



0006274



INFOR
Instituto Forestal

Informe Técnico N° 154

**CAPACIDAD RESISTENTE DE PANELES
PREFABRICADOS DE MADERA**



Dr. Patricio Cendoya
Ingeniero Civil

Concepción (CHILE), noviembre 2.000



Informe Técnico N° 154

CAPACIDAD RESISTENTE DE PANELES PREFABRICADOS DE MADERA

Dr. Patricio Cendoya
Ingeniero Civil

Concepción (CHILE), noviembre 2.000

Colaboradores:

Carlos Mancinelli Z.
Gonzalo Hernández C.
Alonso Quezada F.
Alfredo López V.
Ricardo Oyarzún O.

Registro de Propiedad Intelectual N° : 117.301

I.S.B. N. : 956-7727-54-6

ÍNDICE

	Página
1. Introducción	1
2. Comportamiento resistente de paneles estructurales	2
3. Influencia del revestimiento y control de las deformaciones laterales	5
4. Análisis comparativo de las deformaciones laterales entre paneles tradicionales y prefabricados	7
5. Conclusiones	12
6. Bibliografía	13
Anexo 1: Tabla de cálculo de paneles	14



1. INTRODUCCIÓN

La utilización de paneles prefabricados de madera como alternativa constructiva a los fabricados en obra, presenta una serie de ventajas de carácter técnico y económico que la transforman en una solución eficiente y rápida para la construcción de viviendas. Si bien su uso no es masivo en Chile, en países desarrollados éstos tienen una amplia aceptación y difusión debido a las grandes ventajas que ello conlleva.

El presente trabajo formó parte de las actividades desarrolladas en el marco de los proyectos INFOR/FDI-CORFO: "Estandarización y fabricación de piezas y componentes de madera destinados a la construcción de viviendas " y "La Madera en la Vivienda Social".

El documento se divide en tres partes; en la primera se presenta el comportamiento resistente de los paneles estructurales y los esfuerzos que condicionan su diseño. En la segunda, se explica cual es el papel que cumple el revestimiento en el sistema resistente y cuáles son las prescripciones que limitan sus dimensiones respecto de los desplazamientos laterales. Finalmente, se presenta un análisis comparativo de cuatro paneles con diferentes grados de restricción lateral y se entregan las principales recomendaciones y conclusiones del presente trabajo.

2. COMPORTAMIENTO RESISTENTE DE PANELES ESTRUCTURALES

Para comprender el comportamiento resistente de los paneles estructurales, el primer paso consiste en identificar las fuerzas que actúan sobre él. Cada una de estas fuerzas requerirá de una respuesta diferente por parte del diseñador, que asegure un adecuado comportamiento del elemento.

Las fuerzas aplicadas sobre un panel se pueden dividir en dos grupos: el primero asociado con las fuerzas verticales, generadas por la acción del peso propio (cargas muertas), las cargas de servicio (cargas vivas) y a acciones variables tales como las provenientes de las reacciones de la techumbre debido a las cargas de nieve. El segundo grupo de fuerzas es el asociado con las acciones horizontales generadas por la acción del viento o la actividad sísmica.

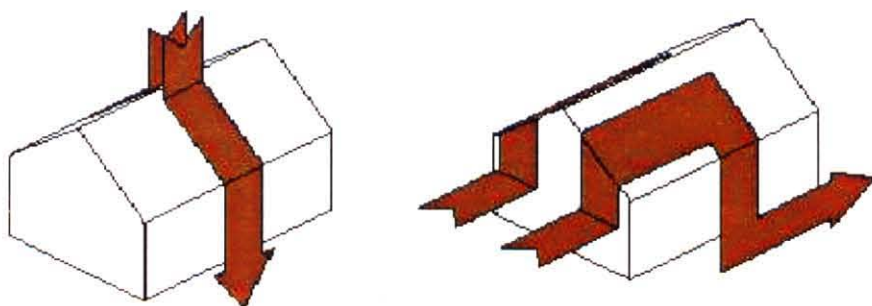


Figura 1. Tipos de carga sobre un panel estructural. Figura izquierda cargas verticales, figura derecha cargas horizontales.

Los paneles estructurales se caracterizan por ser elementos en los cuales una dimensión es mucho menor que las otras dos; son normalmente rectangulares, formados por pies derechos, soleras superior e inferior, elementos intermedios (cadenetas) y con un revestimiento ya sea por una o ambas caras. Una descripción detallada de las componentes básicas de este elemento, se presenta en la Figura 2.

Un aspecto crítico en el diseño de construcciones de madera es el que dice relación con la capacidad de carga y de deformaciones laterales alcanzadas por la estructura bajo la acción de las fuerzas horizontales, debido a la dificultad que se presenta en la rigidización de sus nudos, siendo necesario el empleo de elementos estructurales que permitan resistir y limitar las deformaciones laterales de la construcción.

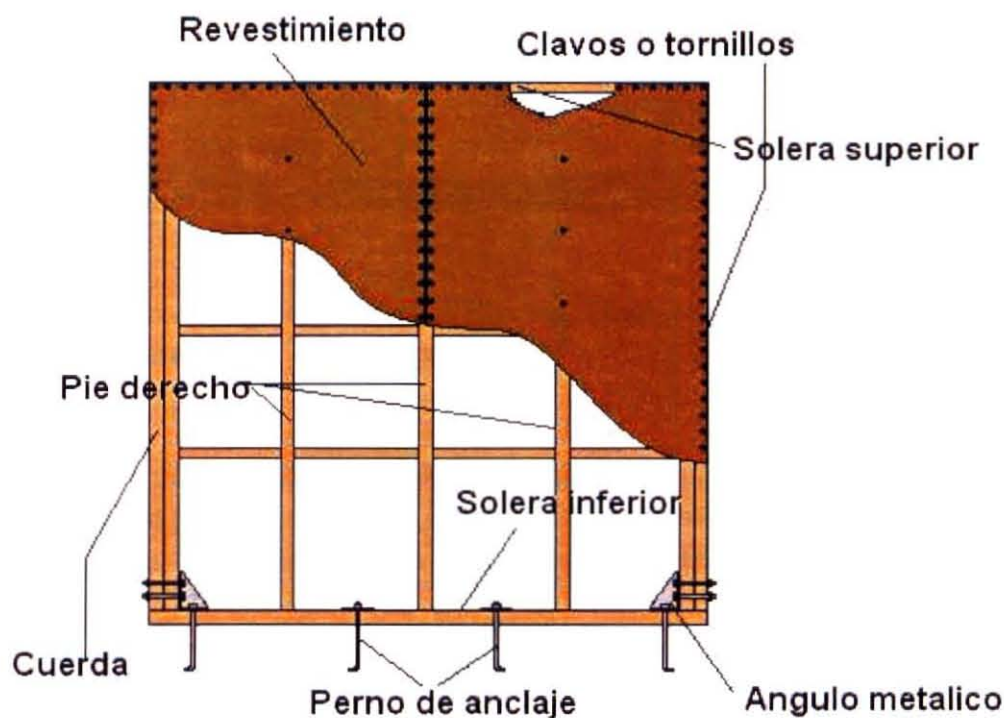


Figura 2. Componentes básicos de un panel estructural

En el caso de las estructuras de madera, esta función la cumplen los paneles estructurales también denominados muros de corte, los cuales resisten las fuerzas horizontales y rigidizan el sistema constructivo. Dado que las fuerzas horizontales sobre el elemento pueden actuar en el plano del panel o perpendiculares a él, en el diseño es necesario considerar ambas posibilidades.

El análisis estructural para las cargas contenidas en el plano del panel, se realiza de forma análoga a una viga en voladizo, debiendo considerarse en las fundaciones la existencia de un momento flector y de una fuerza de corte horizontal. La fuerza de corte tiende a desplazar al muro con respecto a su base y el momento flector a volcarlo, Figura 3.

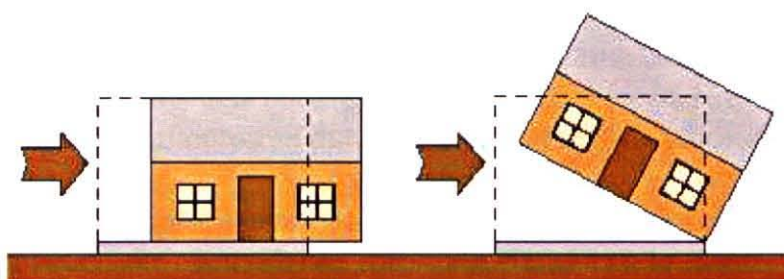


Figura 3. Efectos a considerar en el diseño. Deslizamiento y volcamiento del muro.

El momento flector es absorbido por un par de fuerzas (tracción y compresión) que actúan en las cuerdas del panel. La más importante de ellas corresponde a la cuerda traccionada que tiende a levantar el muro de su fundación, ver Figura 4.

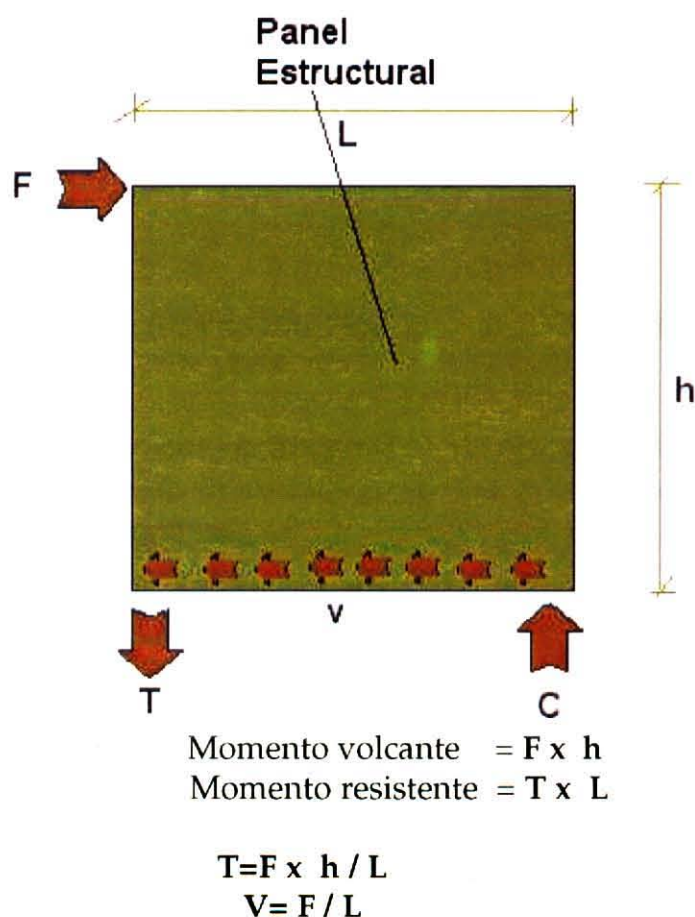


Figura 4. Diagrama de cuerpo libre de un panel estructural y valores de momento volcante, momento resistente, fuerza en la cuerda traccionada (T), fuerza en la cuerda comprimida (C) y cortante unitario (v).

El esfuerzo de corte unitario (v) se absorbe por una serie de pernos de anclaje, diseñados para transferir la carga desde el panel estructural a la fundación. El diseño de estos elementos se determina con el menor valor de tensión entre:

- La capacidad de aplastamiento de la madera cuando ella es solicitada por el metal (perno de anclaje) en dirección paralela a la fibra.
- Resistencia al corte del perno empotrado en el hormigón de la fundación.

En el caso de las cargas horizontales, perpendiculares al plano del panel provenientes del viento o sismo, éstas se transfieren al elemento perimetral inferior (solera) a través de los pies derechos mediante el uso de "clavos lanceros"; si ellos no son suficientes se debe buscar otro tipo de anclaje, como por ejemplo ángulos metálicos, ver Figura 2. El amarre de la solera inferior a la fundación se hace también con pernos de anclaje.

Puesto que las cargas contenidas en el plano del muro no se consideran actuando simultáneamente con aquellas de dirección normal al plano pueden utilizarse los mismos elementos dispuestos para resistir el esfuerzo de corte con cargas contenidas en el plano del panel.

3. INFLUENCIA DEL REVESTIMIENTO Y CONTROL DE LAS DEFORMACIONES LATERALES

En un panel, el revestimiento estructural es el encargado de resistir todo el esfuerzo de corte que se transmite desde la solera superior hacia las fundaciones de la construcción.

Se puede utilizar diferentes tipos de revestimientos:

- Panel con revestimiento constituido por tablas elaboradas de canto recto, tingladas, con su eje formando ángulo recto con soleras o pie-derechos y clavadas a ellas en el encuentro.
- Panel con revestimiento de entablados en diagonal por una cara, formando un ángulo de 45 grados con los pie-derechos y soleras.
- Panel con revestimiento con entablados en diagonal por ambas caras, ubicado a 45 grados respecto a pie-derechos y soleras pero contrapuestos

entre sí, de modo que los ejes de las tablas de ambos revestimientos formen un ángulo recto.

- Panel con revestimiento por uno o ambos lados con tableros contrachapados o de fibras orientadas OSB (Oriented Strand Board).

El cálculo de las deformaciones de un panel estructural en la dirección de las cargas que actúan en su plano no puede ser determinado por métodos analíticos tradicionales debido a la complejidad de la distribución de esfuerzos en los diferentes elementos que conforman el panel (soleras, cadenetas, tipo de conexiones entre elementos internos, tipo de revestimiento, etc.).

Se debe recurrir a ensayos de laboratorio, los cuales demuestran que dependiendo de la configuración interna del panel, al igual que del tipo de revestimiento empleado, manteniendo una razón altura/longitud (h/L), ver Figura 5 por debajo de los límites definidos en la Tabla 1, es posible asegurar que la deformación del panel estructural no será excesiva, y por tanto no es necesario calcularla.

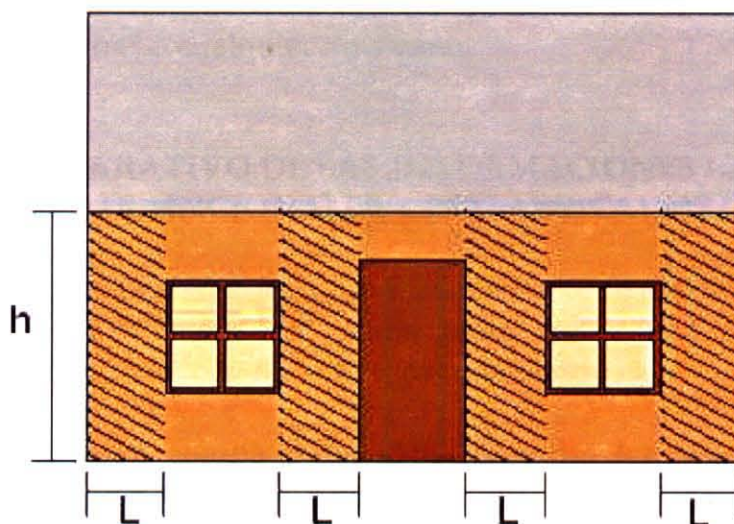


Figura 5. Esbeltez del panel (h/L)

Tabla 1. Restricciones geométricas de los paneles estructurales

Tipo de Revestimiento		Razón máxima (h/L)
1.	Entablado transversal (perpendicular a pies derechos).	Limitado por NCh 433-96
2.	Entablado diagonal por una cara	2:1
3.	Entablado diagonal especial (por ambas caras y perpendicular entre sí)	3,5:1
4.	Contrachapado (clavado en todo el borde)	3,5:1
5.	Contrachapado, con zonas pequeñas sin clavado en los bordes	2:1

Estas restricciones geométricas no sólo se aplican en el panel estructural como un todo, sino que también a cada una de las zonas llenas de él, tales como áreas bajo las ventanas o cualquier otro vano.

4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS DEFORMACIONES LATERALES ENTRE PANELES TRADICIONALES Y PREFABRICADOS.

A continuación se presenta un análisis estructural de cuatro paneles prefabricados de 240 x 300 cm. Cada panel posee una distribución de cadenetas y pie-derechos, con distinta separación entre ejes.

El análisis consiste en comparar las deformaciones laterales máximas que desarrollan cada uno de ellos bajo la acción de las cargas de servicio, considerando tres situaciones diferentes con relación al revestimiento exterior que se emplee:

1. Sin revestimiento.
2. Sin revestimiento y con arriostramiento en diagonal.
3. Con revestimiento exterior compuesto de un tablero de O.S.B., de 11,1 mm de espesor de Grado R-1.

4.1. Descripción de los paneles:

1. Panel tipo 1 (**PAN1**): separación entre pie-derecho a 60 cm, cadenas a 80 cm.
2. Panel tipo 2 (**PAN2**): separación entre pie-derecho a 60 cm, cadenas a 60 cm.
3. Panel tipo 3 (**PAN3**): separación entre pie-derecho a 50 cm, cadenas a 60 cm.
4. Panel tipo 4 (**PAN4**): separación entre pie-derecho a 40 cm, sin cadenas.

En la Figura 5, se presenta los paneles tipo 1, tipo 2, tipo3 y tipo 4 a estudiar desde el punto de vista de las deformaciones laterales. En particular, en la Figura 6, se presenta una descripción del panel tipo 4, en las situaciones con *arriostramiento y sin revestimiento* y el caso en que el panel posee como revestimiento, únicamente el *tablero de fibras orientadas OSB*.

Cabe señalar que cada uno de estos paneles, anteriormente se estudiaron desde el punto de vista de los costos de fabricación y optimización del uso de mano de obra.

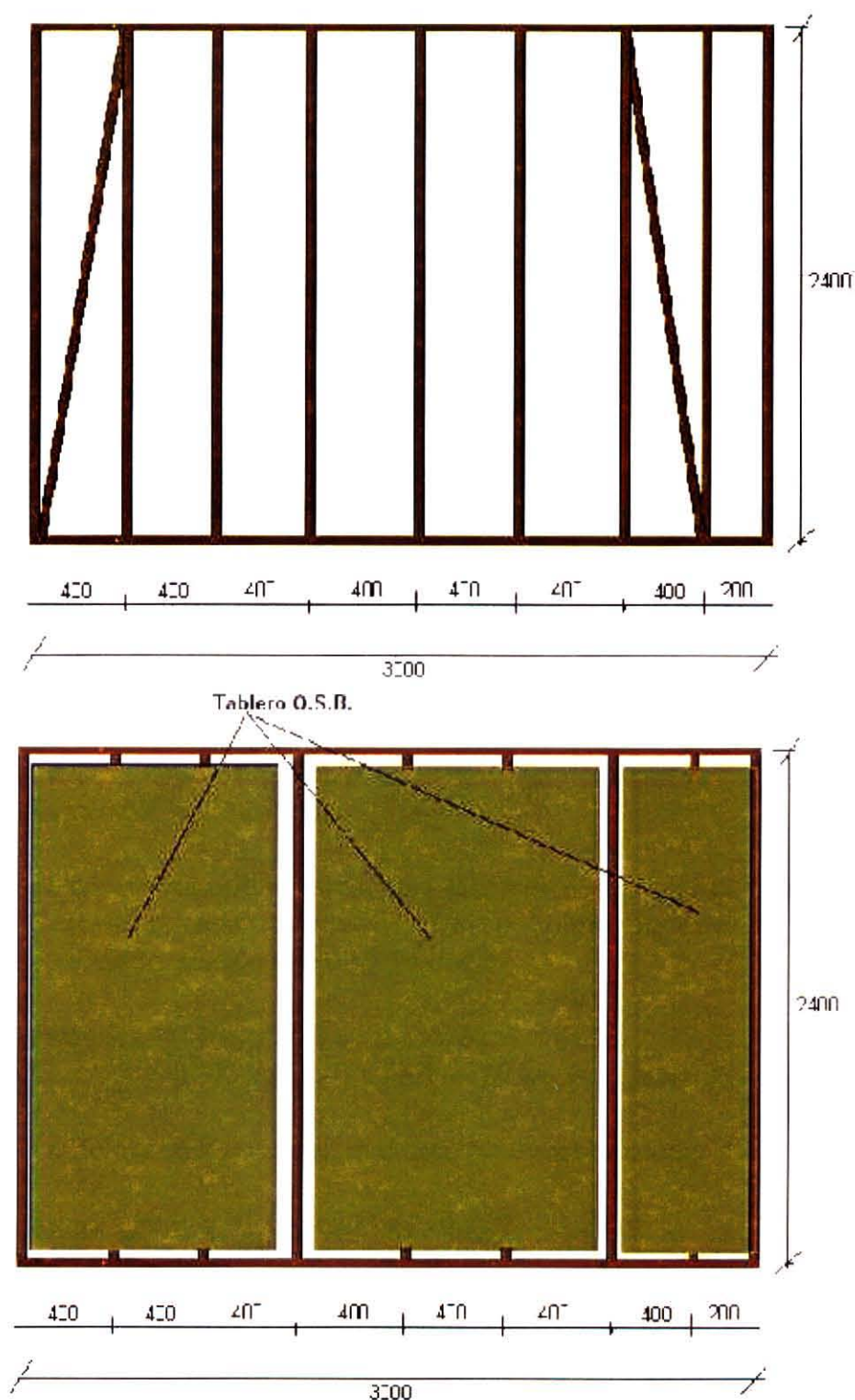


Figura 6. Panel prefabricado tipo 4. Parte superior arriostramientos en diagonal en los extremos y en la parte inferior únicamente con tablero de fibras orientadas OSB.

4.2. Cargas aplicadas

4.2.1. Peso propio y sobrecarga = 0,015 [ton/m²]; (NCh 1537 of 86)

Puesto que no se conoce la descarga de las cerchas sobre los paneles, se asumirá que éstas entregan una reacción sobre la solera superior de 200 kg/m-l

4.2.2. Viento (NCh 432 of 77):

Velocidad del viento = 80,00 [km/hr]
Presión básica = 30,86 [kg/m²]

Considerando que esta presión actúa sobre una pared de 9 m de largo y 2,4 m de alto, ubicada en forma perpendicular al panel. La fuerza que recibe el panel, por la acción del viento es de:

$$w = [(30,86 \text{ kg/m}^2) \times 2,4 \text{ m}] / 2 = 37 \text{ kg/m-l}$$

$$R = [37 \text{ kg/m-l} \times 9 \text{ m}] / 2 = 167 \text{ kg}$$

4.2.3. Sismo (NCh 433 of 96)

Se considera que la estructura es simétrica en planta, que las cerchas descansan cada un metro sobre la solera superior y se toma un coeficiente sísmico de 0,15, es decir:

$$F_{\text{sísmica}} = [15(\text{kg/m}^2) \times 2,4 \text{ m} \times 3 \text{ m}] \times 0,15 + [(200 \text{ kg/m-l}) \times 3 \text{ m}] \approx 110 \text{ kg} \quad (\text{valor exacto del cálculo} = 106,2 \text{ kg})$$

La deformación lateral máxima, no deberá exceder de:

$$d_{\text{max sismica}} = h / 200 = 240 / 200 = 1,2 \text{ cm}$$

4.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

4.3.1. Materiales utilizados

Madera de pino radiata (NCh 1198), utilizada en soleras superior e inferior, cadenas y pie-derechos. Tablero estructural OSB de grado R-1 de 11,1 mm y uniones clavadas en los encuentros entre elementos.

4.4 HIPÓTESIS Y COMBINACIONES

4.4.1. Hipótesis básicas

Hipótesis básicas	Descripción
D+L	Peso propio + Sobrecarga
W	Viento
S	Sismo

4.4.2. Combinaciones de carga

4.2.1. Combinación número 1: $C1 = D+L$

4.2.2. Combinación número 2: $C2 = D+L+W$

4.2.3. Combinación número 3: $C3 = D+L+S$

4.5 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Para cada uno de los paneles estudiados se realiza un análisis estructural mediante la utilización de elementos finitos. En los modelos que incluyen el tablero de O.S.B. se consideran elementos de cáscara con compatibilidad de desplazamientos en la unión con soleras, pie-derechos y cadenas.

5. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos del análisis estructural y considerando que todas las tipologías satisfacen las condiciones de resistencia bajo las cargas de servicio aplicadas. Se construye la Tabla 2, en la que se resume los desplazamientos laterales del nodo ubicado en la intersección de la solera superior con el cordón derecho.

TIPO	Sin revestimiento y sin arriotrar (cm)	Sin revestimiento y arriotrado diagonalmente (cm)	Con revestimiento Tablero O.S.B. Grado R-1 (cm)
PANEL 1	0,4605	0,0544	0,0025
PANEL 2	0,3104	0,0494	0,0025
PANEL 3	0,2453	0,0418	0,0024
PANEL 4	1,7670	0,3723	0,0022

Tabla 2. Desplazamientos laterales. Estado de carga: Peso propio + Sobrecarga + Viento.

De los resultados anteriores, se concluye que:

- Los desplazamientos laterales disminuyen en la medida en que se aumentan las restricciones al movimiento lateral a través de la colocación de diagonales o la utilización de un tablero de OSB.
- A medida que se aumenta la densidad de cadenas y pie-derechos los desplazamientos laterales de los paneles tipo 1, 2 y 3 disminuyen. En el caso del panel tipo 4, se observa que al estar sin revestimiento, con o sin arriostamiento en diagonal, los desplazamientos laterales son mucho mayores que en los casos asociados a los paneles tipo 1, 2 y 3 (primera y segunda columna de la Tabla 2), esto se debe principalmente a la ausencia de cadenas que aporten rigidez lateral al panel. Sin embargo, sí se le coloca revestimiento (tablero estructural OSB), el panel se comporta adecuadamente alcanzando deformaciones laterales del mismo orden que los restantes paneles.
- Es imprescindible la utilización de un tablero estructural, sí el panel tipo 4 se emplea como elemento estructural para resistir fuerzas laterales.

Se debe considerar que la modelación numérica, del panel bajo la acción de cargas dinámicas es compleja, siendo necesario recurrir a ensayos de laboratorio que permitan cuantificar de una forma mas real, las variables que definen el comportamiento resistente del elemento.

Existen numerosas tablas que permiten, definida la acción horizontal, encontrar en función del tipo de revestimiento utilizado, la separación entre pies derechos y cadenas; determinar la distribución de las conexiones, diámetros de tornillos o clavos más eficiente, ver Anexo 1. Lamentablemente, este tipo de tablas han sido construidas para maderas no nacionales, y por lo tanto no son aplicables a nuestra realidad.

6. BIBLIOGRAFÍA

[A-1]: APA Design/Construction Guide-Residential and Comercial, Form E30D, American Plywood Association, Tacoma, 1984.

[F-1]: Faherty K.F. and Williamson T.G., Wood Engineering and Construction Handbook. McGraw-Hill, Inc. 1989.

[M-1]: Manual de cálculo de construcciones en madera. Instituto Forestal Corporación de Fomento de la Producción. AF 90/02, 1990.

[W-1]: Wood Handbook: Wood as an Engineering Material. United States Department of Agriculture. General Technical Report FPL-GTR-113. 1999.

Anexo 1

TABLA DE CÁLCULO DE PANELES

Muros de Corte: Esfuerzos de corte en libras por pie, para paneles APA con marco de madera de Pino Douglas bajo cargas de sismo o viento.

Panel Grado	Espesor mínimo del panel (pulgadas)	Penetración del clavo en el marco (pulgadas)	Paneles aplicados directamente sobre el marco				
			Tamaño del clavo	Espaciamiento del clavo sobre los lados del panel (pulgadas)			
				6	4	3	2
APA ESTRUCTURAL GRADO I	5/16	1 - 1/4	6d	200	300	390	510
	3/8			230	360	460	610
	7/16	1 - 1/2	8d	255	395	505	670
	15/32			280	430	550	730
	15/32	1 - 5/8	10d	340	510	665	870

Muros de corte típicos: Disposiciones del revestimiento, cadenas y pie-derechos

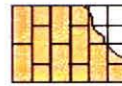


Figura 7. Tabla de dimensionamiento de muros de corte (APA [A-1]).



INFOR
Instituto Forestal

SANTIAGO

Huérfanos 554

Casilla 3085

Fono: (56-2) 693 0700

Fax: (56-2) 693 0880

693 0890 - 638 1286

e-mail: info@infor.cl

<http://www.infor.cl>

CONCEPCION

Camino a Coronel

km 7,5 - Casilla 109C

Fono: (56-41) 37 0027-28-29-30

Fax: (56-41) 37 0031

VALDIVIA

Fundo Teja Norte

Casilla 385

Fono: (56-63) 21 1476

Fax: (56-63) 21 8968

COYHAIQUE

Baquedano 645

Fono: (56-67) 23 3585

Fax: (56-67) 23 3585