



## UN PRODUCTO INNOVADOR PARA VIVIENDAS: LOSETAS NERVADAS PREFABRICADAS EN MADERA.

TORÁN, SUSANA; CALONE, MARÍA; FONTANA, JUAN JOSÉ; BOZZANO, BLANCA;  
GALLARDI, LUIS; FERNÁNDEZ, MARÍA ESTHER; REY, NICOLÁS; MONNÉ, EMILIANO  
FACULTAD DE ARQUITECTURA, DISEÑO Y URBANISMO. UDELAR, URUGUAY

### 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la preocupación por el cuidado del ambiente ha cobrado mayor importancia y la Arquitectura no es ajena a esta situación. La tendencia es realizar construcciones más sostenibles, utilizando materiales que consuman la menor cantidad de energía en su producción.

La madera es la única materia prima renovable que se utiliza en la industria de la construcción y cuyo aprovechamiento no daña el ambiente (Hernández, 2010). A su vez, los avances tecnológicos han permitido mejorar y crear nuevos productos derivados de la madera y perfeccionar su desempeño cuando se usa combinada con otros materiales. La posibilidad de unir piezas de madera en forma confiable aumenta la calidad de los productos constructivos (Argüelles, 2015) y facilita el desarrollo de procesos de obra industrializados. De este modo se han ampliado los ámbitos de aplicación y uso de la madera a nivel mundial.

La industria maderera en Europa, Estados Unidos y Canadá, ha perfeccionado la fabricación de productos con ingeniería incorporada denominados *engineered timber products* (ETP) con el objetivo de obtener productos con mayor valor agregado, de calidad controlada, y tipificados y de ese modo posibilitar que la madera se transforme en un material más de construcción.

Cuando hablamos de productos con tecnología incorporada (ETP) nos referimos a los avances realizados en los procesos de industrialización de la madera maciza dando origen a nuevos materiales con características y propiedades mecánicas distintas a la madera original. Podemos mencionar numerosos productos o elementos constructivos derivados de esos procesos tales como: madera laminada encolada (MLE), madera microlaminada (LVL), madera contralaminada (CLT), madera tarugada (DLT, o NLT cuando se une con conectores metálicos), vigas doble T (*I - Joists*), etc. Todos estos productos se ofrecen normalizados y clasificados por resistencia.

La disponibilidad de madera en Uruguay representa una oportunidad única para fomentar su uso en la construcción, especialmente, cuando el volumen de madera aserrada de coníferas aumentó de 145 a 356 miles de m<sup>3</sup> entre 2012-2018<sup>1</sup> y, se estima una oferta anual, aproximada de 3 millones de m<sup>3</sup> de madera de pino según datos de la Dirección Nacional de Industrias del MIEM. En este contexto es ineludible promover y desarrollar *nuevos productos estructurales* - que le otorguen mayor valor agregado a la madera aserrada- destinados principalmente a la construcción de viviendas de interés social, que es uno de los objetivos del equipo de investigación *Tecnología de la construcción en madera* de FADU.

---

<sup>1</sup> Encuestas elaboradas por la División Evaluación & Información. Dirección General Forestal del MGAP. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/unidad-organizativa/direccion-general-forestal/informacion-tecnica/estadisticas-y-mercados/boletines-estad%C3%ADsticos/boletin-estadistico-2019>



En el medio local no ha existido una tradición de construir en madera. La construcción se ha realizado con materiales tradicionales; ladrillo, bloques, hormigón. Si bien esto es debido a una fuerte influencia mediterránea, no es menos cierto que nunca se tuvo madera de buena calidad, utilizándose la madera de pino nacional principalmente en encofrados.

El incremento de las áreas forestadas, el manejo de los bosques, los trabajos de raleos y podas, las mejoras técnicas en muchos aserraderos además de la incorporación de secaderos industrializados permiten en la actualidad obtener en el mercado nacional madera aserrada adecuada para su uso en la construcción.

En cuanto a los productos en madera con innovación tecnológica adecuada a nuestro país, el equipo de investigación de FADU ha desarrollado en los últimos años los siguientes productos:

- Tableros de chapas unidireccionales de madera nacional de *Pinus taeda* (LVL)
- Placas tensadas de madera de pino para entrepisos.
- Vigas de madera laminada de pino y eucalipto, encolada con adhesivo de resorcinol (MLE).
- Vigas doble te de madera aserrada y tablero contrachapado.

Las losetas nervadas se suman a los productos con tecnología incorporada que ha estudiado el equipo. En este trabajo se presentan los resultados del proyecto I+D “Losetas nervadas prefabricadas en madera para entrepisos y cubiertas de viviendas. Su aplicación en cooperativas por ayuda mutua y autoconstrucción asistida” que fue financiado por la Comisión Sectorial de Investigación Científica (CSIC) de la Universidad de La República.

En el proyecto se desarrolló un producto estructural en madera, inédito en el país, compuesto de escuadrías de madera maciza y tableros de virutas orientadas (OSB) conformando una loseta nervada de sección compuesta para utilizarla principalmente, en entrepisos y cubiertas de viviendas, posible de ser construida por mano de obra no calificada con asistencia técnica.

Las losetas nervadas prefabricadas de madera son sistemas superficiales que se ofrecen en Europa normalizados y clasificados por resistencia como alternativa a las prácticas constructivas con elementos individuales de madera. Existen varias empresas europeas -Lignatur, Lignotrend, Novatop- que fabrican en forma industrial estos elementos estructurales que se pueden emplear tanto en entrepisos y cubiertas como en paredes.

Una de las ventajas de las losetas nervadas es que son elementos estructurales multifuncionales. Ofrecen un nuevo potencial de diseño al proyectista, ya que cumplen la función estructural y de terminación a la vez. Otra ventaja es la posibilidad de incorporar tanto las instalaciones como los aislantes térmicos y acústicos alojándolos en las oquedades de las secciones pudiendo además, conformar una superficie de cerramiento homogénea ya terminada.

## 1.1. METODOLOGÍA

### 1.1.1 Probetas pequeñas

Antes de fabricar las losetas a escala real y con el objetivo de tener una primera aproximación a la resistencia mecánica de las losetas, se construyeron dos series de pequeñas losetas a escala 1:25, 4 probetas con elementos transversales y 4 probetas sin esos elementos, encoladas y clavadas (Fig. 1). Se ensayaron con la norma ASTM E-72 en una Prensa universal, C5642, con indicador de fuerza digital para un rango de 0 KN - 100 KN.



*Figura 1: Pequeñas losetas, con y sin elementos transversales.*

Si bien no fue posible disminuir la velocidad del ensayo a menos de 1 segundo, se aplicó una carga continua hasta la rotura, y se obtuvo empíricamente la carga máxima de rotura. Se filmaron los ensayos para observar si la falla se producía en el tablero, en la madera, o en el medio de unión (clavo). Se constató que fallaba la madera en los dos tipos de losetas (Fig. 2).



*Figura 2 Prensa universal Controls y formas de rotura de las losetas.*

### 1.1.2. Probetas a tamaño real

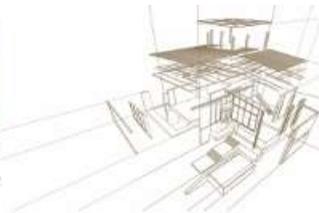
En una primera instancia se fabricó una loseta de 120cm de ancho y 330cm de longitud con 3 escuadrías de madera aserrada de pino de 2"x8", sección definida por el modelo de cálculo teórico. La loseta pesaba más de 100 kilos por lo que se decidió fabricar las siguientes losetas de 61cm de ancho ya que uno de los objetivos es que este elemento estructural lo fabriquen y utilicen los usuarios de las cooperativas de vivienda por ayuda mutua.

Previo al armado de la loseta a tamaño real se verificó el contenido de humedad (CH) de la piezas de madera y se hizo la clasificación visual de las escuadrías de acuerdo a los defectos permitidos por normas de reciente aprobación para pino y eucalipto (normas UNIT 1261:2017, UNIT 1262:2018).

Cabe señalar que las **losetas fabricadas** a lo largo del proyecto fueron variando en cuanto al número de vigas, dimensiones, tamaño de clavos y distancia entre ellos.

En términos generales las losetas tienen 61 cm. de ancho y una longitud de 330cm. y están conformadas por 3 o 2 vigas longitudinales de sección 4,5x15cm (bxh) y 3 tramos transversales también de sección 4,5x15cm, ubicados al medio y a 43cm de los extremos y ambas caras recubiertas con tableros de viruta de fibras orientada (OSB) de espesor 1,5cm.

La estructura de madera está vinculada con clavos de 4" y la colocación del OSB en un inicio se hizo con clavos de 4" y posteriormente se usaron de 2"



Al principio se construyeron losetas de pino. Las normas UNIT de pino y eucalipto definen una sola calidad para elementos primarios trabajando a flexión, en el caso de la madera de pino no fue posible obtener madera EC1 (conífera estructural 1) por lo que se construyeron 2 probetas de esa calidad y luego se construyeron 5 probetas de calidad estructural ME2 de acuerdo a la norma UNE 56544.

Posteriormente el estudio se centró en losetas con madera de *Eucalyptus grandis* calidad estructural EF1 (Fig.3).

**Losetas de eucalipto:** características en dimensiones (ancho x largo), número de vigas, dimensión, calidad estructural y clavado (dimensión clavo y distancia clavado) son:

**Procedencia de la madera eucalipto:** empresa forestal.

**6 losetas:** 61 x 330 cm, 3 vigas de 2 x 6", calidad EF1, clavos de 4" cada 27cm en los 2/4 central y cada 20cm en los 1/4 extremos.

**6 losetas:** 61 x 330 cm, 2 vigas de 2 x 6", calidad EF1, clavos de 4" cada 27cm en los 2/4 central y cada 20cm en los 1/4 extremos.

**6 losetas:** 61 x 330 cm, 2 vigas de 2 x 6", calidad EF1, clavos de 2 1/2" cada 10 en todo el largo

**Procedencia madera eucalipto:** barraca de madera de Montevideo.

**6 losetas:** 61 x 330 cm, 3 vigas de 2 x 6", calidad EF1, clavos de 4" cada 27cm en los 2/4 central y cada 20cm en los 1/4 extremos.

**Losetas de pino:** características en dimensiones (ancho x largo), número de vigas, dimensión, calidad estructural y clavado (dimensión clavo y distancia clavado) fue:

**Procedencia de la madera de pino:** empresa forestal.

**1 loseta:** 122 x 330cm, 3 vigas de 2 x 8", calidad EC1, clavos de 4" cada 27cm en los 2/4 central y cada 20cm en los 1/4 extremos. y **1 loseta:** 61 x 330 cm, 3 vigas de 2 x 6", calidad EC1, clavos de 4" cada 27cm en los 2/4 central y cada 20cm en los 1/4 extremos.

**Procedencia madera de pino:** barraca de madera de Montevideo.

**5 losetas:** 61 x 330cm, 3 vigas de 2 x 6", calidad ME2, clavos de 4" cada 27cm en los 2/4 central y cada 20cm en los 1/4 extremos.

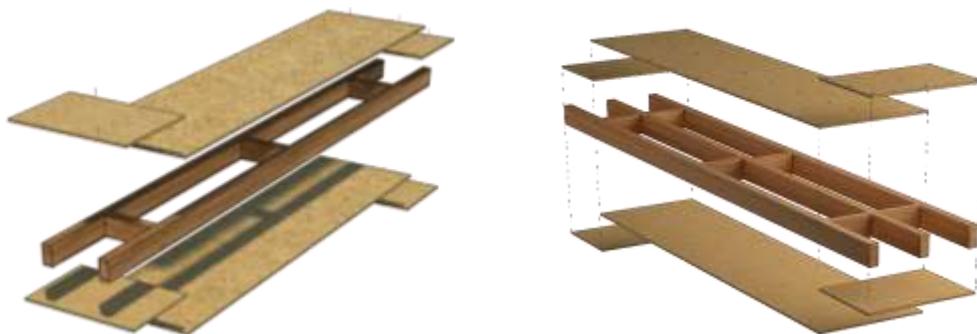
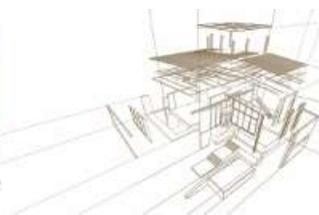


Figura 3. Losetas compuestas por 2 y 3 vigas longitudinales

**Ensayos físicos y mecánicos.** Se realizaron 3 tipos de ensayos.

i). Ensayos para determinar la densidad y contenido de humedad (CH) en pequeñas probetas libres de defecto según Norma UNIT 237:2008 "Determinación de la densidad aparente en maderas" y UNIT 223-2:2007 "Contenido de humedad de la madera"



ii) Ensayos a flexión estática a tamaño real hasta la rotura para determinar las características mecánicas de vigas de pino y de eucalipto previamente clasificadas, Norma UNIT 1191:2010 Madera – Determinación de las propiedades mecánicas a través de ensayos de flexión estática.

iii) Ensayos a flexión a tamaño real hasta la rotura para la determinar las características mecánicas de las losetas según la Norma ASTM E72-15 *Standard Test Methods of – Conducting Strength Tests Panels for Building Construction*.

**i) Determinación de la densidad y contenido de humedad en pequeñas probetas libres de defectos de madera de pino y eucalipto.**

De las vigas de pino y eucalipto utilizadas para la fabricación de las losetas se extrajeron pequeñas probetas libres de defectos para determinar la densidad aparente de la madera de acuerdo a los procedimientos que establece la norma UNIT 237:2008 “*Determinación de la densidad aparente en maderas*”, y para el ensayo de contenido de humedad en base seca, por el método de secado en estufa de acuerdo a los procedimientos que establece la norma UNIT 223-2:2007 ‘*Contenido de humedad de la madera*’.

**Muestreo y preparación de las probetas a ensayar**

Las probetas de madera de *Pinus Elliottii-Tadea* se identificaron con la letra P y un número. Las probetas P01 a P20 corresponden a la empresa forestal con montes en el sur del país y las probetas P21 a P30 a la barraca de Montevideo, cuya madera proviene de distintas partes.

Las probetas de *Eucalyptus grandis*, se identificaron con la letra E y un número. Las probetas E01 a E28 corresponden la empresa forestal y las probetas E29 a E70 se extrajeron de escuadrías adquiridas en barracas de Montevideo, se desconoce la procedencia de la madera.

**Procedimiento**

Se estacionaron las probetas en una habitación con atmósfera controlada a una humedad relativa de (65+1)% y temperatura de (20+3) °C durante 24 hs. Transcurrido ese lapso se realizó una primer medición de masa y volumen, con una balanza de 0,001 g de precisión y un calibre digital *Mitutoyo* de 0,01 mm de precisión. Se tomaron las 3 dimensiones desde los puntos medios de las respectivas caras opuestas (a, b y c) y luego se calculó volumen de la probeta realizando el producto de los tres valores:  $v = a \times b \times c$  (Fig. 4).

Luego se secaron las probetas en estufa eléctrica *Novus N480D* a una temperatura de 103 °C hasta masa constante. Para ello se realizaron mediciones de masa en intervalos no menores a 8 hs hasta que la variación fue menor al 0,2 % entre pesadas sucesivas. Para esta última medición de masa se realizó también un relevamiento del volumen de cada probeta por medición directa, sin sacar las probetas de la sala controlada (Fig. 5)

En madera de pino se estudiaron 20 probetas de la empresa forestal y 10 probetas de madera adquirida en barraca de Montevideo. En madera de eucalipto se estudiaron 25 probetas de empresa forestal y 24 probetas de madera adquirida en barraca de Montevideo

Con los datos obtenidos se determinó la densidad aparente, la densidad anhidra y el contenido de humedad de las probetas



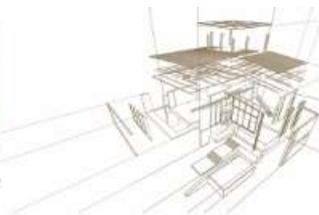


Figura 4. Probetas de pino depositadas en sala controlada.



Figura 5. Balanza de precisión y probetas en el horno de secado

## ii) Ensayos a flexión estática a tamaño real hasta la rotura de vigas de Pino y Eucalipto

Se realizaron en total **15 ensayos de vigas**, **5 de madera pino** adquirida en barracas de Montevideo, **5 de madera de eucalipto** de empresa forestal y **5** adquiridas en barracas de Montevideo.

Las vigas fueron sometidas a ensayo de flexión estática hasta la rotura según la norma UNIT 1191:2010 “Madera-Determinación de las propiedades mecánicas a través de ensayo de flexión estática” basada en la norma ASTM D198 “*Statistic Tests of Lumber in Estructural Sizes*, cuya filosofía es la realización de ensayos de probetas a *tamaño real* (tamaño de uso).

Sobre una probeta simplemente apoyada con una luz igual a  $18 \pm 1.5$  veces la altura de la probeta, se aplica la carga en dos puntos ubicados en el tercio central hasta la rotura, y se mide la deformación en el punto medio de la luz. Esta configuración de carga simula la aplicación de una carga uniformemente distribuida en toda la luz y produce momentos flectores de magnitudes similares.

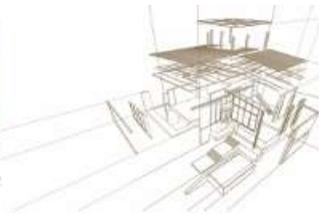
Los ensayos se realizaron en la prensa Universal Tinus Olsen con capacidad de 30000 a 60000 libras de capacidad. Dicha prensa permite una luz libre de hasta 600cm. Cuenta con un marco rígido para soportar la probeta y a la vez facilitar su deformación sin restricciones, una cabeza de carga que reparte en dos puntos la fuerza aplicada y una viga de reacción que asegura la rigidez del sistema.

La probeta se apoya en rodillos que posibilitan su rotación alrededor de la reacción a medida que se va flexando. La carga se mide con un dinamómetro Dillon ubicado en una de las reacciones y la deformación con un calibre Digimatic Mitutoyo. La carga aplicada en dos puntos, al tercio y dos tercios de la luz, permite obtener una región entre esos dos puntos sujeta a Momento flector constante, libre de Corte. Se determinó experimentalmente la Tensión de Rotura y el Módulo de Elasticidad en flexión estática.

Los ensayos fueron destructivos y se realizaron gráficos de carga-deformación. Se determinó la carga en la zona de proporcionalidad entre el 10% y 40% de la carga de rotura. Con el delta carga y el delta deformación se obtuvo el Módulo de Elasticidad (**E**) y con la carga de rotura se obtuvo la Tensión de Rotura o Módulo de Rotura (MOR).

Las probetas se ensayaron hasta la rotura en un pórtico de carga equipado con un cilindro y bomba hidráulica ENERPAC de 15 Ton. El ensayo se realizó siguiendo la norma ASTM E-72 – 2015. (Figura 6).

**iii) Ensayos a flexión** a tamaño real hasta la rotura para la determinación de las características mecánicas de las losetas según la Norma ASTM E72-15. Esta norma establece el método para comprobar la resistencia de las losetas prefabricadas a las cargas verticales permanentes y de



uso. Las losetas fabricadas a tamaño real se ensayaron en el Pórtico de carga equipado con prensa hidráulica Enerpac de 15ton, manómetro digital Enerpac modelo DGP de 1000 PSI.

Sobre una probeta simplemente apoyada se aplica la carga en dos puntos ubicados en los 2 cuartos central, carga que se incrementa gradualmente y se mide la deformación producida en cada incremento de carga en el período elástico del material, luego en un período de 5 minutos de mantenimiento de la carga se registra de deformación, a continuación se retira la carga y se registra la deformación, se obtienen la deformación inicial, la deformación a los 5 minutos y la deformación residual en cada escalón de carga. Al final sin medir la deformación se lleva la carga en forma continua hasta la rotura de la loseta.

Previo al comienzo del ensayo se determinan el número y valor de los escalones de carga los cuales deben ser los suficientes que permitan obtener datos en el período elástico del ensayo.

Este ensayo además de obtener las características mecánicas de la probeta, permite registrar los fenómenos que se producen como alabeos, comportamiento de los clavos, daños locales y forma de rotura. Con las lecturas efectuadas durante el ensayo se dibujan los gráficos que establecen la relación carga-deformación para obtener los valores de carga de rotura y módulo de elasticidad de las losetas. Con dichos datos se realizaron las planillas de cálculo. Paralelamente se procedió al estudio de la norma europea Eurocódigo 5 “Diseño de Estructuras de Madera” para definir el modelo estructural teórico más apropiado para calcular las losetas prefabricadas en madera.



*Figura 6. Ensayo de loseta a tamaño real.*

**Planillas de cálculo:** Se realizaron planillas con 2 modelos de cálculo

**1. Losetas con uniones mecánicas (clavos), unión flexible**

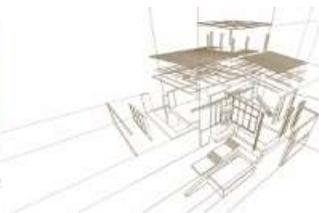
**2. Losetas con uniones rígidas (encoladas)**

En ambos casos se analiza una viga central de la loseta y se determina el ancho eficaz de las alas de OSB teniendo en cuenta la distribución no uniforme de tensiones normales debidas al retraso por cortante y a la abolladura.

Se consideran como cargas permanentes (G) el peso propio de la loseta y 35 daN/m<sup>2</sup> de carga muerta, y como carga variable (Q) 150 daN/m<sup>2</sup> de sobrecarga de uso.

Para el control de las **deformaciones**, estados límite de servicio, se toma como límite 1/300, 1/350 y 1/300 para el control en cuanto a criterios de integridad, confort y apariencia, respectivamente, de acuerdo a las especificaciones del DB-SE del Código Técnico Español.

Para el control de acuerdo a los **criterios de integridad** se considera la flecha debido a la fluencia de la carga permanente, la flecha instantánea debido a la carga de uso y la flecha por la fluencia de la parte casi permanente de la carga de uso.



Para el control de acuerdo a los **criterios de confort** se considera la flecha instantánea debido a la carga de uso. Para el control de acuerdo a los criterios de apariencia se considera la flecha final debido a las cargas permanentes (combinación casi permanente de las acciones).

En el caso de **uniones flexibles** no se considera el efecto del esfuerzo cortante en las deformaciones. Y en el caso de uniones rígidas se consideran tanto las deformaciones por flexión como aquellas por cortante.

Se elaboraron planillas electrónicas para el **Cálculo de un entrepiso con vigas de eucalipto. Cálculo teórico de una loseta con unión rígida - vigueta central doble te y Cálculo teórico de una loseta con unión flexible - vigueta central doble te**

Finalmente se elaboraron las Planillas de análisis de las losetas, la que se muestra a continuación.

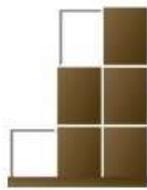
Tabla 1. Planilla de análisis de losetas de eucalipto identificadas como E01 a E06

CARGAS en panel (daN y m)		Long de panel (cm)	452.00		
Q (daN/m <sup>2</sup> )	150	Ancho de panel (cm)	61		
PP panel (daN)	90				
CM (daN/m <sup>2</sup> )	35				
G (daN/m <sup>2</sup> )	67.6				
Carga en panel (daN/m)					
G	41.3				
Q	91.5				
Carga en l Central (daN/m)					
G	17.7	G+Q	56.82		
Q	39.2				
				inercia homogeneizada	inercia sin homogeneizar
PANEL	MOMENTO MAX	CORTANTE MAX	E (daN/cm <sup>2</sup> )	E (daN/cm <sup>2</sup> )	
E01	1718.40	2148.0	106560.75	53485.00	
E02	1190.70	1488.3	104771.76	52056.50	
E03	1792.90	2241.1	123857.50	61539.40	
E04	1848.50	2310.6	116137.12	57947.20	
E05	1270.00	1587.5	122056.13	60644.30	
E06	1450.20	1812.8	111038.93	55263.88	
CV %	18.16%	18.16%	6.97%	6.79%	
Desviación estandar	280.6	350.8	7948.3	3857.5	
Valor medio	1545.1	1931.4	114070.4	56822.7	
Valor característico	888.4	1110.5	95471.3	47796.1	
Valor de cálculo	296.15	370.17			
luz equivalente para G+Q (m)	6.46	13.03	4.54	4.53	
			206178.4	205400.1	
Coef. Mayoración de acciones para flecha	1				
f adm (cm)	1.507				
f inicial (cm)	0.753	0.753			
f total (cm)	1.507	1.507			
Coef. amplificación flecha	2	2			
		inercia sin homogeneizar	inercia homogeneizada		

## 1.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tabla 3. Densidad de la madera de pino y eucalipto.

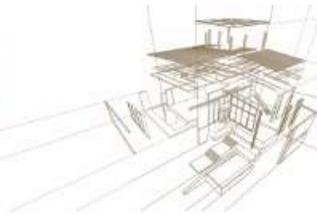
	PINO	
	Forestal	Barraca
	<b>Densidad aparente al 12% CH</b>	
valor medio	0.576	0.429
desv. est.	0.012	0.012
CV %	2.15	2.83
valor característico	0.554	0.406
	<b>Densidad anhidra</b>	
valor medio	0.535	0.401



# CLEM

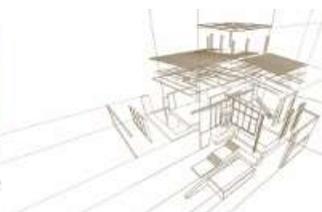
## 2019

18 al 20 de noviembre  
Hotel Cottage  
Montevideo - Uruguay



4º CONGRESO  
LATINOAMERICANO  
DE ESTRUCTURAS  
DE MADERAS

desv. est.	0.010	0.013
CV %	1.96	3.14
valor característico	0.516	0.378
<b>Contenido de humedad</b>		
<b>CH %</b>	14.6	13.0



EUCALIPTO		
	Forestal	Barraca
<b>Densidad aparente al 12% CH</b>		
valor medio	0.547	0.513
desv. est.	0.027	0.025
CV %	4.93	4.88
valor característico	0.500	0.469
<b>Densidad anhidra</b>		
valor medio	0.513	0.494
desv. est.	0.025	0.023
CV %	4.88	4.58
valor característico	0.469	0.454
<b>Contenido de humedad</b>		
<b>CH %</b>	11.9	13.2

Módulo de Elasticidad (E) y Tensión de Rotura (MOR) obtenidos (Tabla 4).

Tabla 4. Módulo de Elasticidad y Módulo de Rotura para madera de pino y eucalipto

PINO	Tensión de Rotura		UNIT 1261 MPa	E		UNIT 1261 Mpa
	K/cm2	MPa		K/cm2	MPa	
Media	290	28.41		86328	8460	7139
Desv Est.	43	4.18		15800	1548	
CV	15%	15%		18%	18%	
Resist Caract. 5%	206.71	20.26	15.52			

EUCALIPTO empresa forestal	Tensión de Rotura		UNIT 1261 MPa	E		UNIT 1261 Mpa
	K/cm2	MPa		K/cm2	MPa	
Media	694	68.08		160371	15727	11960
Desv Est.	134	13		9990	980	
CV	19%	19%		6%	6%	
Resist Caract. 5%	432.42	42.41	21.4			

EUCALIPTO barraca	Tensión de Rotura		UNIT 1261 MPa	E		UNIT 1261 Mpa
	K/cm2	MPa		K/cm2	MPa	
Media	477	46.74		159963	15676	11960
Desv Est.	121	11.86		31419	3079	
CV	25%	25%		20%	20%	
Resist Caract. 5%	240.92	23.61	21.4			

La separación entre los clavos y el tamaño de los mismos no tuvo una incidencia significativa en la forma de rotura de la probeta. Independiente que se trate del modelo de loseta con tres o dos escuadrías la carga en la pieza central funciona como una viga doble te, por lo tanto se pueden analizar todas las vigas sin importar el modelo para hallar la distancia máxima a cubrir por la loseta. Las losetas fabricadas con madera de eucalipto proveniente de la empresa forestal, la luz máxima a cubrir es de 4.20 metros. Para las losetas fabricadas con la madera de eucalipto de barracas la luz a cubrir es de 3.80metros

El **Módulo de elasticidad medio** ( $E_{med}$ ) de la madera de eucalipto de la empresa forestal es 10.000 DN/cm<sup>2</sup>

El **Módulo de elasticidad medio** ( $E_{med}$ ) de la madera de eucalipto de barraca es 85.000 DN/cm<sup>2</sup>

Debido a la dificultad de conseguir madera de pino de acuerdo a la calidad EC1, solamente se fabricaron 5 probetas con madera de pino de calidad ME2 (de la norma española) por lo tanto los valores son solamente a modo indicativo, las losetas se podrían utilizar en las cubiertas.



El modelo de la loseta con la unión encolada y clavada es una solución intermedia -producto del cálculo entre la unión rígida y una unión flexible- ya que se verificó que las alas no producen un aporte resistente significativo si están solamente clavadas. El cálculo teórico de la misma solución de losetas, pero con **uniones rígidas entre alma y alas**, sí permite concluir que el aporte resistente de las alas es relevante

Uno de los resultados obtenidos es que se pudo constatar que es factible fabricar las losetas con mano de obra no calificada, especialmente las de 61x18x330cm con dos vigas, en un plazo razonable. Este modelo, teniendo todos los materiales cortados previamente se realiza en 1 y 1/2 hora y cuyo peso va de 70 a 74 Kg las de eucalipto, y las de pino el peso varía entre 65 y 67 Kg. Se desechó la primera loseta fabricada de pino compuesta por 3 escuadrías de madera y con las dimensiones de 120x18x330cm, por superar el peso más de 100 kg, lo que no es viable utilizarlas en viviendas por ayuda mutua o autoconstrucción.

### 1.3. CONCLUSIONES

Una de las dificultades más importantes para el uso de la madera como elemento estructural en la construcción es la variabilidad que existe en cuanto a la calidad de las escuadrías que se ofertan en el mercado nacional. Este es uno de los problemas en el cual se han dado pasos importantes al aprobarse las primeras normas nacionales de clasificación de la madera, pero no es suficiente hay que avanzar hacia un código de la construcción con madera.

En cualquier caso, resulta claro que un factor fundamental para producir las losetas es la formación previa de los carpinteros y técnicos de los IAT en la selección y uso de la madera; que los equipos técnicos tomen consciencia para dar tiempo a esa formación; asimismo esto coloca a FUCVAM y a las instituciones, sobre todo a los institutos de asistencia técnica (IAT), a quienes se contrata expresamente para esa tarea, ante un desafío de gran responsabilidad para obtener resultados adecuados en el uso de las losetas.

Es claro, asimismo, que el IAT debe estar convencido de usar la tecnología de la construcción en madera para que gestione y comprometa a impulsar su uso.

Finalmente un logro muy importante fue la definición del modelo de cálculo teórico de las losetas nervadas, elemento estructural del cual no existen antecedentes nacionales y tampoco a nivel del Mercosur. Fue decisivo el asesoramiento del Ing. Mario Wagner para el ajuste final del modelo de cálculo.

### AGRADECIMIENTOS

Un reconocimiento a Matilde Pomi, Jessica Mesone, Nicolás Rey y Emiliano Monné, por su entusiasta colaboración en la clasificación visual de la madera, fabricación y ensayos de las losetas, también al personal del laboratorio del Instituto de la Construcción. Por último un especial agradecimiento al Arq. Carlos Meyer que nos dio el impulso inicial para que nos especializáramos en la construcción en madera. Este trabajo está dedicado a él.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Libros:

Saldadori, M.G. and Baron, M.L. (1961). Numerical Methods in Engineering. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA.

Argüelles, Ramón; arriaga, Francisco. Estructuras de Madera. Bases de Cálculo. 2ª edición. Madrid. AITIM, 2013, 570 p.

Revistas:

Tectónica Madera (I). (2000). N° 11, Madrid, ATC Ediciones S.L., 1995, 2016. Monografías de arquitectura, tecnología y construcción ISSN 1136-0062



Tectónica Madera (II). (2001). N° 13, Madrid, ATC Ediciones S.L., 1995, 2016. Monografías de arquitectura, tecnología y construcción ISSN 1136-0062

Códigos Normativos:

ASTM 72 (2015). Standard Test Methods of Conducting Strength Tests of Panels for Building Construction 1. ASTM International.

AENOR. (2006). Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera Parte 1-1 Reglas generales y reglas para la edificación. UNE 2006-1-1: Madrid.

AENOR. (2011). Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de coníferas. UNE-56544: Madrid.

AENOR (2009).. Estructuras de Madera. Métodos de ensayo. Uniones estructurales con clavos, tornillos, clavijas y pernos. UNE-EN 1380: Madrid.

AENOR (2007). Tableros de virutas orientadas (OSB). Definiciones, clasificación y especificaciones. UNE-EN 300: Madrid.

CIRSOC (2016). Reglamento argentino de estructuras de madera. CIRSOC 601. Buenos Aires.

INN (2014) Madera - Construcciones en madera – Cálculo. NCh 1198: Santiago de Chile.

UNIT. (2017) Madera aserrada de uso estructural - Clasificación visual madera de pino taeda y pino elliotti. UNIT 1261: Montevideo.

UNIT. (2018) Madera aserrada de uso estructural - Clasificación visual madera de eucaliptus grandis. UNIT 1262: Montevideo.

UNIT (2010). Madera. Determinación de las propiedades mecánicas a través de ensayos de flexión estática. UNIT 119: Montevideo.

UNIT (2007) Contenido de humedad de la madera. Estimación por el método de resistencia eléctrica. UNIT 223: Parte 2 Montevideo.

UNIT (2007). Determinación de la densidad aparente en maderas. UNIT 237: Montevideo.