 São Paulo | SP | 05508-901  
 Tel. 11 3767-4000 | Fax 11 3767-4002 | ipt@ipt.br

www.ipt.br

TRADUCCIÓN N° 309/22.-----INFORME DE ENSAYO-----

(Documento en tres fojas, numeradas del 231 al 233, escritas en papel membretado del "IPT" (Instituto de Investigaciones Tecnológicas). Al pie de las tres fojas, luce el siguiente texto: "Los resultados presentados en este documento se aplican solamente al ítem ensayado o calibrado. Este documento no da derecho al uso del nombre o de la marca IPT, para ningún fin, bajo pena de indemnización. La reproducción de este documento sólo podrá hacerse íntegramente, sin ninguna alteración". Las tres fojas lucen en el ángulo superior derecho, el siguiente texto: "Av. Mar del Plata esq. Curitiba; Ed. San Rafael Beach, Punta del Este, Uruguay; 4248-3201 [info@enkelgroup.com](mailto:info@enkelgroup.com)". -----

(Foja 1, N° 231:)------

**Laboratorio de Seguridad al Fuego y a las Explosiones - CETAC.**-----

**INFORME DE ENSAYO N° 1 096 206-203. 1/3.**-----

**CLIENTE:** Servicio Social del Comercio - SESC.-----

Calle Padre Adelino, 1.000 - Belenzinho.-----

CEP (Código Postal) 03303-000 - San Pablo/SP.-----

**NATURALEZA DEL TRABAJO:** Determinación de la densidad óptica específica del humo.-----

**REFERENCIAS:** Presupuesto IPT N° 2833/15 fechado el 06/03/2015.-----

Pedido al Proveedor N° 11.688 de 18/06/2015.-----

**1. INTRODUCCIÓN.**-----

El método de ensayo definido en la norma ASTM E662 utiliza una



cámara de densidad óptica cerrada, donde es medido el humo generado por materiales sólidos. La medición se realiza por la atenuación de un rayo de luz en razón del cúmulo de humo generado en la descomposición pirolítica sin llama y en la combustión con llama.-----

Los cuerpos de prueba midiendo 76 mm x 76 mm son testeados en la posición vertical, expuestos a un flujo radiante de calor de 2,5 W/cm<sup>2</sup>. Son realizados ensayos con aplicación de llama piloto, descritos como "con llama", tendientes a garantizar la condición de combustión con llama y otros sin, descritos como "sin llama", tendientes a garantizar la condición de descomposición pirolítica. Los resultados son expresados en términos de densidad óptica específica (sin unidad), Ds, de acuerdo con la siguiente ecuación: -----

$Ds = V / AL (\log_{10} (100/T) + F)$ :-----

Dónde: V es el volumen de la cámara cerrada. A es el área expuesta del cuerpo de prueba, L es el largo del camino de la luz a través del humo, T es el porcentaje de transmisión de la luz y F es una función de la densidad óptica del filtro utilizado.-----

Los resultados del ensayo están presentados en forma de tabla en este informe. De acuerdo con la norma, los ensayos son conducidos hasta alcanzar un valor mínimo de transmisión, agregándose, como mínimo, un tiempo adicional de ensayo de tres minutos, o hasta el tiempo máximo de ensayo de 20 minutos, lo que ocurra primero. (A la derecha luce "Figura 1: Cámara de ensayo").-----

Mabel A. Tal  
TRADUCTO  
S.C.J. 169 (I)  
294 (I)

Mabel A. Tal  
TRADUCTO  
S.C.J. 169 (I)  
294 (I)



de la Marengo  
 RA PUBLICA  
 INGLÉS)  
 PORTUGUES)

(Foja 2, N° 232:)------  
**INFORME DE ENSAYO N° 1 096 206-203. 2/3.**-----

**Laboratorio de Seguridad al Fuego y a las Explosiones - CETAC.**

**2. ITEM / MATERIAL.**-----

Fue entregado el material denominado "Madera CLT Tratada con Producto de Impregnación", identificado por este Laboratorio con el número 1716-17. Fueron determinadas las siguientes características:-----

- espesor promedio de los cuerpos de prueba: 20 mm -----
- masa específica aparente media de los cuerpos de prueba: 5,1 x 10<sup>2</sup> kg/m<sup>3</sup>.-----
- aspecto: placa de madera tratada con producto de retardo de llamas (Figura 2). (A continuación luce: "Figura 2: material ensayado").-----

Según las informaciones del cliente, el material ensayado consiste en láminas de madera maciza utilizadas como paneles CLT "Cross Laminated Timber", tratado superficialmente con producto "CKC-2020" (cara expuesta al fuego y en las laterales de los cuerpos de prueba), aplicado con pulverizador en tres capas y con consumo total de 300 ml/m<sup>2</sup>.-----

**3. MÉTODO UTILIZADO.**-----

- ASTM E 662-15 - *Densidad Óptica Específica de Humo generado por Materiales Sólidos* (original en inglés).-----
- Procedimiento de Ensayo CETAC-LSFExPE 002 - "Determinación de la densidad óptica específica del humo".-----

**4. EQUIPOS UTILIZADOS.**-----

- Cámara de medición de densidad óptica de humo (identificación

de la Marengo  
 RA PUBLICA  
 INGLÉS)  
 PORTUGUES)



Mabel A. Tap  
 TRADUCTOR  
 S.C.J. 169 (I)  
 294 (I)

EQ-043).-----  
 -Balanza HF-6000G (identificación: BL-005, certificado de calibración n° 151796-101, validez: 05.2018).-----  
 -Calibrador Digital (identificación: PQ-009, certificado de calibración N° 07480-17-DI/SP, validez: 03.2020).-----  
 -Regla Hope (identificación: RG -008, última calibración: 21/11/2014, certificado de calibración N° 141670-101, órgano calibrador: CME/LMM, próxima calibración: 11.2017).-----  
 (Foja 3, N° 233:)

**INFORME DE ENSAYO N° 1 096 206-203. 3/3.-----**  
**Laboratorio de Seguridad al Fuego y a las Explosiones - CETAC.**

**5. RESULTADOS DE ENSAYO.-----**

Ensayo realizado del 22/11/2017 al 23/11/2017.-----

Los resultados del ensayo están dispuestos en la Tabla 1.-----

Tabla 1: Resultados obtenidos en el ensayo.-----

**Tipo de Ensayo; Sin llama; Con llama.-----**

**Densidad óptica específica máxima corregida (Dm); 437; 279.---**

Tiempo, en minutos, para alcanzar Dm; 19,9; 20.-----

Densidad óptica específica a los 90 s; 13; 37.-----

Densidad óptica específica a los 4 minutos; 88; 159.-----

Densidad óptica específica a los 20 minutos; 443; 289.-----

Densidad óptica específica máxima sin corrección (Ds); 445; 289.-----

Tiempo en minutos, para alcanzar Ds = 16; 1,6; 0,9.-----

Razón máxima de desarrollo de humo (Ds/min); 40; 55.-----

Color del humo: gris; gris.-----



Mabel A. Tapela Marengo  
 TRADUCTORA PÚBLICA  
 (INGLÉS)  
 (PORTUGUES)

**Nota 1:** Los resultados se refieren solamente al material entregado al laboratorio. No fue verificado si el envejecimiento del producto o su hidro-solubilidad comprometen el desempeño del tratamiento anti-llama. De esta forma, existe la necesidad de establecer la durabilidad de esta terminación para la preservación del desempeño del producto, estableciendo, de ser necesario, la periodicidad de su aplicación.-----

**6. CONCLUSIÓN.**-----

El valor de la densidad óptica específica máxima (Dm) alcanzada por el material fue de **437**, correspondiente al ensayo sin llama.-----

San Pablo, 27 de noviembre de 2017.-----

(Firmado:) CENTRO TECNOLÓGICO DEL AMBIENTE CONSTRUIDO; Laboratorio de Seguridad al Fuego y a las Explosiones, Ingeniero Civil **Maestro Carlos Roberto Metzker de Oliveira, Supervisor de Ensayo; CREA (Consejo Regional de Ingeniería y Agronomía) n° 50614533656 - RE n° 08632; CENTRO TECNOLÓGICO DEL AMBIENTE CONSTRUIDO; Laboratorio de Seguridad al Fuego y a las Explosiones, Ingeniero Civil **Maestro Antonio Fernando Berto, Jefe del Laboratorio; CREA n° 0600745569 - RE n° 2467.9.****

-----

La suscrita, Traductora Pública, declara que lo que antecede es traducción fiel al español, de Informe de Ensayo redactado en idioma portugués, con algún texto en inglés, en tres fojas, guardando copia en su archivo con el N° 309/22. Montevideo, 25 de enero de 2022.-----



*Mabel A. Tapela Marengo*  
 Mabel A. Tapela Marengo  
 TRADUCTORA PÚBLICA  
 S.C.J. 169 (INGLÉS)  
 294 (PORTUGUES)

Laboratório de Segurança ao Fogo e a Explosões/CETAC

## RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1 096 208-203

**CLIENTE:** Serviço Social do Comércio – SESC.  
Rua Padre Adelino, 1.000 – Belenzinho.  
CEP: 03303-000 – São Paulo/SP.

**NATUREZA DO TRABALHO:** Determinação da ignitabilidade de materiais.

**REFERÊNCIAS:** Orçamento IPT nº 2833/15 datado de 06.03.2015.  
Pedido ao Fornecedor nº 11.688 de 18.06.2015.

### 1 INTRODUÇÃO

O método de ensaio descrito na norma BS EN ISO 11925-2 é utilizado para determinar a ignitabilidade dos materiais, quando expostos à chama de queimador padrão dentro de uma câmara de ensaio fechada (ver Figura 1).

Os corpos de prova, com dimensões de 250 mm x 90 mm, para produtos normais, ou 250 mm x 180 mm, para produtos que contraem ou derretem para longe da chama do queimador sem serem ignizados, são presos no suporte dentro da câmara de ensaio e colocados em contato com a chama do queimador, com um filtro (lenço) de papel posicionado abaixo do corpo de prova. É verificada, então, a propagação da chama, levando-se em conta o tempo em que a frente da chama leva para atingir a marca de 150 mm, medida a partir da extremidade inferior do corpo de prova. São realizados dois tipos de aplicação de chama: de superfície e de borda.



Figura 1: Câmara de ensaio.

### 2 ITEM / MATERIAL

Foi entregue o material denominado “Madeira CLT Tratada Com Produto de Impregnação”, identificado por este Laboratório com o número 1717-17. As seguintes características foram determinadas:

Os resultados apresentados neste documento se aplicam somente ao item ensaiado ou calibrado.  
Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização.  
A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.



**Laboratório de Segurança ao Fogo e a Explosões/CETAC**

- espessura média dos corpos de prova: 20 mm;
- massa específica aparente média dos corpos de prova:  $5,1 \times 10^2 \text{ kg/m}^3$ ;
- aspecto: placa de madeira tratada com produto retardante de chamas (Figura 2).



Figura 2: Material ensaiado

Segundo informações do cliente, o material ensaiado consiste em lâminas de madeira maciça utilizadas como painéis CLT "Cross Laminated Timber", tratado superficialmente com produto "CKC-2020" (face exposta ao fogo e nas laterais dos corpos de prova), aplicado com pulverizador em três demãos e com consumo total de  $300 \text{ ml/m}^2$ .

**3 MÉTODO UTILIZADO**

- BS EN ISO 11925-2: 2010 – *Reaction to fire tests – Ignitability of building products subjected to direct impingement of flame – Part 2: Single-flame source test.*
- Procedimento de Ensaio CETAC-LSFEx-PE 107 – "Ensaio de reação ao fogo – Ignitabilidade de produtos utilizados na construção civil sujeitos ao contato direto com chama – BS EN ISO 11925-2".

**4 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS**

- Câmara de ignitabilidade (identificação EQ-039).
- Cronômetro Technos (identificação: CR-011, certificado calibração nº LV21221-15-R0, validade: 12.2017).
- Paquímetro Digimess (identificação: PQ-001; certificado de calibração nº 141607-101, validade: 11.2017).
- Régua Hope (identificação: RG-008, certificado de calibração nº 141670-101, validade: 11.2017).

**5 RESULTADOS DE ENSAIO**

Ensaio realizado em 27.10.2017.

Os resultados estão dispostos na Tabela 1.

Os resultados apresentados neste documento se aplicam somente ao item ensaiado ou calibrado.  
Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização.  
A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.



Laboratório de Segurança ao Fogo e a Explosões/CETAC

Tabela 1: Resultados obtidos nos ensaios.

Número do corpo de prova	Posição de aplicação do queimador	Tempo de aplicação (s)	Ignição (sim ou não)	Tempo para atingir 150 mm – F <sub>s</sub> (s)	Ignição do filtro de papel (sim ou não)
01	borda	15	não	não atingiu	não
02	borda	15	não	não atingiu	não
03	borda	15	não	não atingiu	não
04	superfície	15	não	não atingiu	não
05	superfície	15	não	não atingiu	não
06	superfície	15	não	não atingiu	não

5.1 Observações de ensaio

- Não ocorreu gotejamento de material em chama.
- Liberação de fumaça de coloração preta.

*Nota 1: Os resultados referem-se somente ao material entregue no laboratório. Não foi verificado se o envelhecimento do produto ou sua hidrossolubilidade comprometem o desempenho do tratamento antichama. Desta forma, há a necessidade de estabelecer a durabilidade deste acabamento para a preservação do desempenho do produto, estabelecendo, se necessário, periodicidade de sua aplicação.*

6 CONCLUSÃO

A chama não atingiu a marca de 150 mm para todos os corpos de prova ensaiados.

São Paulo, 27 de novembro de 2017.

CENTRO TECNOLÓGICO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO  
 Laboratório de Segurança ao Fogo e a Explosões

Eng.º Civil Mestre Carlos Roberto Metzker de Oliveira  
 Supervisor do Ensaio  
 CREA nº 5061453656 – RE nº 08632

CENTRO TECNOLÓGICO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO  
 Laboratório de Segurança ao Fogo e a Explosões

Eng.º Civil Mestre Antônio Fernando Berto  
 Chefe do Laboratório  
 CREA nº 0600745569 – RE nº 2467.9

Os resultados apresentados neste documento se aplicam somente ao item ensaiado ou calibrado.  
 Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização.  
 A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

TRADUCCIÓN N° 310/22.-----INFORME DE ENSAYO-----  
 (Documento en tres fojas, numeradas del 234 al 236, escritas en papel membretado del "IPT" (Instituto de Investigaciones Tecnológicas). Al pie de las tres fojas, luce el siguiente texto: "Los resultados presentados en este documento se aplican solamente al ítem ensayado o calibrado. Este documento no da derecho al uso del nombre o de la marca IPT, para ningún fin, bajo pena de indemnización. La reproducción de este documento sólo podrá hacerse íntegramente, sin ninguna alteración". Las tres fojas lucen en el ángulo superior derecho, el siguiente texto: "Av. Mar del Plata esq. Curitiba; Ed. San Rafael Beach, Punta del Este, Uruguay; 4248-3201 [info@enkelgroup.com](mailto:info@enkelgroup.com)". -----

(Foja 1, N° 234:)------

**Laboratorio de Seguridad al Fuego y a las Explosiones - CETAC.**-----

**INFORME DE ENSAYO N° 1 096 208-203. 1/3.**-----

**CLIENTE:** Servicio Social del Comercio - SESC.-----

Calle Padre Adelino, 1.000 - Belenzinho.-----

CEP (Código Postal) 03303-000 - San Pablo/SP.-----

**NATURALEZA DEL TRABAJO:** Determinación de la inflamabilidad de materiales.-----

**REFERENCIAS:** Presupuesto IPT N° 2833/15 fechado el 06/03/2015.-----

Pedido al Proveedor N° 11.688 de 18/06/2015.-----

**1 INTRODUCCIÓN.**-----

El método de ensayo descrito en la norma BS EN ISO 11925-2 es



Mabel A. Tap  
 TRADUCTO  
 S.C.J. 169 (I)  
 294

utilizado para determinar la inflamabilidad de los materiales, cuando son expuestos a llama de quemador standard dentro de una cámara de ensayo cerrada (Ver Figura 1).-----  
 Los cuerpos de prueba, con dimensiones de 250 mm x 90 mm, para productos normales, o 250 mm x 180 mm, para productos que se contraen o se derriten alejados de la llama del quemador sin encenderse, se sujetan en el soporte dentro de la cámara de ensayo y son colocados en contacto con la llama del quemador, con un filtro (capa) de papel ubicado abajo del cuerpo de prueba. Es verificada, entonces, la propagación de la llama, teniéndose en cuenta el tiempo que le lleva frente a la llama para alcanzar la marca de 150 mm, medida a partir de la extremidad inferior del cuerpo de prueba. Son realizados dos tipos de aplicación de llama: de superficie y de borde. (A la derecha luce "Figura 1: Cámara de ensayo".)-----

**2. ITEM / MATERIAL** -----

Fue entregado el material denominado "Madera CLT Tratada con Producto de Impregnación", identificado por este Laboratorio con el número 1717-17. Fueron determinadas las siguientes características:-----

(Foja 2, N° 235: )-----

**INFORME DE ENSAYO N° 1 096 208-203. 2/3.**-----

**Laboratorio de Seguridad al Fuego y a las Explosiones - CETAC.**

-espesor promedio de los cuerpos de prueba: 20 mm -----

-masa específica aparente media de los cuerpos de prueba: 5,1 x 10<sup>2</sup> kg/m<sup>3</sup>.-----

Mabel A. Tap  
 TRADUCTO  
 S.C.J. 169 (I)  
 294



-aspecto: placa de madera tratada con producto de retardo de llamas (Figura 2). (A continuación luce: "Figura 2: material ensayado").-----

Según las informaciones del cliente, el material ensayado consiste en láminas de madera maciza utilizadas como paneles CLT "Cross Laminated Timber", tratado superficialmente con producto "CKC-2020" (cara expuesta al fuego y en las laterales de los cuerpos de prueba), aplicado con pulverizador en tres capas y con consumo total de 300 ml/m<sup>2</sup>.-----

**3. MÉTODO UTILIZADO.**-----

-BS EN ISO 11925-2: 2010 - *Reacción a testeos de fuego - Inflamabilidad de productos de construcción sujetos al impacto directo de la llama - Parte 2: Testeo de fuente de llama-única* (original en inglés).-----

-Procedimiento de Ensayo CETAC-LSFEx-PE 107- "Ensayos de reacción al fuego - inflamabilidad de productos utilizados en la construcción civil sujetos al contacto directo con llama - BS EN ISO 11925-2".-----

**4. EQUIPOS UTILIZADOS.**-----

-Cámara de inflamabilidad (identificación EQ-039).-----

-Cronómetro Technos (identificación: CR-011, certificado calibración n° LV21221-15-R0, validez: 12/2017).-----

- Calibrador Digimess (identificación: PQ-001, certificado de calibración N° 141607-101, validez: 11.2017).-----

-Regla Hope (identificación: RG -008, certificado de calibración N° 141670-101, validez: 11.2017).-----

**5. RESULTADOS DE ENSAYO.**-----



de la Marengo  
RA PUBLICA  
(INGLÉS)  
(PORTUGUES)

de la Marengo  
RA PUBLICA  
(INGLÉS)  
(PORTUGUES)