

# **MADERA MACIZA: UNA NUEVA ALTERNATIVA PARA CONSTRUIR EN EL URUGUAY**

**MATERIA: CONSTRUCCIÓN EN MADERA**

**ALUMNOS: DIEGO CAMMARDELLA - DANIELA LÓPEZ**

**TUTORES: MARÍA CALONE / ALICIA PICCION (EN CONFORT TÉRMICO)**

## **INDICE**

### **1-Introducción**

1.1-La madera en el Uruguay

### **2-Elección del tema**

2.1-Alcance del trabajo

2.2-Objetivo

### **3-Agentes degradantes**

3.1-Factores abióticos

3.2-Factores bióticos

### **4-Proteccion preventiva de la Madera**

4.1-Tipos de Productos Protectores

### **5-Sistema de madera maciza**

5.1-Sistema de paneles de tablas clavadas

5.1.1-Generalidades

5.1.2-Como se compone el panel/Forma de unión

### **6-Comportamiento térmico del panel de tablas clavadas**

6.1-Generalidades

6.2-El fenómeno de condensación

6.3-Estudio de la aislación térmica y condensación

6.4-Comparación entre los resultados

### **7-Ensayo a compresión del panel de madera maciza**

7.1-Armado del panel

7.2-Uniones de tablas

7.3-Materiales y Protecciones

7.4-Ensayo en el pórtico de carga del Instituto de Construcción

7.5-Planilla de control y resistencia

### **8-Conclusiones**

### **9-Bibliografía**

### **10-Anexos**

## **1-INTRODUCCIÓN**

### **1.1-LA MADERA EN URUGUAY**

Todos sabemos que la madera es el recurso natural más antiguo y que el hombre lo ha ido renovando a través de los tiempos. Durante miles de años se ha construido en madera, viviendas, iglesias, coliseos, fortificaciones, teatros y puentes.

“...En el Uruguay con anterioridad los suelos nunca han sido Forestados, sino que fueron formados originalmente como un ecosistema de praderas, siendo los bosques nativos de acuerdo a los cursos de agua con un tipo de vegetación y madera que no resultaba buena para la construcción ni comercialización, solo se usaba para fines energéticos. Pero con posterioridad se introdujo en el Uruguay, especies exóticas: Pino y Eucalipto.

Durante muchos años la madera nacional se utilizaba esporádicamente, no como material de calidad para la construcción, pero hace aprox. 40años Uruguay comienza a disponer de equipos y sistemas para realizar la impregnación de madera por medio de CCA (óxidos de cromo-cobre-arsénico). A partir de ahí, dicha madera nacional, comienza a considerarse de interés tanto para uso en la vivienda como para la construcción de otros elementos urbanos, con buena duración a la intemperie. Uno de los problemas del uso de la madera para los sistemas constructivos es el deterioro por causa de agentes destructivos.

“....con la Segunda Ley de Desarrollo Forestal (ley n°15939 del 1987) el Uruguay se encamina a encarar un desarrollo del sector forestal, dando sus frutos con abundante madera de buena calidad. Si bien se considera que la ley Forestal trato de promover fundamentalmente la madera de uso en la industria de la celulosa y el papel, amparo y dio crédito para las plantaciones de eucaliptos, pinos y álamos que también resultaba buenos para la construcción de viviendas y muebles.

Si bien al comienzo iba a ser la producción para la celulosa la situación del mercado ha cambiado y muchos productores de pinos y eucaliptos grandis, han intervenido en sus montes para lograr madera de calidad para uso como madera aserrada en la construcción de vivienda.

Esta Ley encargó a la “Dirección General Forestal del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca” (MGAP) la formulación y ejecución de la política forestal.”<sup>1</sup>

Actualmente nos encontramos en una situación en la cual el desarrollo del mercado maderero en nuestro país brinda un potencial inédito para la materia en estudio, posicionándola en un nivel en el mercado constructivo del cual fue relegada a lo largo de la historia nacional.

---

<sup>1</sup> /Extraído de: <http://www.edificar.net/files/suplementos/separata21.pdf>  
/Extraído de: “Segunda Ley de Desarrollo Forestal” ley n°15939 (MGAP)  
<http://www.parlamento.gub.uy/leyes/AccesoTextoLey.asp?Ley=15939&Anchor=>

## **2-ELECCIÓN DEL TEMA**

### **2.1-ALCANCE DEL TRABAJO**

El trabajo tiene como tema principal “sistema de madera maciza clavada”, que si bien este sistema constructivo no es nuevo, en Uruguay no se ha desarrollado hasta la actualidad, solo existe un desarrollo parcial en Chile, Europa.

La construcción en madera fue avanzando en busca de propuestas estéticas y espaciales a partir de los avances tecnológicos que permiten modificar las soluciones formales y estructurales tradicionales. Hay un crecimiento por la construcción en “madera Maciza”, estos sistemas de construcción se utilizan mediante la unión de tablas clavadas, atornillado o encolado. Esta estructura tiene mucho de nuevo pero también con su vieja y eficiente capacidad portante.

El tema de nuestra investigación son “aspectos técnicos constructivos”: comportamiento térmico y resistencia estructural de los paneles de madera clavada.

Estudiaremos el sistema de madera clavada, se evaluará su comportamiento a través del estudio higrotérmico y a la compresión para lo cual se realiza el ensayo de un panel en el pórtico de carga del Instituto de la Construcción, donde obtendremos todos los insumos necesarios para corroborar su aplicación en el Uruguay.

### **2.2-OBJETIVO**

El objetivo de la “tesina” es evaluar la eficacia del sistema de madera maciza clavada, como una nueva solución constructiva en el Uruguay, estudiando cómo se compone el sistema de madera maciza clavada, evaluando también, como es el comportamiento de los paneles.

La idea fundamental es poder desarrollar este sistema constructivo analizando sus ventajas y desventajas frente a los distintos aspectos constructivos y agentes destructivos de la madera. Este sistema, como se mencionó anteriormente, no se ha implementado en

el Uruguay hasta el momento, pero si sería una nueva e interesante opción constructiva en nuestro país.

### 3- AGENTES DEGRADANTES <sup>2</sup>

Entre los agentes destructores de la madera podemos distinguir principalmente dos tipos (ver Figura 1):

-Agentes no vivos o abióticos: Son causas inorgánicas que degradan la madera. Agentes atmosféricos (radiación solar, lluvia, fuego, humedad), mecánicos y químicos.

- Agentes vivos o bióticos: Insectos, hongos, moho y otras formas vivas.

Los agentes abióticos actúan directamente causando daños leves, exceptuando la exposición a un fuego prolongado. Sin embargo ejercen una acción previa que facilita la actuación de los agentes bióticos (hongos e insectos).



Gráfico 1: Los agentes degradantes abióticos/ Biótico [Fuente: elaboración propia]

La degradación de la madera se puede deber a diferentes causas y es importante saber en cada caso, el principal agente causante de dicha degradación, lo que permitirá elegir el modo de proteger la madera.

<sup>2</sup> / FRITZ DURÁN, Alexander. (2005). "Manual de construcción de viviendas en madera". Corp. Chilena de la Madera, <http://www.biblioteca.org.ar/libros/210283.pdf>.

“Los mohos, hongos e insectos se denominan agentes xilófagos, ya que se alimentan de los compuestos de la madera, causando su degradación.

Las maderas varían considerablemente en su resistencia a la pudrición: Algunas maderas cuentan con componentes que representan un rechazo natural para los insectos xilófagos, sin embargo, la mayoría de ellas en su estado natural tienden a sufrir ataques y ser progresivamente destruidas por dichos agentes.

En general estos ataques son propiciados por las condiciones de humedad en que se encuentre la madera, comenzando con ataques de hongos en lugares con un contenido de humedad elevado donde el material permanece por largo tiempo.

Es importante entonces prever que la madera puesta en servicio esté y permanezca seca y ventilada. A su vez las maderas duras, por tener una densidad mayor que las blandas, tienden a presentar una mayor resistencia a dichos ataques. Ello no quiere decir que sean inatacables, existiendo múltiples ejemplos de ello.



### 3.1-FACTORES ABIÓTICOS<sup>3</sup>

#### ▪ **Humedad atmosférica y lluvia**

La humedad atmosférica produce deterioro por los repetidos cambios de dimensiones que se producen en las capas superficiales de las piezas que se encuentran a la intemperie.

Cabe recordar que la madera es una sustancia higroscópica, influida por los cambios de las condiciones de humedad atmosférica, produciéndose absorción de agua en las superficies que quedan expuestas, hinchándose con clima húmedo y lluvioso y contrayéndose en los períodos de sequía.

Se puede concluir que el daño esperado se concentra en las capas externas de la madera, ya que se producen tensiones alternas de compresión y dilatación que se traducen en una desintegración mecánica de las capas superficiales.

En todo caso, la penetración de agua por las razones expuestas es relativamente lenta y no se producen cambios en el contenido de humedad o en el volumen de la pieza, siempre que no haya una condición especial, en que el estado de humedad o sequedad se exceda de lo normal.

#### • **Degradación por la luz**

El espectro ultravioleta de la luz descompone la celulosa de la madera produciendo su degradación.

La acción de la luz es lenta y a medida que transcurre el tiempo la degradación no aumenta, dado que los primeros milímetros afectados sirven de protección al resto.

Así, los efectos de la luz se hacen visibles entre el primer y el séptimo año y la madera cambia de color, oscureciéndose o aclarándose, según el grado de exposición en que se encuentre. La degradación afecta los primeros milímetros de la madera, con mayor intensidad las zonas de primavera que las de otoño y más la albura que el duramen.

El espectro infrarrojo afecta en la medida que calienta la madera, aumentando su incidencia cuanto mayor sea su exposición al sol y más oscura sea. Este calor puede producir secado y con

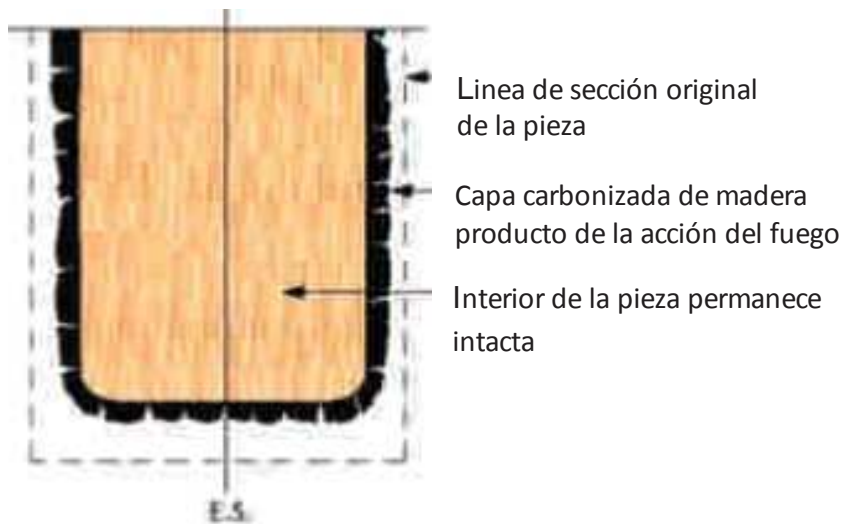
---

<sup>3</sup> / FRITZ DURÁN, Alexander. (2005). "Manual de construcción de viviendas en madera". Corp. Chilena de la Madera, <http://www.biblioteca.org.ar/libros/210283.pdf>.

ello merma de la madera, y por ende, agrietamientos en dirección de las vetas por las cuales penetra la humedad, favoreciendo la invasión de los hongos xilófagos.

- **Fuego**

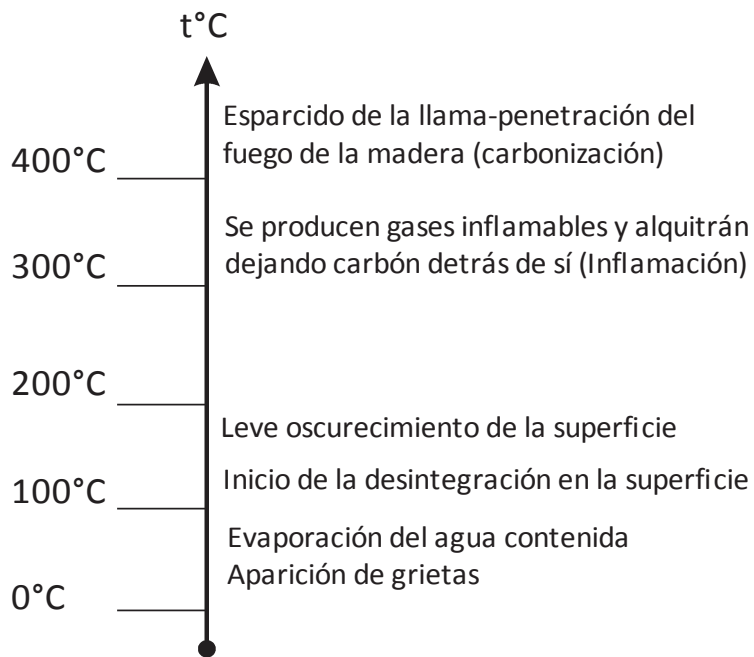
1. Es uno de los agentes destructores que ningún material puede tolerar indefinidamente sin presentar algún deterioro.
2. La reacción al fuego de las maderas depende de:
  - Espesor de la pieza de madera
  - Contenido de agua de la madera
  - Densidad de la madera (especie)



*Gráfico 2: La capa de carbón producto de la acción del fuego actúa como protector. [Fuente: manual de construcción de casas de madera, página web, <http://www.biblioteca.org.ar/libros/210283.pdf>]*

La temperatura de la madera en el curso de su combustión está comprendida entre los 400°C y 500°C aproximadamente.

Esta temperatura es la mínima necesaria para continuar la combustión, por supuesto si existe suficiente oxígeno. (Ver Gráfico 1 adjunto presenta el proceso de la degradación de la madera)



*Gráfico 3-Comportamiento de la madera frente a la acción del fuego.*

[Fuente: Manual de construcción en madera, página web,  
<http://www.biblioteca.org.ar/libros/210283.pdf>]

### 3.2-FACTORES BIÓTICOS<sup>4</sup>

Dentro de los hongos xilófagos pueden diferenciarse dos grandes grupos: en el primero encontramos los mohos y los hongos cromógenos y en el segundo los hongos de pudrición.”

#### HONGOS XILOFAGOS

- **Hongos cromógenos:**

“Se caracterizan por alimentarse de las sustancias de reserva depositadas en las células de la albura. El efecto importante que producen es un cambio de coloración, en el pino la madera toma un color azulado, pero no afecta a su resistencia, dado que no altera la pared celular, es signo de que la madera ha estado expuesta a condiciones favorables para el desarrollo de hongos de pudrición, y si bien todavía no es visible su ataque, probablemente puede que éste se haya producido en alguna medida” (Ver figura 1)

- **Los mohos :**

“Se alimentan de las materias almacenadas en el interior de las células de la madera (lumen). No alteran las propiedades mecánicas de la madera, pero crean las condiciones necesarias para el desarrollo de los hongos de pudrición. El moho se detecta cuando se forman esporas en la superficie de la madera (color oscuro) o cuando en la superficie se forma una especie de pelusa” (Ver figura 2)



Figuras 1: Hongos cromógenos



Figuras 2: Mohos, esporas de color oscuro en la superficie

[Fuente: Manual de construcción en madera, página web, <http://www.biblioteca.org.ar/libros/210283.pdf>]

---

<sup>4</sup> / FRITZ DURÁN, Alexander. (2005). "Manual de construcción de viviendas en madera". Corp. Chilena de la Madera, <http://www.biblioteca.org.ar/libros/210283.pdf>.

- **Los hongos de pudrición:**

En este caso los hongos se alimentan de la pared celular, causando una severa pérdida de resistencia, impidiendo cualquier tipo de aplicación, ya que la madera puede desintegrarse por la simple presión de los dedos.

En un ataque de pudrición se suelen desarrollar muchos tipos de hongos, cada uno de los cuales actúa en un determinado intervalo de degradación, dependiendo si el hongo se alimentó de la lignina o de la celulosa.

Su efecto es la pérdida de densidad y resistencia acompañadas de un cambio de coloración. En las etapas iniciales no es fácil reconocerlo ya que las hifas permanecen ocultas en su interior. Según va desarrollándose la pudrición se va acentuando el cambio de color y la madera comienza a perder peso.

En la fase final del proceso se llega a la destrucción total de la estructura de la madera con una pérdida completa de sus propiedades mecánicas.



*Figura 3 -Hongos de Pudrición*



*Figura 4 -Hongos de Pudrición*

[Fuente: Manual de construcción en madera, página web, <http://www.biblioteca.org.ar/libros/210283.pdf>]

## INSECTOS XILOFAGOS

Existe una gran cantidad de insectos que usan la madera para reproducirse y vivir y se alimentan de la celulosa que ésta contiene. El daño se produce debido a que sus larvas, abren galerías en la madera para obtener alimento y protección.

Dentro de estos insectos figuran los siguientes:

- **Coleópteros:**

Los insectos de ciclo larvario pertenecen a la familia de los coleópteros. Su característica común es que se alimentan de la madera durante su etapa de larva. El ciclo biológico comienza cuando las hembras ponen huevos en la madera dentro de las fendas, ranuras u orificios de la superficie. De estos nuevos huevos nacen pequeñas larvas que comienzan a alimentarse de la madera realizando galerías que disminuyen la capacidad resistente de la pieza. Las larvas permanecen en el interior de la madera un periodo muy variable en función de la especie que puede ir desde unos meses hasta más de diez años y es durante esta fase cuando producen daños en las piezas de la madera.



Figura 5- Ciclo de vida del Coleóptero

*"Todos estos insectos tiene en común que se alimentan de la madera en su fase de larva".*

[Fuente: página web, <http://www.agroambiente.cl/plagas/coleoptero.php>]

- **Termitas:**

“Las termitas son insectos del orden Isoptera que viven bajo una organización social avanzada. Constituyen una agrupación de individuos en la que los distintos tipos o castas, incapaces de vivir solitariamente, desempeñan diferentes cargos o funciones en el

desarrollo de la colonia. El ciclo de vida de una colonia empieza con el vuelo, en forma de enjambre, de los individuos sexuados, que en ciertos días del año (durante la primavera) salen en gran cantidad del antiguo nido. Los individuos que constituyen una pareja buscan un lugar apropiado para el futuro nido, abriendo una cavidad (cámara nupcial) en la que realizan la copulación. Los huevos que pone la hembra, futura reina, se convierten en ninfas que según las necesidades de cada momento pueden dar lugar a castas o individuos morfológicamente distintos:

- Individuos sexuados: entre los que se distinguen las parejas reproductoras, tanto la pareja real fundadora como las secundarias (individuos neoténicos). La existencia de estos individuos explica que las colonias puedan alcanzar una población importante en corto tiempo.

- Soldados: individuos con mandíbulas grandes, también hay formas especiales que están armadas con una glándula que produce una secreción pegajosa. Su misión es la defensa de la colonia.

- Obreros: generalmente de forma poco especializada. Su misión es realizar todos los trabajos de la comunidad: buscar alimento, alimentar a los demás individuos de la colonia, cuidar a la pareja real y construir, reparar y limpiar el nido. Estos insectos son los causantes de los daños a la madera, son ciegos, por lo que rehuyen la luz”.



Figura 6- Termitas



Figura 7- termitas subterráneas

[Fuente: Manual de construcción en madera, página web, <http://www.biblioteca.org.ar/libros/210283.pdf>]

## **4-PROTECCIÓN PREVENTIVA DE LA MADERA**<sup>5</sup>

En el tratamiento de la madera se deben definir los requerimientos de durabilidad que son necesarios, o sea, si la madera elegida tiene la capacidad para resistir el ataque de los diferentes agentes de destrucción, una vez puesta en servicio sin ningún tratamiento preservador.

Sólo en caso de que no se puedan utilizar las especies adecuadas a la durabilidad exigida, se debe realizar el tratamiento que corresponda. Recordemos que desde siempre la madera en la arquitectura ha sido considerada como un material importante, no tan sólo en componentes de terminación, sino que también como elemento estructural. Desde este punto de vista, la protección de la madera frente a agentes destructores adquiere vital relevancia al momento del diseño arquitectónico, especialmente si se tiene en cuenta que la especie que hoy se utiliza en forma mayoritaria en nuestro país es el Pino.

### **4.1-TIPOS DE PRODUCTOS PROTECTORES**

Los productos protectores se clasifican según los siguientes aspectos:

- **Insecticidas:** protegen frente a la acción de los insectos xilófagos, destacan el tipo Piretrinas o Clorpirifos.
- **Fungicidas:** protegen frente a la acción de hongos xilófagos. Si es pudrición se emplean productos con contenidos de cromo, cobre y arsénico, el cromo como fijador, el cobre como fungicida, el arsénico insecticida (CCA)
- **Ignífugos o retardadores de fuego:** protegen frente a la acción del fuego convirtiendo a la madera desde un material combustible, a uno difícilmente combustible. En este grupo se distinguen los que impiden que llegue oxígeno a la madera durante algunos minutos y los que basan su acción ignífuga en que reaccionan con el calor, emitiendo sustancias que acaparan el oxígeno del aire, impidiendo que la madera se quemara.
- **Protectores de la luz:** Pinturas con pigmentos metálicos que sellan la veta de la madera. Se mantiene la veta, oscureciéndola en algún grado.

---

<sup>5</sup> / FRITZ DURÁN, Alexander. (2005). "Manual de construcción de viviendas en madera". Corp. Chilena de la Madera, <http://www.biblioteca.org.ar/libros/210283.pdf>.



## 5-SISTEMA DE MADERA MACIZA<sup>6</sup>

La construcción con madera Maciza se basa en la unión de piezas individuales rollos, tablonos o placas para obtener paneles macizos para muros y entrepisos. La madera maciza tiene en si una buena aislación térmica y si se requiere por razones climáticas, se puede complementar con revestimiento.

Dentro de la construcción de muros macizos, existen varios sistemas, dentro de estos se encuentran:

**1-ROLLIZOS:** Constituido por rollizos colocados horizontalmente y unidos a media madera en esquinas. Se caracteriza debido a que el sistema se arma únicamente por las uniones de esquinas. Actualmente el sistema ha evolucionado remplazándose los rollizos por piezas aserradas u machimbradas en el sentido longitudinal.

**2-TABLAS CLAVADAS:** Las tablas son clavadas entre si cara con cara conformando el panel.

**3-LAMINADOS :** Las tablas son colocadas cara con cara y unidas por medio de adhesivos constituyendo paneles que pueden tener diversas dimensiones tanto en el ancho como en el alto, dependen del equipamiento y espacio disponible en la industria, al emplear tablas con uniones dentadas se pueden confeccionar placas de grandes dimensiones.

**4-TABLAS ATARUGADAS:** Las tablas son colocadas cara a cara y se introduce un tarugo de madera, cada 40cm como forma de unión. Tiene gran resistencia estructural y es 100% de madera.

---

<sup>6</sup> [Fuente: Ricardo Hempel. (2008). "Sistema Constructivo de Madera Solida" . Chile : Universidad del BIO BIO.]

## 5.1-SISTEMA DE PANELES DE TABLAS CLAVADAS

### 5.1.1-GENERALIDADES

“Como hemos visto anteriormente este sistema constructivo no es nuevo, en Uruguay no se ha desarrollado hasta la actualidad, solo existe un desarrollo parcial en Chile, Europa.

Este sistema se conforma con la unión de tablas clavadas entre si cara con cara. Estos paneles según el ancho de la tabla pueden ser utilizados como muros o como losa para entepiso o cubierta.

Para su construcción se utiliza generalmente madera de pino u otra especie de fácil acceso y de bajo costo en el mercado.

Estos paneles en base a tablas clavadas tienen una serie de ventajas:

1. Son de elaboración fácil y económica
2. Pueden ser armados en taller, sin importar las condiciones climáticas del lugar.
3. Se pueden usar maderas sin clasificar
4. Las herramientas utilizadas para su conformación son de fácil acceso por lo que se puede afirmar que con un martillo neumático y cinta métrica es suficiente
5. También los equipos de seguridad que se requieren son de fácil adquisición: lentes para la protección de la vista ya que a veces el uso del martillo neumático al trabajar a presión puede provocar que la cabeza de algunos clavos se desprendan y esto cause una lesión que debemos evitar y guantes para la protección de las manos. (Ver Figura 12)



*Figura 11-Fabricación manual de paneles*

*Figura 12-Colocación del primer panel*

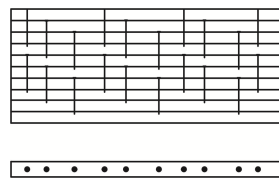
[Fuente Ricardo Hempel. (2008). "Sistema Constructivo de Madera Solida" . Chile : Universidad del BIO BIO.]

### 5.1.2-COMO SE COMPONE EL PANEL/ FORMA DE UNIÓN

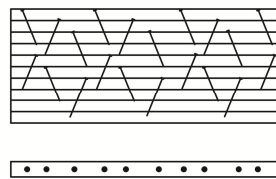
“Como medio de unión de las tablas se emplean generalmente clavos lisos de alambre y se clavan perpendiculares a la tabla, con martillo neumático. También se puede hacer en ángulo lo que permite absorber pequeños esfuerzos perpendiculares a las uniones entre tablas. El clavado debe abarcar dos tablas e ir traslapado de tablas en tabla”. (Ver Figura 13)

“El espesor de los clavos es definido por el esfuerzo de cizalle entre las tablas. Es preciso tener en cuenta que los clavos están expuestos a esfuerzos de cizalle debido a la carga vertical y posible carga horizontales como también a la extracción como efecto de la deformación de las placas.”

#### Posibles esquemas de clavados



Clavado normal



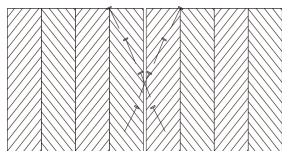
Clavado en ángulo

*Grafico 13-Posibles esquemas de clavado [Fuente: Ricardo Hempel. (2008). "Sistema Constructivo de Madera Solida" . Chile : Universidad del BIO BIO.]*

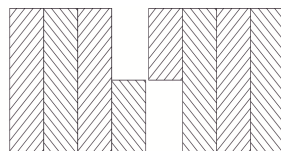
- **Unión de paneles**

Una vez armados los paneles, estos se pueden unir de diferentes formas: por medio de clavos, lengüetas, conexión trabada, pasadores o cajas espigas, como se indica en la fig.

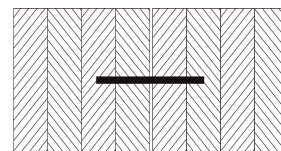
14



Unión Clavos diagonales



Unión Trabada



Unión Clavos horizontales

*Figura 14- Tipo de unión [Fuente: Ricardo Hempel. (2008). "Sistema Constructivo de Madera Solida" . Chile : Universidad del BIO BIO*

Las paneles normalmente se rematan en los bordes inferiores y superiores con soleras horizontales que tienen por finalidad evitar deformaciones durante el transporte y la instalación de ellos.

- **Solera de amarre**

Una vez colocados los paneles se coloca la solera de amarre la cual permite una mayor rigidez a la estructura distribuyendo las cargas. (Ver Figura 15)



*Figura 15- Tipo de unión [Fuente: Ricardo Hempel. (2008). "Sistema Constructivo de Madera Solida". Chile : Universidad del BIO BIO.]*

- **Precauciones a la hora de construir la vivienda**

Todas las instalaciones eléctricas agua u otras deben ser previstas de antemano, debido a que no es posible realizarlas con posterioridad a raíz de la presencia de los clavo.

En Figura 16 se puede observar la creación de un pase en el panel de madera para la instalación eléctrica. Esto se debe de tener en cuenta antes de ser colocado el panel para evitar futuros problemas.



*Figura 16-Foto de las instalaciones [Fuente: Ricardo Hempel. (2008). "Sistema Constructivo de Madera Solida". Chile : Universidad del BIO BIO.]*

Esto no solo se debe de tener en cuenta en la instalación eléctrica sino también en los otros acondicionamientos que sean requeridos en el proyecto.

Los ductos para la distribución vertical de las instalaciones de agua, luz y calefacción deben ser diseñados durante el proceso de desarrollo del proyecto.

La distribución horizontal, a partir de los ductos verticales debe realizarse por el exterior en el caso de los paneles exteriores y en el caso de los paneles interiores se pueden llevar por rebajes previamente diseñados o por debajo del revestimiento interior, por el piso o por el zócalo.

Es importante tener en cuenta todos estos posibles pases a la hora de construcción para evitar posibles problemas posteriores en la obra. De esta forma nos aseguramos una buena construcción y un buen funcionamiento en la vivienda a la hora de ser habitada.



*Figura 17- Uniones de paneles y montaje de planta baja sobre solera inferior  
[Fuente: Ricardo Hempel. (2008). "Sistema Constructivo de Madera Solida" . Chile : Universidad del  
BIO BIO.]*

En este sistema constructivo es posible dejar el muro o el entrepiso visto. Pero en el caso de los muros exteriores debido a las posibles separaciones entre tablas, es necesario colocar una barrera contra el paso del viento y aire para lograr una buena aislación térmica y un revestimiento exterior.

## **6-COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL PANEL DE TABLAS CLAVADAS**

### **6.1-GENERALIDADES**

Actualmente es más importante el buen aislamiento de una construcción, se ha avanzado en diferentes tipos de materiales y sistemas nuevos que se desarrollan para mejorar las prestaciones térmicas en una vivienda, ejemplo claro de esto es el desarrollo que han tenido en países desarrollados las aberturas y los vidrios con cada vez mejor nivel de aislamiento. Sin embargo el aislamiento térmico es algo más que una cuestión de economía, un buen aislamiento influye directamente en el confort térmico de la vivienda.

Se puede decir que existe confort térmico cuando las personas no experimentan sensación de calor ni de frío; es decir, cuando las condiciones de temperatura, humedad y movimientos del aire son favorables a la actividad que desarrollan. De esta forma, el confort térmico depende del calor producido por el cuerpo y de los intercambios entre éste y el medio que le rodea.

El comportamiento térmico se debe prever desde el inicio: diseño y orientación de la vivienda, tamaño y calidad de las aberturas, porcentaje de llenos y vacíos, así como también la impermeabilidad al aire y al agua de la envolvente.

En una vivienda en madera para garantizar un buen nivel de estanqueidad al aire de la envolvente es necesario el empleo de la barrera de vapor por el interior para reducir la fuga del calor, y la membrana impermeable al agua y al aire por el exterior para reducir la entrada de aire frío.

Una ventilación controlada es el complemento lógico al desempeño térmico de los muros exteriores.

## 6.2- EL FENÓMENO DE CONDENSACIÓN

Los cerramientos livianos son más susceptibles a sufrir filtraciones de aire a través de sus capas que hacen perder efectividad al aislamiento térmico y favorecen la migración de vapor de agua. Es especialmente importante para estos cerramientos controlar la estanquidad del aire en la zona de aislamiento ya que las filtraciones de aire contribuyen a que se incremente el problema de condensaciones.

El fenómeno de condensación se produce cuando el vapor de agua contenido en el aire cambia de fase y se condensa pasando de estado gaseoso al estado líquido.

Temperatura de rocío: Como podemos observar en el gráfico 17 se puede apreciar el punto y la temperatura de rocío, este punto es el límite para evitar condensaciones en el muro. Por lo tanto si en algún muro exterior de la vivienda existen capas cuya temperatura superficial es menor que la temperatura de rocío el vapor de agua del aire en contacto con esa superficie va a condensar pasando a estado líquido. Si esto ocurriese en algún cerramiento vamos a tener un problema ya que es una patología que no podemos permitir que pase, es por esto que debemos tener mucha precaución a la hora de diseñar un cerramiento tanto vertical como horizontal.

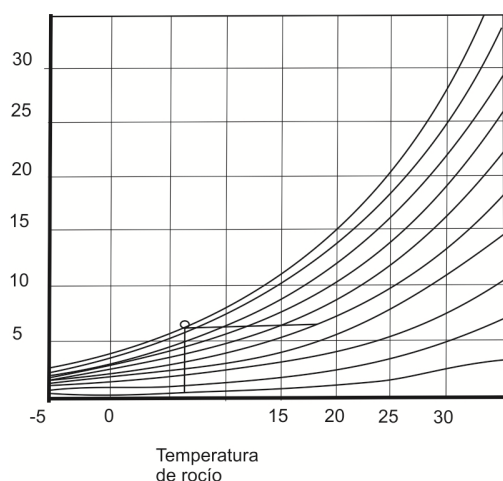


Figura 17-Gráfica de la temperatura de rocío [Fuente: Extraído de la cátedra de Térmico]



### **Causas determinantes de la condensación:**

A- Alta producción de vapor de agua

B- Bajas temperaturas del ambiente

C- Tasa de ventilación insuficiente

D- Cerramientos con aislamiento térmico insuficiente

Si la envolvente no cuenta con aislamiento térmico suficiente, corre el riesgo de que la temperatura de la superficie interior este por debajo de la temperatura de rocío, produciéndose así condensaciones superficiales.

La condensación intersticial depende no solo del valor de  $U$  ( $W/m^2K$ ) (Que representa al aislante térmico) sino que también al tipo y orden de las capas.

**Impermeabilidad al paso del aire:** Los paneles de tablas clavadas dejan pasar el aire en las uniones entre las tablas, por lo que se hace necesario la colocación de membranas que colaboren en la aislación al paso del aire.

Estas membranas deben ser selladas adecuadamente y debe evitarse su perforación al colocar las instalaciones.

Los materiales aislantes que no son herméticos al paso del viento, deben ser recubiertos con membranas impermeables al aire.

**Membrana impermeable para evitar el paso del aire:** En la imagen 18 se observa una construcción de varios niveles construida con paneles de madera maciza revestida en todo su perímetro con la membrana impermeable al agua y aire y permeable al vapor de agua.



*Figura 18-Colocacion del Tyvek [Fuente: Ricardo Hempel. (2008). "Sistema Constructivo de Madera Solida" . Chile : Universidad del BIO BIO.]*

### 6.3-ESTUDIO DE LA AISLACION TÉRMICA Y CONDENSACIÓN

Se realiza el estudio con el programa "EVALUACIÓN HIGROTÉRMICA DE CERRAMIENTOS OPACOS" (EHCO) de un panel de madera maciza sin revestimientos, y del mismo panel con revestimientos en el exterior y en el interior, es decir el cerramiento conformado con todas sus capas para poder cumplir con las reglamentaciones y recomendaciones existentes en el país.

Las reglamentaciones de la Intendencia de Montevideo (IM) y de la Dirección Nacional de Vivienda (DINAVI), no consideran la masa sólo exigen un determinado valor de transmitancia térmica (U)

Reglamentaciones:

Intendencia de Montevideo ----  $U \leq 0.85 \text{ W/m}^2\text{k}$

Dirección Nacional de Vivienda, define 2 niveles

Nivel 1 ----  $U \leq 1.20 \text{ W/m}^2\text{k}$

Nivel 2 ----  $U \leq 0.85 \text{ W/m}^2\text{k}$

Recomendaciones:

El Departamento de Clima y Confort en Arquitectura (DECCA) determina la transmitancia térmica en función de la masa del cerramiento y recomienda:

DECCA --- para masa  $\geq 120 \text{ k/m}^2$  ---  $U \leq 0.85 \text{ W/m}^2\text{k}$

para masa  $\leq 120 \text{ k/m}^2$  --- en techos ---  $U \leq 0.40 \text{ W/m}^2\text{k}$

en muros ---  $U \leq 0.68 \text{ W/m}^2\text{k}$

Una vez realizados los estudios veremos las diferencias entre los dos tipos de paneles. Observaremos como va cambiando el valor de U a medida que se modifica el diseño del cerramiento, se incorporan capas con diferentes propiedades higrotérmicas y aumenta su espesor.

## Comportamiento térmico del panel de madera maciza sin revestimiento

### CÁLCULO DE CONDENSACIÓN INTERSTICIAL EN CERRAMIENTOS EXTERIORES

CELDA A COMPLETAR
DATOS
RESULTADOS

Posición del cerramiento:	Condiciones exteriores	Condiciones interiores	
VERTICAL	Te= 4 °C Hre= 90 %	Ti= 18,0 °C Hri= 80 %	Rse= 0,04 (m <sup>2</sup> K/W) Rsi= 0,13 (m <sup>2</sup> K/W)

Nº capa	Capas del cerramiento:	e (m)	ρ (kg/m <sup>3</sup> )	λ (mK/W)	Rm (m <sup>2</sup> K/W)	μ	Tcapa (°C)	Trocío (°C)
	<b>Superficie exterior</b>						4,6	2,5
1	Madera de eucalipto	0,1	565	0,15		50	14,3	14,5
2	-	0		-		0		
3	-	0		-		0		
4	-	0		-		0		
5	-	0		-		0		
6	-	0		-		0		
7	-	0		-		0		
8	-	0		-		0		
9	-	0		-		0		
	<b>Aire interior</b>						18,0	14,5

Transmitancia térmica del cerramiento  W/m<sup>2</sup>K

Masa del cerramiento  Kg/m<sup>2</sup>

Espesor del cerramiento  m

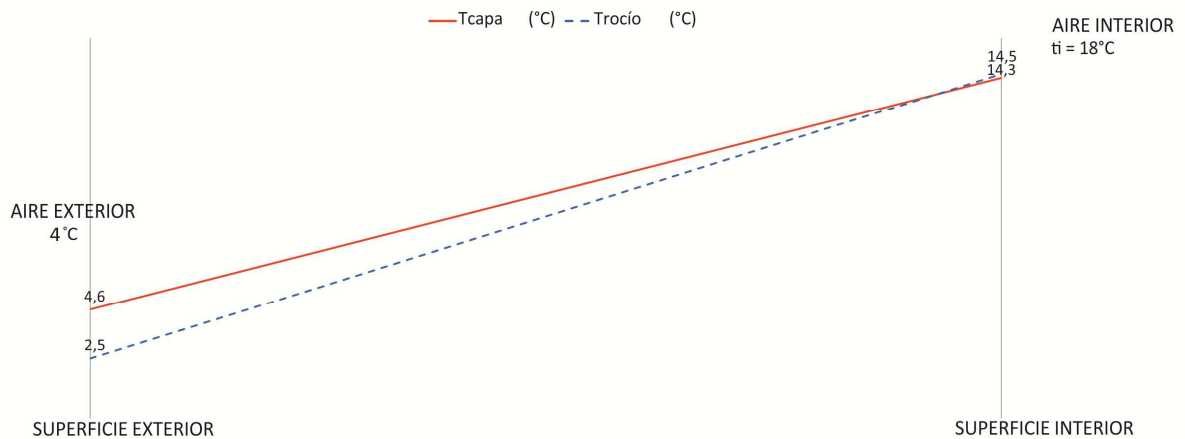


Figura 19-Estudio térmico del cerramiento sin revestir

[Fuente: EVALUACIÓN HIGROTÉRMICA DE CERRAMIENTOS OPACOS (EHCO) - INTITUTO DE LA CONSTRUCCION- FARQ ]

Estudio térmico de los cerramientos, evaluación que elaboramos con el programa "EHCO"

## Comportamiento térmico del panel de madera maciza con revestimiento

### CÁLCULO DE CONDENSACIÓN INTERSTICIAL EN CERRAMIENTOS EXTERIORES

	CELIDAS A COMPLETAR
	DATOS
	RESULTADOS

Posición del cerramiento:	Condiciones exteriores	Condiciones interiores	
VERTICAL	Te= 4 °C Hre= 90 %	Ti= 18,0 °C Hri= 80 %	Rse= 0,04 (m <sup>2</sup> K/W) Rsi= 0,13 (m <sup>2</sup> K/W)

Nº capa	Capas del cerramiento:	e (m)	ρ (kg/m <sup>3</sup> )	λ (mK/W)	Rm (m <sup>2</sup> K/W)	μ	Tcapa (°C)	Trocío (°C)
	<b>Superficie exterior</b>						4,2	2,5
1	Placa cementicia	0,012	1300	0,36		19	4,4	2,8
2	Tyvek	0,001		-		419	4,4	3,3
3	Poliestireno expandido, 30 kg/m <sup>3</sup>	0,05	30	0,032		45	12,9	5,9
4	Madera de eucalipto	0,1	565	0,15		50	16,5	10,6
5	Polietileno (0.20 mm)	0,0002		-		27000	16,5	14,5
6	Paneles o placas de yeso, 800 kg/m <sup>3</sup>	0,012	800	0,37		6	16,6	14,5
7	-	0		-		0		
8	-	0		-		0		
9	-	0		-		0		
	<b>Aire interior</b>						18,0	14,5

Transmitancia térmica del cerramiento	U= 0,41 W/m <sup>2</sup> K
Masa del cerramiento	M= 83 kg/m <sup>2</sup>
Espesor del cerramiento	e= 0,1752 m

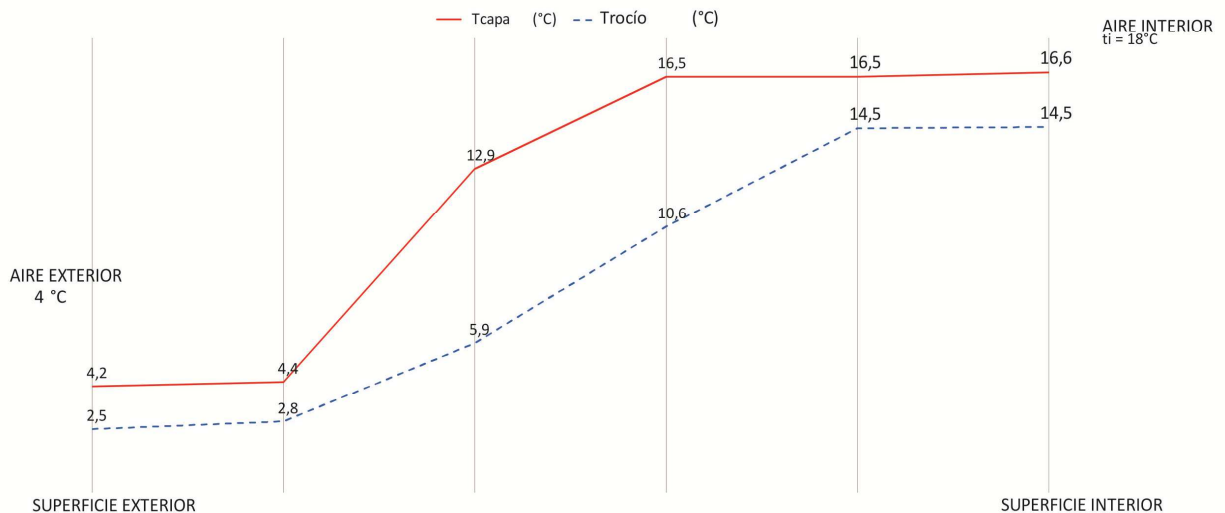


Figura 20-Estudio térmico del cerramiento sin revestir

[Fuente: EVALUACIÓN HIGROTÉRMICA DE CERRAMIENTOS OPACOS (EHCO) - INTITUTO DE LA CONSTRUCCION- FARQ ]

Estudio térmico de los cerramientos, evaluación que elaboramos con el programa "EHCO"

#### 6.4-COMPARACIONES ENTRE LOS RESULTADOS

Una vez concluida el estudio térmico del panel con y sin revestimiento podemos observar la importancia que tiene la colocación de las distintas capas en el cerramiento para lograr un correcto desempeño térmico.

Ahora pasaremos a explicar la composición de nuestro panel para su buen funcionamiento.

1. Placa cementicia: Revestimiento exterior, tiene la característica de ser un material impermeable.
2. Membrana tyvek : Tiene como función su impermeabilidad al agua y permeabilidad al vapor y evitar el paso del viento.
3. Poliestireno Expandido: Funciona como barrera térmica para así lograr una buena aislación y confort dentro de la vivienda.
4. Panel de madera de Eucalipto: Elemento estructural.
5. Polietileno: Presenta alta resistencia al paso del vapor de agua.
6. Placas de yeso: Revestimiento interior, este tiene la característica de ser un material ignífugo.

En el caso del panel de madera maciza sin revestimientos se observa según el gráfico que condensa casi llegando a la cara interior. Esto lo podemos ver ya que la línea llena (Temperatura de la capa-color roja) se ubica llegando a la cara interior por debajo de la línea punteada (azul) que en este caso estaría representando la temperatura de rocío. Este tipo de panel con  $U = 1.20 \text{ W/m}^2 \text{ k}$  no se puede utilizar bajo ningún concepto como muro exterior ya que no cumple con las exigencias de la reglamentación departamental de una transmitancia adecuada para el desempeño térmico.

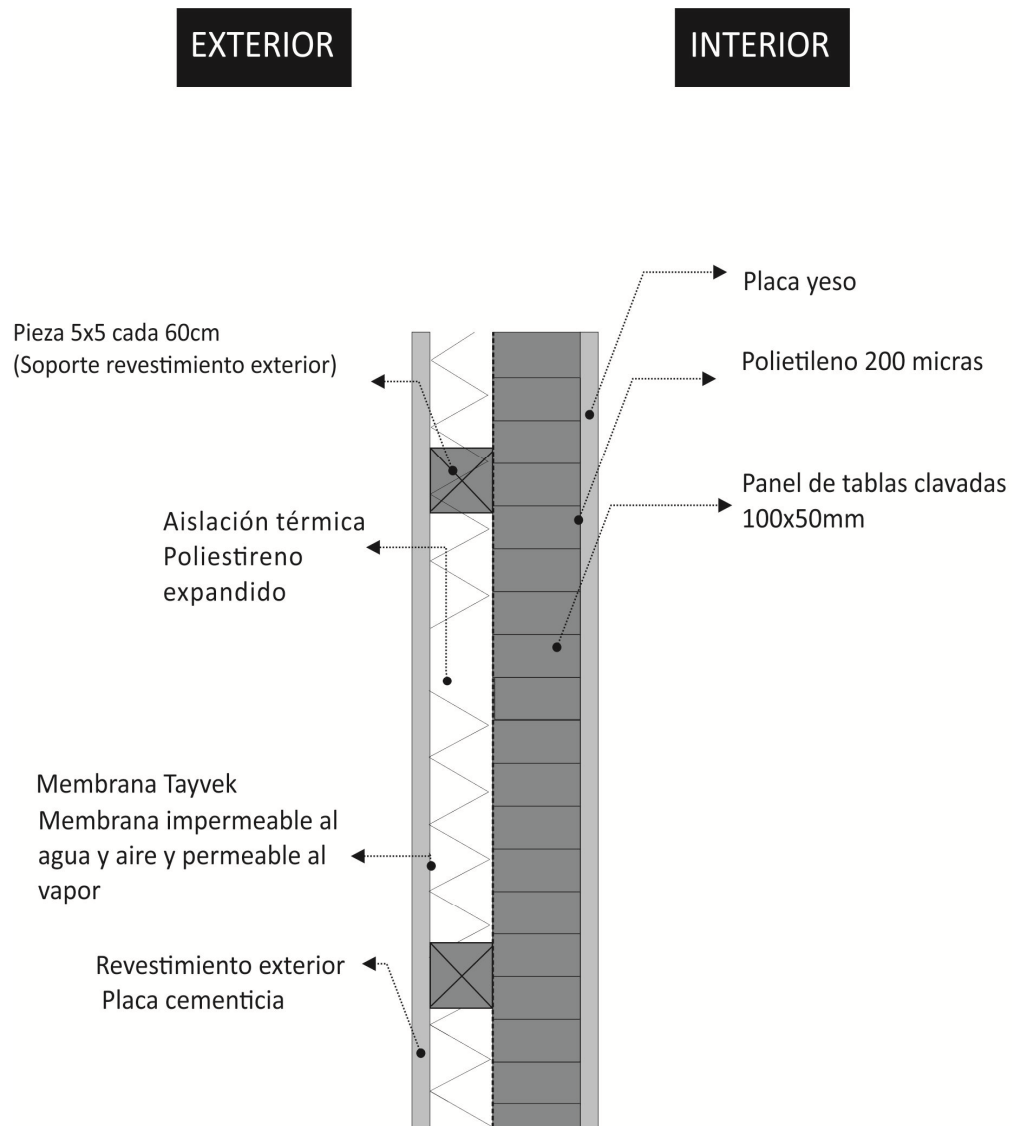
Es por esto que podemos afirmar que este panel de madera maciza queda totalmente descartado como solución de muro exterior sin la presencia de otros componentes que lo ayuden a mejorar su comportamiento térmico.

Ahora al observar el panel de madera maciza con sus diferentes capas podemos ver la gran diferencia que presenta comparado con el panel de madera macizo.

Un muro exterior de madera maciza complementado con sus respectivas capas y revestimientos presenta una gran diferencia en cuanto a espesor de muro, masa y transmitancia térmica. En cuanto a su resultado se puede observar que la línea llena de temperatura de cada capa (roja) se encuentra en todo momento por encima de la temperatura de rocío, por lo que no tendremos presencia de condensaciones en dicho cerramiento. Este tipo de cerramiento cumple con las reglamentaciones y recomendaciones nacionales.

Al colocar la capa de aislante térmico del lado exterior protegiendo el panel de madera maciza se permite que dicha capa cumpla su función de colaborar en la acumulación de calor que será luego liberado al medio interior.

## PANEL DE MADERA MACIZA CON REVESTIMIENTO



*Corte del panel de madera maciza y sus capas [Fuente: foto nuestra]*

## 7-ENSAYO A COMPRESIÓN DEL PANEL DE MADERA MACIZO

Una vez realizado el estudio sobre el desempeño higrotérmico del sistema constructivo de madera maciza pasamos a realizar la construcción del panel.

Para construir el panel se optó por la madera de eucalipto por ser el género predominante en el país y haber actualmente una preferencia de su uso en elementos estructurales.

Las dimensiones se definieron pensando en que fuera un elemento cuyo peso permitiera su traslado por 2 personas y viable de ser usado para la construcción de vivienda por el sistema de autoconstrucción o ayuda mutua.

En función de estos parámetros las dimensiones del panel fueron 235 x 60 x 10 cm que sumando la solera de amarre se llega a los 240cm, altura mínima de las habitaciones según la normativa departamental.

Para construir dicho panel se escogieron y cortaron 12 tablas de madera maciza de eucalipto de 225 x 10 x 5 cm, unidas entre sí mediante clavos de 3" de largo x 2mm de espesor.



*Grafico 25- Se observa las 12 tablas mencionadas anteriormente que unidas entre ellas se creara el panel de madera maciza. [Fuente: foto nuestra]*

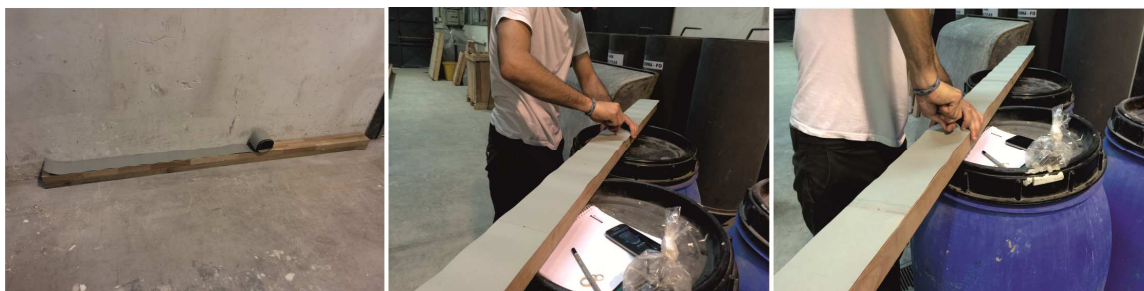


## 7.1-ARMADO DEL PANEL

Para el armado del panel fue necesario diseñar y calcular la organización de los clavos, distancias entre ellos y la cantidad necesaria.

Para la colocación de clavos se hizo necesaria la realización de un molde de las dimensiones de la tabla en el cual se marcó la ubicación exacta de los clavos con su correcta separación.

Una vez que se traspan las ubicaciones de los clavos a las tablas mediante el molde se tiene la correcta distribución de los mismos y se asegura que todos los clavos estarán adecuadamente ubicados.



*Grafico 26- Molde para trasladar las medidas de los clavos [Fuente: foto nuestra]*

En las imágenes anteriores se puede verificar y apreciar cómo fue creado el molde para trasladar correctamente la distribución de los clavos, y así asegurar una separación entre ellos que asegure su buen funcionamiento

Estos moldes fueron utilizados en todas las tablas y en ambas soleras del panel.

Una vez que tenemos todas las tablas con su correcta dimensión y marcada la ubicación de los clavos se pasa a realizar la unión y construcción del panel.

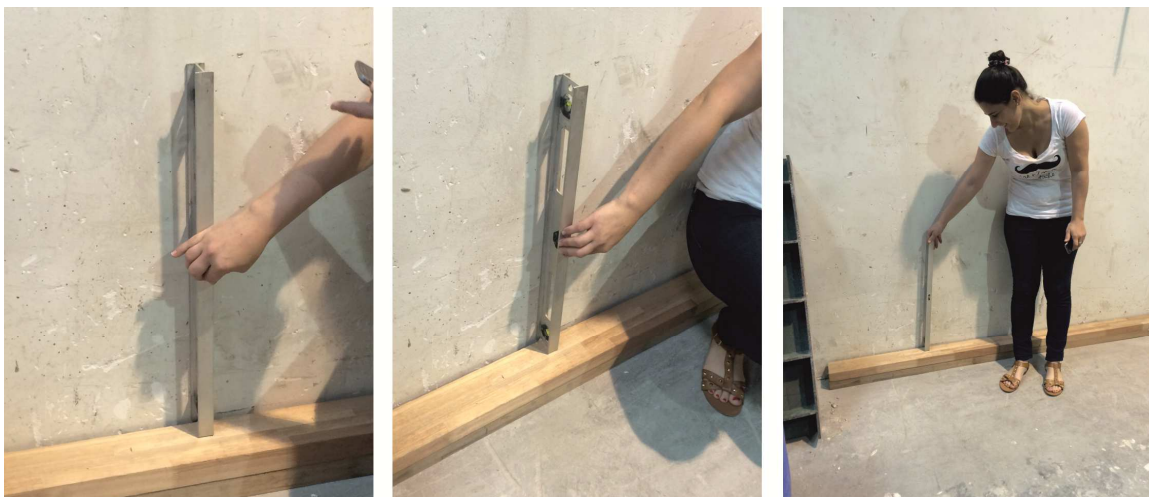
Para esto se hace necesario tomar como referencia un cerramiento vertical, para así poder asegurar un correcto armado del panel desde el punto de vista de la verticalidad.

La verificación de la verticalidad y planicidad del cerramiento se realizó mediante un nivel de burbuja.

También se dibujó una línea guía en el cerramiento para controlar que todas las tablas empiecen en el mismo lugar y evitar futuros problemas.



*Grafico 27-Cerramiento vertical de referencia para el armado-[Fuente: foto nuestra]*



*Grafico 28-Verificación de pleneidad mediante nivel de burbuja-[Fuente: foto nuestra]*

## **7.2-UNION DE TABLAS**

Para la unión de las tablas como mencionamos anteriormente se usaron clavos y se utilizaron dos medidas diferentes de clavado para evitar que los clavos se toquen entre ellos al ir agregando las tablas. A 6 de las 12 tablas le correspondió una distribución a las 5 restante la otra.

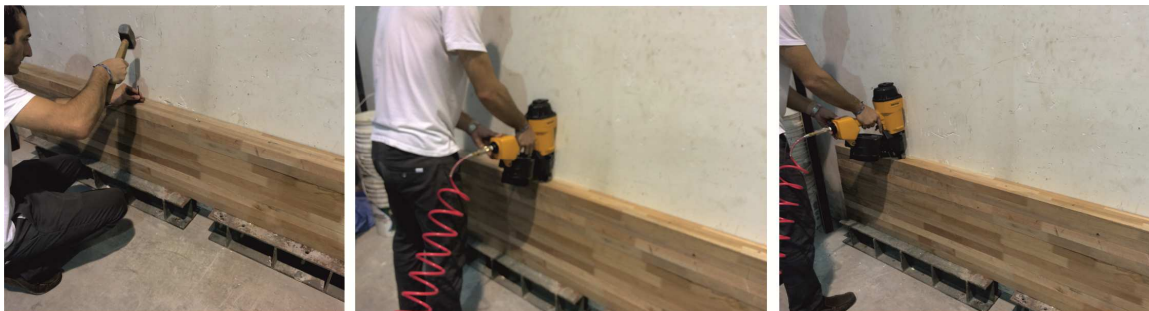
En las tablas pares (2, 4, 6, 8, 10, 12) se colocarán 2 clavos a 5 cm de cada extremo y luego un clavo cada 30 cm, dando un total de 8 clavos por tabla.

En las impares (3, 5, 7, 9, 11) se colocarán 2 clavos a 3 cm de cada extremo y luego uno a mitad de las dimensiones anteriores.



*Grafico 30-Unión de las dos primeras tablas-[Fuente: foto nuestra]*

Una vez que ya tenemos montadas las primeras dos tablas se pasaran a unir de una tabla a la vez, logrando así que cada clavo unifique dos tablas.



*Grafico 31-Uniones de tablas intercalando una a la vez hasta su formación total [Fuente: foto nuestra]*

Las tablas se irán clavando de a una a la vez hasta conformar todo un panel, para eso se necesita unir 12 tablas. Como se puede ver la creación del panel no es complicado y tampoco requiere de mucho tiempo para su armado.



*Grafico 32-Imagen del panel con las 12 tablas clavadas-[Fuente: foto nuestra]*

Una vez terminado el clavado de las tablas se colocan las soleras superior e inferior.

Dichas soleras cubren el ancho total del panel y sus dimensiones son de 60 x 10 x 5 cm

Estas, junto con la solera de amarre son las encargadas de distribuir adecuadamente la carga a través de todas las tablas hasta llegar a la solera inferior.

Las soleras al igual que las tablas deben de cumplir con una correcta distribución de los clavos, es por esto que se colocaron 2 clavos a 5 cm de cada extremo y uno a 25 cm de ellos, por lo que las soleras quedaron unidas al panel mediante 3 clavos.



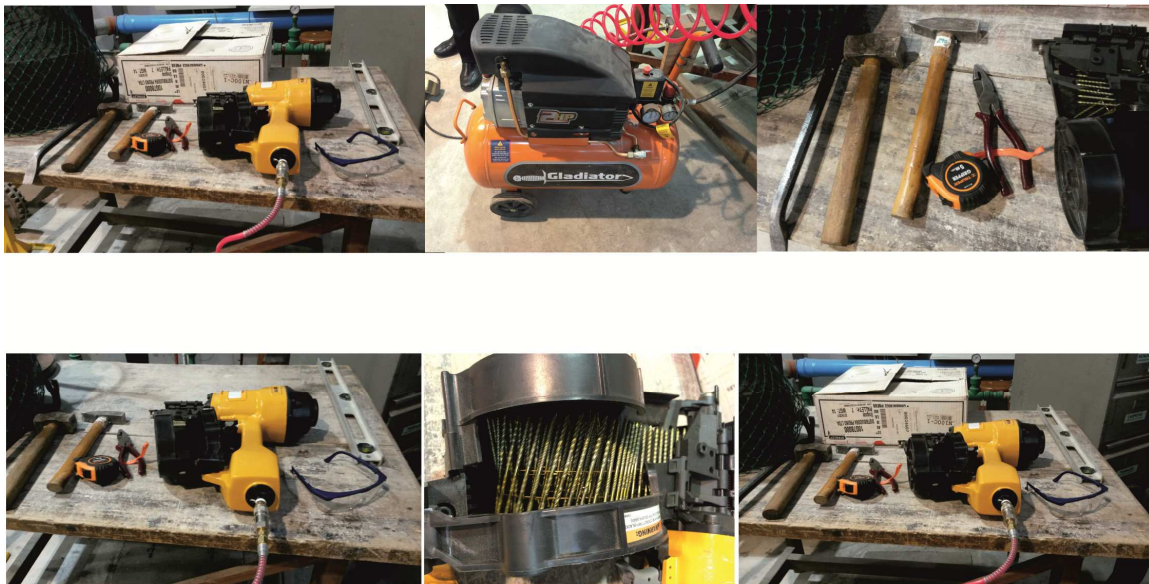
*Grafico 32-Panel de madera maciza terminado en su totalidad [Fuente: foto nuestra]*

Una vez colocadas las soleras se dio por finalizado el armado del panel y se pasó a la realización del ensayarlo a la compresión en el pórtico de carga del Instituto de la Construcción.

### 7.3-HERRAMIENTAS Y PROTECCIONES

Las herramientas utilizadas para su conformación son de fácil acceso por lo que se puede afirmar que con un martillo neumático y una cinta métrica es suficiente para la construcción de un panel.

También los equipos de seguridad que se requieren son de fácil adquisición: lentes para la protección de la vista ya que a veces el uso del martillo neumático al trabajar a presión puede provocar que la cabeza de algunos clavos se desprendan y esto cause una lesión que se debe evitar, y guantes para la protección de las manos.



*Grafico 32-Herramientas que se utilizaron [Fuente: foto nuestra]*

#### 7.4-ENSAYO EN EL PÓRTICO DE CARGA DEL INSTITUTO DE LA CONSTRUCCIÓN

Finalizado el armado del panel se comenzó el ensayo a compresión centrada

Dicho ensayo consiste en la aplicación de una carga centrada de compresión aplicada en la cara superior del panel hasta su rotura y la medición de los valores de acortamiento y desplazamiento lateral.

El ensayo fue realizado por la docente Arq. Carola Romay y nosotros participamos en su ejecución.

Una vez colocado el panel en el pórtico de carga y previo a comenzar el ensayo se deben verificar ciertos puntos para su correcto estudio.

1. El panel debe colocarse lo más centrado posible para asegurar que la carga se aplique en el punto medio del mismo



*Grafico 32-Colocación del panel en el pórtico de carga-[Fuente: foto nuestra]*

2- Una vez ubicado en su lugar exacto debemos verificar su verticalidad e inmovilidad.

Para evitar el movimiento de la parte superior se colocaron dos tablonces y mediante acuñado se aseguró su perfecta verticalidad y estabilidad

3- Una vez que el panel está adecuadamente posicionado debemos verificar que la carga a aplicar se distribuya uniformemente.

Para ello se colocó en la parte superior una pieza uniforme y de gran rigidez que será la encargada de que una vez que se comience a aplicar la carga sea capaz de distribuirla

uniformemente hacia todo el panel, evitando de esta forma que la fuerza se concentre en un único punto.

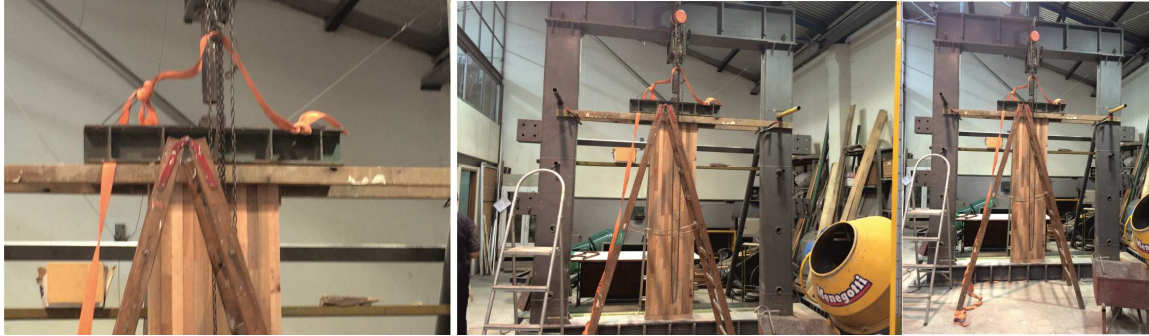


Grafico 32- pieza uniforme y de gran resistencia-[Fuente: foto nuestra]

4- Por último se colocaron dos flexímetros. Uno de los flexímetros se ubicó lo más arriba posible y el otro en el centro del panel, estos dispositivos son los encargados de medir el acortamiento y la deformación a medida que se va incrementando la fuerza.

Debemos de asegurarnos que una vez que se empieza el ensayo los flexímetros estén puestos correctamente y con dígitos en cero. Estos flexímetros van registrando información de la deformación.



Grafico 32- flexómetros-[Fuente: foto nuestra]

## 7.5-PLANILLA DE CONTROL Y RESISTENCIA

Para la realización del ensayo a compresión en el pórtico de carga se aplicó la norma ISO 22452 Timber structures. Structural insulated panel wall.

La planilla que se presenta a continuación es donde se van registrando los datos de carga aplicada y de lectura de los flexímetros a medida que se va desarrollando el ensayo.

Carga	Tiempo	Registros					Observaciones
Real 120	Carga 120 seg, descargamos, esperamos 3 min						Colocar flexímetro y poner en cero
160	Ac	to	t30	t60	t90	t120	
	Lat	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	
290	Ac	0.18	0.13	0.1	0.03	0.0	Descargar luego de leer
	Lat	0.05					
	Ac	-0.07					
	Lat	-0.01					
450	Ac	to	t5min	t10min	t20min		
	Lat	-0.18	-0.23	-0.29	-0.33		
900	Ac	0.82	-0.10	-0.10	-0.14		
	Lat	-1.82					
Rotura 18617,3		2.25					

Grafico 32-Planilla de control y resistencia [Fuente: elaborado en el laboratorio IC]

Ac- acortamiento

Lat- deformación lateral



En el cuadro anterior se aprecian todos los datos que se fueron registrando durante el desarrollo del ensayo. Se ve el aumento constante de la fuerza de compresión y el valor de las deformaciones registradas por los flexímetros.

Estos flexímetros al estar en cero en el inicio del ensayo fue permitiendo ver las distintas deformaciones en el transcurso del tiempo. Los valores agregados en la tabla anterior son los reflejos de estos datos, el cual nos permitió verificar su acortamiento, sus deformaciones y hacia qué sentido se deformaba, todo esto mediante los valores del flexímetro y su signo de negativo o positivo

Como habíamos mencionado anteriormente el ensayo se debe realizar hasta el momento de rotura, alcanza unas pequeñas fallas para que la prensa lo registre como carga de rotura y no siga tomando más valores.

Por lo tanto podemos afirmar que en el caso del panel de madera maciza no se llegó hasta una rotura visible, el valor de 1.82 mm de acortamiento y el 2.25 mm de deformación lateral fueron determinantes para considerar que la carga registrada fuera la de rotura.



*Grafico 32-El Panel después del ensayo-[Fuente: foto nuestra]*

Estas son imágenes del panel ya ensayado, por lo que se puede observar no se han generado roturas en ninguna de sus partes. Se puede apreciar alguna deformación en el centro del panel ya que este presentó cierto grado de deformación ( Se pudo ver los 2mm

de deformación) y como la solera superior se acorto con respecto al inicio del ensayo, pero lo que queda claro es que no existe ninguna fisura en la superficie del panel.

## **8- CONCLUSIONES**

### **Construcción del panel**

Como se pudo comprobar en el desarrollo del estudio este tipo de paneles son fáciles de construir tanto en obra como en taller por mano de obras no calificada bajo supervisión técnica, lo que lo hace muy aplicable para la construcción de vivienda por el sistema cooperativo por ayuda mutua o por autoconstrucción asistida.

### **Estudio higrotérmico**

Como conclusión del estudio realizado, se observa que el panel de madera maciza clavada con aislante térmico y revestimientos dio un resultado satisfactorio.

Desde el punto de vista higrotérmico se cumple con todas las normativas existentes ya que presenta gran masa térmica, una transmitancia menor o igual a 0,45 y no presenta condensaciones superficiales en ningún lugar del mismo.

Además dicho panel se puede utilizar perfectamente como muro exterior ya que junto a sus revestimientos presenta un espesor de 20 cm, valor exigido por la normativa departamental.

### **Ensayo a la compresión**

Con respecto al ensayo realizado a la compresión se pudo confirmar su buena resistencia ya que frente a la carga de rotura registrada por el equipo el panel no presentó a simple vista ningún tipo de falla, ni de fisura ni de deformación.

La carga de rotura fue de 18.613 daN, el acortamiento máximo fue 1.82 mm y la deformación lateral 2.25 mm

Esta carga de rotura corresponde a un panel de 60 cm, para hacer la comparación con ensayos realizados por el IC bajo la misma norma de paneles con estructura de pies

derechos y travesaños de 2" x 4" de madera de eucalipto y placa de compensado de 15mm, debemos duplicar el valor, el cual sería 37.226 daN.

Este valor es casi 3 veces superior, por lo que se puede estimar que fácilmente se podría construir como mínimo edificios de viviendas de 3 niveles con estos paneles de madera maciza de eucalipto clavada.

Como conclusión final y en base a los estudios realizados podemos decir que este sistema constructivo de paneles de madera maciza de eucalipto clavada por su facilidad y rapidez de armado es muy adecuado para ser aplicado en la construcción de vivienda en nuestro país y que se considera que sería una forma muy apropiada de dar un uso complementario a la importante masa forestal de eucalipto existente en el Uruguay.

## 9- BIBLIOGRAFIA

### LIBROS Y REVISTAS

Meyer, Carlos. "La Madera en el Uruguay" Edificar 56, Separata 21.

<http://www.edificar.net/files/suplementos/separata21.pdf>.

FRITZ DURÁN, Alexander. (2005). "Manual de construcción de viviendas en madera".

Corporación Chilena de la Madera. ISBN: 956-8398-00-7

<http://www.biblioteca.org.ar/libros/210283.pdf>.

Ricardo Hempel. "Sistema Constructivo de Madera Solida". Concepción: Univ. del Bío Bío.

Chile : Universidad del Bio Bio,2008. 98 p. ISBN 987-956-7813-63-6

### PAGINA WEB

MGAP. (1987). LEY FORESTAL -Ley Nº 15.939,

[http://www.sice.oas.org/investment/NatLeg/URY/L\\_Forestal\\_s.pdf](http://www.sice.oas.org/investment/NatLeg/URY/L_Forestal_s.pdf)

La Madera. (2012). "AGENTES DE DEGRADACIÓN DE LA MADERA", de Sitio web:

<https://jaltimira.files.wordpress.com/2012/01/degradaciocc81n-de-la-madera-patologias.pdf>

Factores bióticos, de Sitio web: [https://es.wikipedia.org/wiki/Factores\\_bi%C3%B3ticos](https://es.wikipedia.org/wiki/Factores_bi%C3%B3ticos)

Factores abióticos, de Sitio web: [https://es.wikipedia.org/wiki/Factores\\_abi%C3%B3ticos](https://es.wikipedia.org/wiki/Factores_abi%C3%B3ticos)

Sitio web: .

## 10-ANEXOS

### ENSAYO DEL PANEL REALIZADO EN EL INSITUTO DE LA CONSTRUCCIÓN



#### ENSAYO DE PANEL

**1) Solicitante:**

Tutor: María Calone

**2) Descripción del ensayo:**

De acuerdo a lo solicitado, el 17 de febrero de 2016, se prestó asistencia en la ejecución de un ensayo de compresión sobre panel de madera según descripción presentada en el apartado 3.

**3) Ensayo:**

**3.1) Identificación de la muestra:**

El panel ensayado fue suministrado por el interesado e identificado como probeta N°1. Las dimensiones generales de la misma responde a:

Probeta	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)
N° 1	235,0	53,7	9,8

La probeta, de acuerdo a lo informado por el interesado, está conformada por un cuerpo central y dos soleras. El cuerpo central se conforma por 12 tablas macizas de eucaliptus de sección 2,25m x 0,10m x 0,05m clavadas entre sí con clavos de 3" de longitud y 2 mm de diámetro. Las soleras (superior e inferior) se conforman por tablas macizas de eucaliptus con sección 0,60m x 0,10m x 0,05m y están fijadas al cuerpo central por medio de clavos iguales a los anteriormente descritos. La ubicación de los clavos fue estudiada para que no resultaran superpuestos en ningún caso.

**3.2) Equipo de ensayo:**

El dispositivo de ensayo consistió en pórtico de carga equipado con prensa ENERPAC de 75t y manómetro digital ENERPAC Modelo DGP, 10.000 psi; y viga de repartición de cargas. La figura 1 muestra un esquema de este dispositivo.

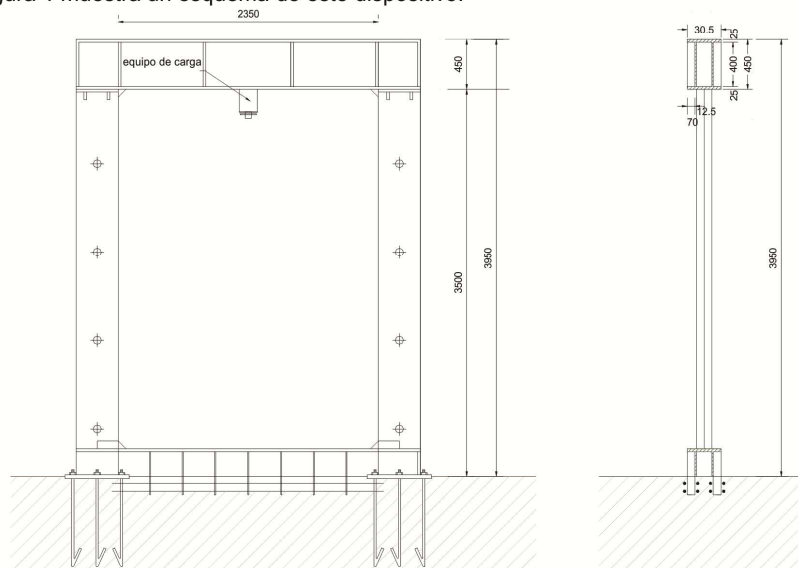


Figura 1. Equipo de ensayo.

Página 1/2

### 3.3) Realización del ensayo:

La probeta fue sometida a carga centrada aplicada en su cara superior horizontal.

El procedimiento de carga siguió lo indicado en la norma ISO 22452 Timber structures -- Structural insulated panel walls - Test methods (procedimiento 1- carga máxima), determinando los valores de acortamiento y desplazamiento lateral al alcanzar la carga correspondiente, durante el período de mantenimiento de dicha carga y remanente, de acuerdo al procedimiento mencionado.

Por determinantes del equipo de carga utilizado, con una excepción en el procedimiento aplicado, respecto al indicado en la norma de referencia, corresponde a la reducción de carga hasta el valor  $f_{g2}$  (según denominación de la norma de referencia), que en el caso del presente ensayo se realizó hasta carga cero.

### 3.4) Resultado de los ensayos:

#### 3.4.1 Carga de rotura:

El valor de carga de rotura corresponde a:

Probeta N°1: 18617,3 daN

#### 3.4.2 Acortamiento y desplazamiento lateral:

Los valores de acortamiento y desplazamiento lateral correspondiente a cada valor de carga se indican en las tablas siguientes.

Tabla 1. Acortamiento (mm)

carga (daN)	Acortamiento Probeta 1 (mm)				
1025,3	0,03	0,03 (30 s)	0,04 (60 s)	0,04 (90 s)	0,04 (120s)
1917,1	0,05				
45,3	-0,07				
3013,7	-0,18	-0,23 (5min)	-0,29 (10min)	-0,31 (15min)	-0,33 (20min)
6106,6	-1,82				

Nota: el signo negativo indica que para este valor de carga el vástago del dispositivo de medición se desplazó en sentido opuesto a los desplazamientos registrados para otros valores de carga.

Tabla 2. Deformación lateral (mm)

carga (daN)	Deformación lateral Probeta 1 (mm)				
1025,3	0,18	0,13 (30 s)	0,10 (60 s)	0,03 (90 s)	0,00 (120s)
1917,1	0,76				
45,3	-0,01				
3013,7	0,82	-0,81 (5min)	-0,10 (10min)	-0,14 (15min)	-0,14 (20min)
6106,6	2,25				

Nota: el cambio de signo indica que la deformación lateral se produce hacia uno u otro lado del panel

**Estos resultados refieren exclusivamente a la muestra identificada en el presente documento.**