

RESISTENCIA DE PANELES DE MADERA A CARGAS HORIZONTALES*

Hiram ALBALA**

RESUMEN

Se analiza el problema general de un panel empotrado en su base y solicitado por una carga horizontal que actúa en su solera superior.

Aparecen definidos los coeficientes de rigidez y resistencia -o rigideces y resistencias relativas- que sirven para comparar las resistencias para un cierto desplazamiento dado y máximas, respectivamente, de un panel dado con otro considerado standard, solicitados en la forma descrita. Además se destaca la conveniencia de definir el coeficiente de rigidez, no para un valor dado del desplazamiento horizontal, sino a través de un intervalo de variación de él.

Se señala el método a seguir para comparar entre sí paneles de tamaño no standard "reduciéndolos" previamente al standard.

Se hace una descripción general de 116 ensayos, realizados en Estados Unidos de Norteamérica, en paneles con estructura de madera y diversos tipos de diagonales, revestimientos, tratamientos, etc., sometidos a la acción de cargas horizontales. De estos ensayos corresponden 101 al Forest Products Laboratory (Madison, Wisconsin) y 15 a la Housing and Home Finance Agency (Washington, D.C.) El estudio de las rigideces y resistencias relativas obtenidas en estos paneles, permite extraer una serie de interesantes

*Este artículo es una síntesis de un estudio hecho por el autor sobre el problema.

**Ingeniero del IDIEM, Jefe de la Sección Investigaciones en Maderas; profesor de Trigonometría y Geometría Analítica en la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Chile; Master of Science de las Universidades de Michigan y del Estado de Pennsylvania (E. U. A.).

conclusiones e incluso formular algunas recomendaciones que pueden ser de interés en la construcción.



1. INTRODUCCION

El problema de estudiar las resistencias de paneles y muros a solicitudes horizontales ha merecido una gran atención, especialmente en países que, como el nuestro, se ven afectados por fenómenos sísmicos, y en zonas en que la acción del viento es de importancia.

En el IDIEM se vienen realizando, desde hace unos pocos años, ensayos en muros de ladrillos empotrados en su base y solicitados por cargas horizontales que actúan en la parte superior. Pero los muros o paneles de madera no han podido aún ser investigados en relación a esta sollicitación, salvo en casos aislados de ensayos hechos a pedido de particulares. No obstante, este problema ha sido tratado experimentalmente con cierta profusión en Estados Unidos de Norteamérica por más de un organismo de ese país, notándose, en general, falta de uniformidad en las dimensiones de los paneles.

Este cúmulo de datos permite, sin embargo, adquirir una noción general de la influencia que los elementos constitutivos de un panel ejercen sobre su resistencia a las cargas horizontales, lo cual es de interés práctico.

2. ANALISIS DEL PROBLEMA

2.1 Panel solicitado por carga horizontal.

Supongamos un panel empotrado en su base AB y sometido a la acción de una carga horizontal (P) que actúa sobre su solera superior. Esta carga producirá una distorsión del panel, debido al giro (ϕ) de los pies derechos en torno a sus apoyos inferiores (Fig. 1). El giro produce un desplazamiento horizontal (δ) de la solera superior con respecto a la inferior. Si se miden los valores de δ correspondientes a distintos valores de P, se puede hacer un gráfico tal como se indica en la Fig. 2, en la cual se observa que la carga crece hasta llegar a un valor máximo P_m . A veces ocurre que para valores grandes de δ , se produce un recuperamiento de la carga, la cual alcanza un segundo valor máximo. En todo caso al hablar de carga máxima nos referiremos siempre al primer máximo.

2.2 Panel de características básicas standard.

Para poder comparar las propiedades mecánicas de diversos paneles entre sí, determinadas en ensayos con carga horizontal, es preciso establecer un número mínimo de características comunes a todos ellos, que podríamos llamar características básicas standard. Ellas podrían ser por ejemplo, las siguientes:

- Tamaño standard, definido a través de una longitud standard l_s y una altura standard h_s *
- Estructura standard, definida por las siguientes características standard: escuadría de pies derechos y soleras, clavado de ellas entre sí, distancia entre pies derechos, clase de madera, falta de diagonales, etc.**

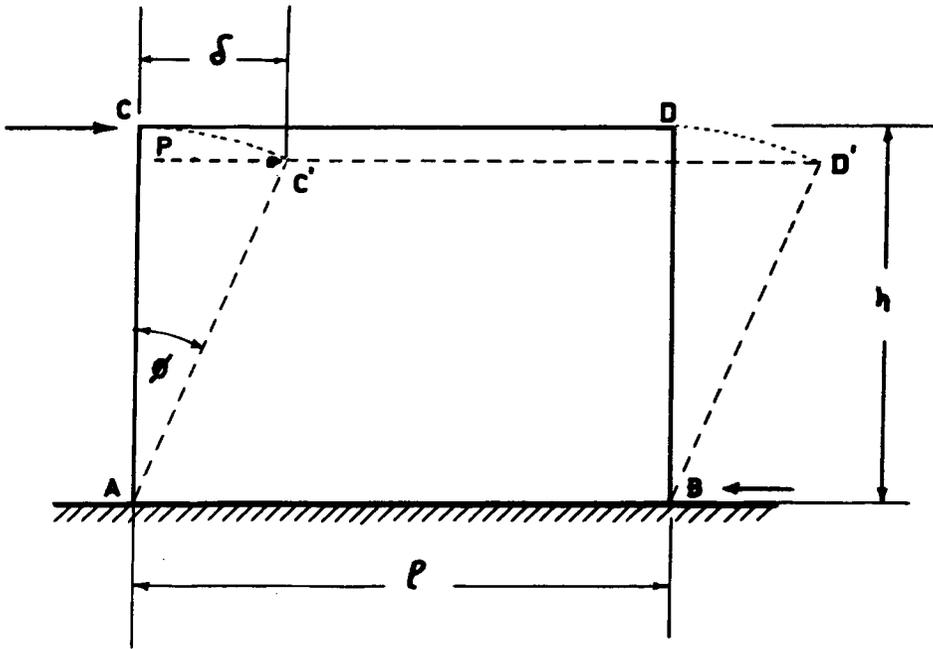


Fig. 1. Panel empotrado en su base y solicitado por una carga horizontal aplicada sobre su solera superior.

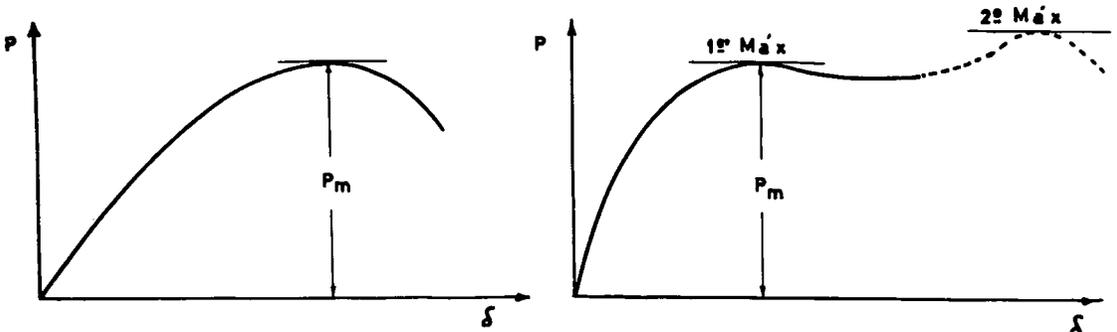
2.3 Panel standard.

Resulta más cómodo comparar los paneles entre sí, comparándolos previamente con un panel tipo, que podemos designar con el nombre de panel standard. Este panel debería tener, además de las características básicas standard, un revestimiento y un sistema de unión a la estructura, ambos standard.***

*En los paneles ensayados en Estados Unidos, que se detallan más adelante, se consideraron como dimensiones standard: $l_s = 14' = 427$ cm; $h_s = 9' = 275$ cm.

**Las estructuras standard de los paneles norteamericanos estaban formadas por soleras y pies derechos de 2" x 4" a aproximadamente 16" entre ejes de estos últimos, principalmente de pino amarillo (Southern Yellow Pine), clavado entre sí con dos clavos de 3/2" por cada extremo de pie derecho.

***El revestimiento standard de los paneles ensayados en E.U.A. era lleno (sin vanos) y estaba aplicado en una sola cara. Era de tabla horizontal de canto liso de 1" x 8" en pino amarillo, clavada a los pies derechos con dos clavos de 2/2", colocados cerca de los cantos de la tabla.



(a) Descenso brusco de la carga después de alcanzar el máximo P_m .

(b) Descenso gradual de la carga después de alcanzar el máximo P_m y recuperación hasta llegar a un segundo máximo.

Fig. 2. Gráficos de cargas (P) y desplazamientos (δ), horizontales.

2.4. Coeficientes de rigidez y resistencia.

2.4.1. Panel de características básicas standard.

Consideremos un panel cualquiera cuyas características básicas supongamos standard y un panel standard. Supongamos que sus curvas de carga-desplazamiento, (P- δ) son las señaladas en la Fig. 3. Si para un valor del desplazamiento, δ_s , elegido especialmente de modo que caiga dentro del "período elástico" de deformación*, se obtienen las cargas P_s y P'_s , y si las cargas máximas correspondientes son P_{ms} y P'_{ms} , se pueden establecer las razones:

$$\rho = P_s / P'_s = \text{coeficiente de rigidez o rigidez relativa (2.4.1a).}$$

$$R = P_{ms} / P'_{ms} = \text{coeficiente de resistencia o resistencia relativa (2.4.1b).}$$

De aquí resulta que al panel standard le corresponden coeficientes de rigidez y resistencia iguales a la unidad, y que paneles de diversas características pueden compararse a través de estos coeficientes con el panel standard y, por ende, entre sí.

2.4.2. Panel de estructura standard y tamaño no standard.

Si el panel en estudio tiene una estructura standard y dimensiones no standard, será necesario "reducirlo" a las dimensiones standard - a fin de poder compararlo con el standard-, es decir establecer las cargas que un panel de las mismas características que el panel en estudio, pero de dimensiones standard, resistiría para un desplazamiento δ_s dado, de la solera superior con respecto a la inferior y para la situación crítica (carga máxima). En otras pala-

*Se verá más adelante que en los paneles ensayados se ha adoptado el valor $\delta_s = 0,5'' = 12,7 \text{ mm}$.

bras, determinar los valores de P_s y P_{ms} , definidos en 2.4.1. Finalmente se podrían calcular ρ y R de Ecs. (2.4.1a) y (2.4.1.b).

La "reducción" de un panel a las dimensiones standard se hace aceptando la hipótesis de que en dos paneles similares, pero de dimensiones distintas, las cargas necesarias para producir en ellos un mismo giro son proporcionales a sus longitudes, y que además las cargas máximas ocurren en ambos para un ángulo de giro común. Si las dimensiones del panel considerado no difieren grandemente de las standard, es de suponer que la hipótesis sea admisible; pero si aquéllas son bastante distintas de éstas o si aparecen algunos factores que produzcan una desviación respecto de la relación lineal carga-longitud, tales como vanos de puertas y ventanas, no es posible anticipar hasta qué punto las "cargas equivalentes" calculadas puedan ser prácticamente similares a las que se obtendrían en realidad en el panel de dimensiones standard.

Como la mayoría de los paneles ensayados a que se hace referencia más adelante, tenía las dimensiones elegidas como standard, y las de los demás no diferían grandemente de éstas, salvo en unos pocos casos, se consideró prácticamente admisible la aplicación a dichos paneles de las hipótesis indicadas.

2.5. Rigidez relativa definida dentro de un intervalo de variación de δ .

En la Ec. (2.4.1a) aparece definida la rigidez relativa ρ , para un desplazamiento dado, δ_s , en el panel en estudio supuesto con características básicas standard. No obstante, al comparar las curvas de carga-desplazamiento de este panel con las del panel standard que aparecen en la Fig. 3, ocurre en muchos casos que la razón $\rho = P_s/P'_s$ experimenta variaciones sólo pequeñas dentro de cierto intervalo de variación de δ , que pertenece a los "períodos elásticos"

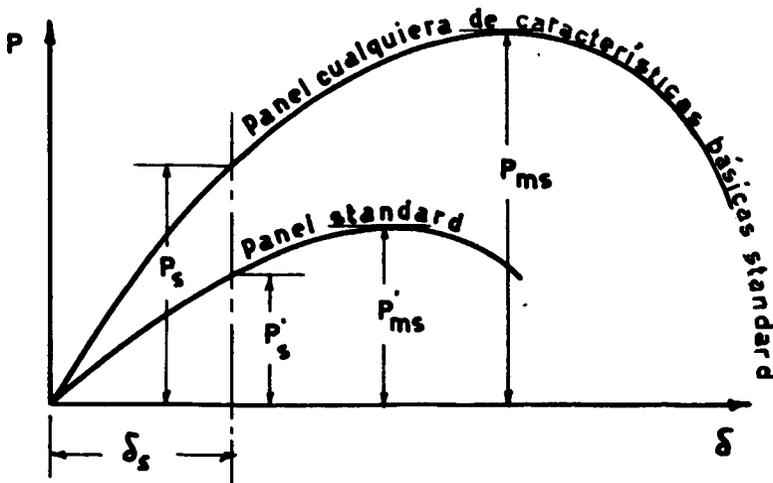


Fig. 3. Curvas de carga - desplazamiento para dos paneles de características básicas standard: uno cualquiera y el otro standard.

de los paneles. Cuando se presenta esta situación es posible definir la rigidez relativa no sólo para un valor determinado de δ , sino para todo un intervalo de variación del desplazamiento: por ejemplo, a través del promedio de las distintas rigideces dentro del intervalo, o para la rigidez de menor error que resulta de aplicar el método de los mínimos cuadrados. Esta última viene dada por la relación: $\rho = (\sum P^2) / (\sum PP')$ en que P y P' son las cargas en el panel en estudio y standard, respectivamente, correspondientes a los distintos valores de δ , escogidos dentro del intervalo considerado.

El definir una rigidez relativa a través de un intervalo de variación de δ tiene la ventaja de que, al considerar el efecto de solicitaciones horizontales sobre un edificio, la distribución de la fuerza horizontal correspondiente a un piso, a lo largo de un muro, se puede hacer en él en proporción a las rigideces de los distintos sectores de que se compone dicho muro, definidas en la forma indicada, con tal de que los desplazamientos horizontales se encuentren dentro del "período elástico" de deformación de la estructura. En una serie de paneles ensayados*, el autor ha determinado que, al considerar un intervalo para δ , comprendido entre 0,2" y 1,0" con incrementos de 0,2", las rigideces relativas no experimentaron gran variación y la rigidez relativa media correspondía aproximadamente a la obtenida para $\delta = \delta_s = 0,5''$, que es el desplazamiento elegido para determinar ρ en este estudio.

3. PANELES ENSAYADOS EN ESTADOS UNIDOS

Se analizan en este trabajo los resultados de experiencias realizadas en 116 paneles de madera, empotrados en su base y solicitados por carga horizontal en la solera superior, en las instituciones norteamericanas: Forest Products Laboratory (F.P.L.) con 101 paneles ensayados y Housing and Home Finance Agency (H.H.F.A.) con 15 paneles ensayados.

3.1. Métodos de ensayo.

En las experiencias del F.P.L. los ensayos fueron realizados mediante una máquina de ensayos de un millón de libras (454 t) de capacidad máxima, usándose el dispositivo que aparece en la Fig. 4. La carga fue aplicada mediante un ascenso del cabezal superior de la máquina con una velocidad de $0,211(\text{pulg}/\text{min}) = 5,35(\text{mm}/\text{min})$.

También se pueden realizar ensayos de este tipo, aplicando la carga ho-

* Parte de los paneles de E.U.A. que se describen en capítulo 3.

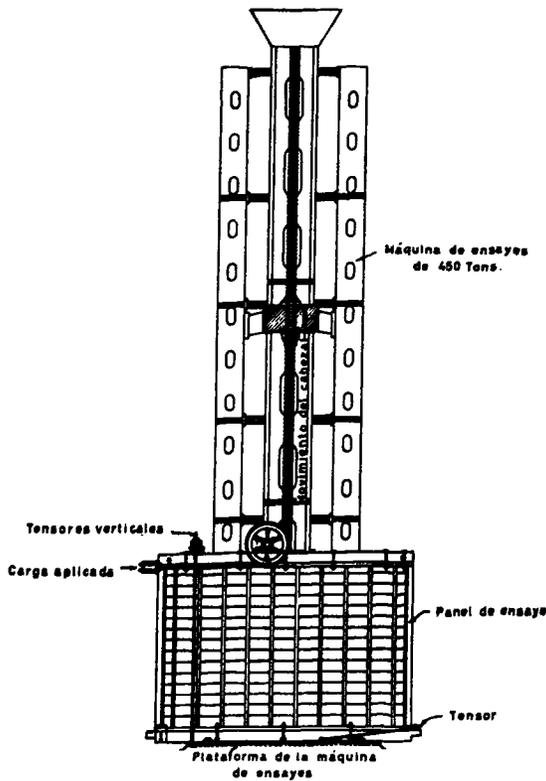


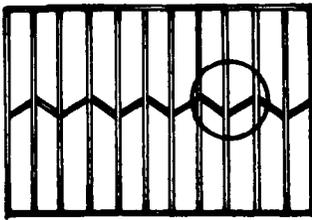
Fig. 4. Carga horizontal aplicada a un panel con máquina de ensayos.

rizontal mediante gatos hidráulicos.

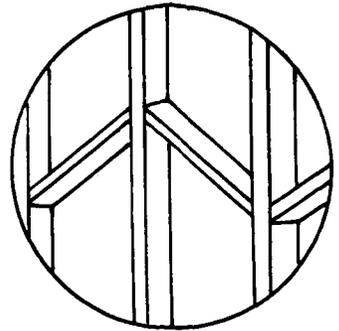
3. 2. Características de los paneles y tratamientos previos a los ensayos.

Los paneles ensayados tenían una estructura (pies derechos y soleras) en madera de 2'' x 4'', con los pies derechos colocados a 16'' entre ejes, aproximadamente, eran llenos o con vanos y estaban revestidos por una sola cara con revestimiento simple o doble. Los revestimientos eran de alguno de los siguientes materiales: tabla, yeso sobre listoneado, tablero de fibra prensada y terciado.

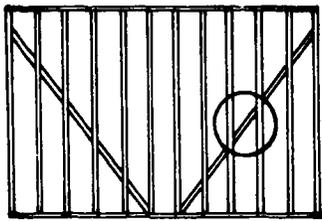
En los revestimientos de tablas, éstas se colocaron en sentido horizontal o diagonal (aprox. 45°); en los de tablero de fibra prensada las juntas eran sólo verticales, o verticales y horizontales, y en los de madera terciada las juntas eran sólo verticales o sólo horizontales. En la unión del revestimiento a la estructura se usaron clavos o adhesivos. En algunos casos se arriostraron los paneles con diagonales de madera de los tipos señalados en la Fig. 5; la mayoría de los paneles fueron ensayados en estado seco (7 a 13% de humedad) y unos pocos paneles, originalmente húmedos (superior al 30%), fueron deja-



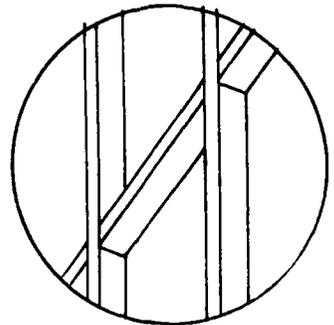
(a) Zig-Zag 2'' x 4'' (Z.Z.)



(a)



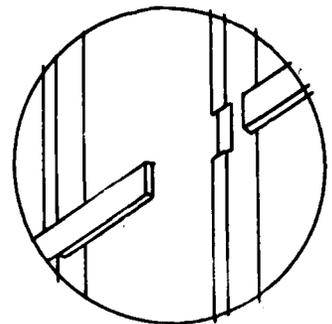
(b) Cortada 2'' x 4'' (C)



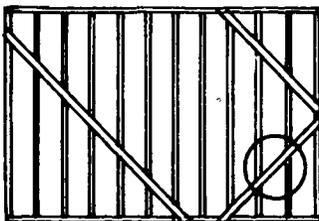
(b)



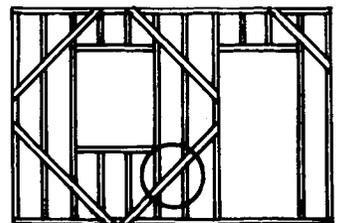
(c) Ensamblada 1'' x 4'',
2 diagonales (E₂)



(c), (d), (e)



(d) Ensamblada 1'' x 4'',
3 diagonales (E₃)



(e) Ensamblada 1'' x 4'',
5 diagonales (E₅)

Fig. 5. TIPOS DE DIAGONALES DE MADERA

dos secar durante un mes antes del ensayo, y en un caso se les sometió, además de lo anterior, a 1.000.000* de ciclos de vibración. Finalmente aparecieron también diversos paneles que se encontraban en estado seco (7 a 13% de humedad) y semi-seco (13 a 17% de humedad) que, previo al ensayo, fueron sometidos a diversos tratamientos tales como: exposición a sol y lluvia durante un mes, ciclo alternado de humedecimiento y secado con intervalos de 24 horas durante 5 días, climatización durante un mes con 94% de humedad relativa y 4,5° C, y distinto número de ciclos de vibración desde 19.000 hasta 150.000*. Además se ensayó un panel sin revestir y con 3 diagonales de madera 1" x 4" (E_s) ensambladas a los pies derechos.

Las dimensiones de los 116 paneles ensayados estaban distribuidas en la forma siguiente (longitud x altura): (a) 75 paneles de 14' x 9' (427 x 274 cm), (b) 7 paneles de 12' 1 $\frac{5}{8}$ " x 7' 4" (370 x 224 cm), (c) 16 paneles de 12' x 8' (366 x 244 cm) y (d) 18 paneles de 8' x 8' (244 x 244 cm). Las dimensiones (a) fueron elegidas como standard y las demás fueron "reducidas" a ellas, para los efectos de calcular los valores de ρ y R.

4. INTERPRETACION DE LOS ENSAYOS

Los paneles que se mencionan en el párrafo anterior, fueron todos referidos a un mismo tipo de panel (panel standard)***, siendo por ello posible comparar entre sí dos paneles cualesquiera.

La comparación entre paneles conviene hacerla en forma ordenada, eligiendo cada vez dos paneles que difieren entre sí en una sola característica. Consideremos por ejemplo, dos paneles cuyas características básicas son standard (2.2), que tienen revestimientos standard (2.3) unidos a las estructuras mediante clavos en posiciones similares y que difieren entre sí solamente en cuanto al largo de los clavos usados. Supongamos que en un panel se usan dos clavos de 2 $\frac{1}{2}$ " , y en el otro, dos clavos de 3" por tabla y pie derecho y que sus rigideces y resistencias relativas sean respectivamente ρ_1 , ρ_2 , y R_1 , R_2 . Entonces, las razones ρ_2/ρ_1 y R_2/R_1 nos dan una idea de la influencia que la característica "longitud del clavo" ejerce sobre las propiedades me-

*Se usó una mesa vibratoria con una amplitud aproximada de 1,4" (3,5 cm) y con una frecuencia aproximada de 110 ciclos/min. Los paneles fueron empotrados a la mesa en su parte inferior y sobre la solera superior se aplicó una carga repartida de 800 lb (363 kg). Se usaron ciertos sistemas de sujeción a base de rodillos, para evitar el movimiento transversal en los paneles. La vibración produjo desplazamiento horizontal de la solera superior con respecto a la inferior, equivalente a un 50 a 75% de la deformación en el "límite de proporcionalidad". En las diversas experiencias los paneles fueron sometidos a los siguientes números de ciclos de vibrado: 19.000, 28.000, 50.000, 150.000 y 1.000.000.

**En aquellos casos en que los paneles no tenían tamaño standard, los valores obtenidos fueron previamente "reducidos" a los standard.

cánicas mencionadas. Como en general se puede pensar en múltiples pares de paneles que difieran sólo en la característica anotada y cuyas demás características sean comunes a cada par, aun cuando ellas varíen de un par a otro, el conjunto de pares de paneles así definido conducirá a una serie de valores de ρ_2/ρ_1 y R_2/R_1 . Si este conjunto cubre una variedad bastante grande de paneles, podemos, con las reservas del caso, llegar a hacer un estudio estadístico de las distribuciones de ρ_2/ρ_1 y R_2/R_1 . En particular, los valores medios nos darán una idea general de las ganancias o pérdidas que, en las rigideces y resistencias relativas, producirán las variaciones de características tales como la "longitud del clavo" del ejemplo precedente.

En general los paneles norteamericanos permitieron formar diversos conjuntos de pares, que condujeron a la comparación -entre otras- de las características y variedades siguientes:

1. Número de secciones de un panel: 1 y 3.
2. Clase de revestimiento: simple y doble.
3. Vanos en el revestimiento: sin vanos (lleno); con un vano de ventana, y con dos vanos: uno de puerta y otro de ventana.
4. Inclinação de las juntas en el revestimiento: horizontal, diagonal y vertical.
5. Tipo de revestimiento: tablas de diversas características, yeso sobre listoneado, tablero de fibra prensada y tablero de terciado.
6. Sistema de unión del revestimiento a la estructura: clavado y encolado.
7. Longitud de los clavos de unión del revestimiento de tablas a la estructura: $2\frac{1}{2}$ " , 3" y $3\frac{1}{4}$ " .
8. Número de clavos usados en la unión del revestimiento de tablas a la estructura, por pie derecho y por tabla: 2, 3 y 4.
9. Distribución de los clavos usados en la unión de los revestimientos de tableros a la estructura: diversas distribuciones, tanto para tablero de fibra como de madera terciada.
10. Tipos de diagonales usadas en la estructura: sin diagonales, diagonales zig-zag, diagonal cortada, diagonales ensambladas de diversos tipos y diversos tipos de diagonales de zunchos.
11. Estado de humedad al armar el panel: seco, semi-seco y verde.
12. Tratamiento del panel previo al ensaye: sol y lluvia alternados, ciclos de humedad y secamiento, climatización, vibración, etc.

5. CONCLUSIONES

Al comparar los paneles en la forma que se señala en el párrafo anterior, a través de las rigideces relativas correspondientes (ρ), se llega a la serie de

conclusiones que se consignan más adelante. Estas conclusiones son de carácter restringido, debiéndose tener siempre presente el hecho de que las cifras comparativas de las rigideces de los distintos paneles, han sido extraídas de los resultados de las experiencias en los 116 paneles ya mencionados, de modo que los valores anotados deberían ser utilizados como indicativos de tendencias y no en forma estrecha. Para poder establecer cifras más definitivas, sería menester diseñar en forma específica experiencias en las cuales se utilizase una gran variedad de paneles de un tamaño standard adecuado y de modo que las características a estudiar apareciesen distribuidas en ellos en forma racional.

Las conclusiones más importantes son las siguientes:

5.01 Los paneles formados por una sola sección o por tres secciones agregadas acusaron prácticamente la misma rigidez; hay que destacar que en este último caso el sistema de unión entre las secciones, era eficiente. En los paneles de tres secciones se obtuvieron valores levemente superiores con respecto a los de una, presumiblemente debido a que en la unión de las secciones se formaban pies derechos dobles.

5.02 El revestimiento doble resultó mejor que el simple, dependiendo esto de los elementos constitutivos de estos tipos de revestimiento. Así por ejemplo, al calificarlos con respecto a las rigideces obtenidas, el revestimiento doble de tablas fue aproximadamente el doble mejor que el revestimiento simple de tablas; el revestimiento doble de tabla y yeso fue levemente mejor que el revestimiento simple de yeso; el revestimiento doble de tabla y yeso fue varias veces mejor que el revestimiento simple de tablas. En estos dos últimos ejemplos se nota el aporte preponderante del yeso a la rigidez del panel.*

5.03 Los paneles llenos resultaron algo superiores a los paneles con un vano de ventana, y entre 1,4 y 7,3 veces superiores a aquellos que tenían un vano de puerta y otro de ventana. Los paneles con un vano de ventana fueron aproximadamente el doble más rígidos que aquellos que tenían un vano de puerta y otro de ventana.**

5.04 Las rigideces de paneles con revestimiento diagonal de tablas fueron prácticamente las mismas ya fuera que las tablas estuviesen comprimidas o traccionadas debido a la acción de la carga horizontal, y resultaron bastante superiores a las de paneles con revestimiento horizontal, habiendo fluctuado las rigideces de los primeros entre 1,4 y 7,3 veces las de estos últimos.

* El yeso fue aplicado en forma de mortero con arena, en la proporción de 1:1 $\frac{3}{4}$ en peso, sobre listoneado horizontal de madera de $\frac{3}{4}$ " con $\frac{1}{4}$ " de separación, en dos capas, haciéndose los ensayos una semana más tarde.

** Los vanos que aparecían en los paneles correspondientes eran: (a) para ventanas dobles, de 26" x 28" (66 x 71 cm) o 28" x 28" (71 x 71 cm), (b) para puertas, de 2'8" x 6'8" (81 x 203 cm) o 3' x 7' (91 x 213 cm).

5.05 En los paneles revestidos con tableros de fibra* o terciado, se obtuvieron mejores rigideces cuando las uniones entre las láminas eran verticales que cuando eran predominantemente horizontales.

5.06 La rigidez prácticamente no varió cuando se usó como revestimiento tabla de 1" x 8" o tabla de 1" x 6". La tabla de 1" x 8" clavada a los pies derechos con dos clavos de 2½" produjo una rigidez cerca de un 60% superior a la producida por la tabla tinglada de ½" x 6" y levemente superior a la producida por la tabla tinglada de ¾" x 8"***.

5.07 El revestimiento de yeso*** resultó bastante superior al de tabla horizontal de 1" x 8" con dos clavos de 2½" por pie derecho y por tabla.

5.08 El tablero de fibra* de 25/32" (19,8 mm) de espesor con juntas verticales, ligado a la estructura con clavos de 2½" a las distancias de 3" (76 mm), 6" (152 mm) y 5½" (135 mm) en pies derechos exteriores, pies derechos interiores y soleras, respectivamente, aumentó las rigideces de los paneles a 2,5 veces las obtenidas en los casos que el revestimiento era horizontal de tablas de 1" x 8" con dos clavos de 2½" por pie derecho y por tabla. A su vez las rigideces de estos últimos fueron similares a las obtenidas en paneles con revestimientos de tablero de fibra* del mismo espesor que el anterior, pero cuyas juntas eran predominantemente horizontales y ligadas sólo a los pies derechos con clavos de 2", a 4" (102 mm) de distancia entre sí.

5.09 Los terciados de ¼" (6,3 mm) y ⅝" (15,9 mm) de espesor con juntas verticales, usados como elementos de revestimiento produjeron rigideces 3,5 y 4,7 veces superiores a las obtenidas en paneles con revestimiento horizontal de tablas de 1" x 8", con dos clavos de 2½" por pie derecho y por tabla.

5.10 El revestimiento de terciado de ¼" (6,3 mm) de espesor, ligado a la estructura con clavos de 2", a 5" (127 mm) de distancia en pies derechos exteriores y soleras, y a 10" (254 mm) en pies derechos interiores, condujo a rigideces algo superiores que las obtenidas cuando se usó tablero de fibra* de 25/32" (19,8 mm) de espesor ligado a la estructura como se indica en el primer caso de 5.08; a pesar del mayor espesor de la madera prensada y de que en ella se han usado clavos de mayor longitud y en mayor cantidad.

5.11 Al comparar el revestimiento de terciado de ¼" (6,3 mm) de espesor clavado a la estructura igual que en 5.10, con el de terciado de ⅝" (15,9 mm) de espesor ligado a la estructura con clavos de 2½", a 6" (152 mm) de distancia en pies derechos exteriores y soleras y a 12" (304 mm) en pies derechos interiores, se determinó que en este último caso las rigideces fueron levemente

*Los tableros de fibra usados tenían una densidad con respecto al peso seco al horno y volumen seco al aire de 0,31 g/cm³ y pertenecían por ende al tipo aislante rígido, según Informe F.A.O. (1959).

**Las tablas tingladas mencionadas tenían una sección similar a los tipos T8 a T12 que aparecen en la norma INDITECNOR 30-101.

***Ver nota * al pie de la página 195.

superiores a las del primero.

5.12 La unión del terciado a la estructura mediante un adhesivo (encolado) produjo rigideces en los paneles bastante superiores a las obtenidas en aquellos casos en que se usaron clavos como elementos de unión.

5.13 Cuando en los revestimientos de tablas de 1" x 8" se usaron tres clavos por pie derecho y por tabla (con el tercer clavo ubicado al centro de la tabla) en lugar de dos, prácticamente no se logró una ganancia en la rigidez; mientras que cuando se usaron cuatro clavos de 2½" en vez de dos, la rigidez mejoró en cerca de un 70%.

5.14 Cuando se usó en tableros de fibra* o terciado, para su unión a la estructura un clavado doble de otro dado**, la rigidez mejoró entre un 10% y un 50%.

5.15 Cuando se usaron clavos de 3" en la unión a la estructura de un revestimiento de tablas de 1" x 8", la rigidez mejoró en cerca de un 40% de aquella que se obtuvo al usar clavos de 2½"; al usar clavos de 3¼" no se observó una ganancia adicional.

5.16 Al comparar paneles sin diagonales con otros que tenían distintos tipos de diagonales de madera (Fig. 5), se observó que estos últimos eran superiores a los primeros en cuanto a su rigidez, en los siguientes porcentajes:

- (a) El panel con diagonal zig-zag de 2" x 4" (Z.Z.) en un 30%.
- (b) El panel con 2 diagonales cortadas de 2" x 4" (C) en un 60%.
- (c) El panel con 2 diagonales ensambladas de 1" x 4" (E₂) en un 160%.
- (d) El panel con 3 diagonales ensambladas de 1" x 4" (E₃) en un 290%.
- (e) El panel con 5 diagonales ensambladas de 1" x 4" (E₅) en un 110%.

5.17 El sistema de tres diagonales ensambladas (E₃) demostró ser cerca de un 50% más efectivo que el sistema de dos (E₂).

5.18 El uso de madera seca en un panel sin tratamiento previo aumentó la rigidez en 1,7 veces de la que se obtuvo cuando el panel armado con madera originalmente verde, se dejó secar un mes, y en 1,4 veces cuando, además de lo anterior, se sometió el panel a 1.000.000 de ciclos de vibración,*** previamente al ensayo. La menor diferencia que se observa en este último caso puede deberse a una ulterior reducción de la humedad durante el período adicional de vibración.

5.19 Un panel seco sin tratamiento previo produjo una rigidez superior en un 40% a la de un panel expuesto a la intemperie (sol y lluvia alternados durante un mes), previamente al ensayo.

*Ver nota * al pie de la página 196.

**En los tableros de fibra se usaron clavos de 2½", a las distancias en pies derechos exteriores, interiores y soleras de 3" (76 mm), 6" (152 mm) y 5⅓" (135 mm) para el clavado simple y de 1½" (38 mm), 3" (76 mm) y 2⅓" (68 mm) para el doble, respectivamente. En los de terciado de ¼" (6,3 mm) de espesor, se usaron clavos de 2" a las distancias tomadas en el mismo orden anterior de 5" (127 mm), 10" (254 mm) y 5" (127 mm), para el clavado simple y de 2½" (64 mm), 5" (127 mm) y 2½" (64 mm) para el clavado doble.

***Ver nota * al pie de la página 193.

5.20 Los demás tipos de tratamiento (ciclos de humedad y secamiento, climatización y vibrado) a que fueron sometidos algunos paneles, previamente al ensayo, no ejercieron una influencia de gran importancia sobre la reducción de la rigidez.

5.21 El uso de suples de 2" x 4" sobre el dintel de puerta, encima del travesaño superior y debajo del travesaño inferior de ventana, en los paneles con un vano de puerta y uno de ventana, mejoró muy levemente la rigidez del panel.

5.22 Un panel con revestimiento horizontal de tablas y con diagonales ensambladas del tipo E₃, resultó ser cerca de un 70% más rígido que la estructura sola, rigidizada con el mismo tipo de diagonales.

6. RECOMENDACIONES

De las conclusiones enunciadas en el capítulo anterior, se pueden formular algunas recomendaciones de orden práctico, debiendo en todo caso ser usadas con la cautela que aconseja el hecho de emanar de la interpretación de los resultados en un número limitado de experiencias. Ellas se basan principalmente en las comparaciones de las rigideces de los paneles y parcialmente en consideraciones económicas.

6.1. *Longitud (5.01)**

Los tabiques de madera podrán ser construídos, si así se desea, de varias secciones agregadas, con tal que los sistemas de unión entre ellos sean eficientes.

6.2. *Humedad (5.18)*

Es desde todo punto de vista recomendable secar la madera antes de armar un panel, ya que el uso de madera verde, aun cuando el panel tenga la posibilidad de secarse subsiguientemente durante un mes, baja notablemente su rigidez.

6.3. *Efectos climáticos (5.19)*

Los paneles deberán protegerse de la acción directa del sol y la lluvia alternados, pues de lo contrario sus rigideces se verán comprometidas.

6.4. *Efectos sísmicos (5.20)*

Los paneles de madera respondieron muy eficientemente a la acción de ciclos de vibración de características tales, que permiten inferir un buen comportamiento a la acción sísmica, por lo cual su uso resulta recomendable en países tales como Chile.

*Los números entre paréntesis representan las conclusiones de las cuales se ha podido extraer cada una de las recomendaciones.

6.5. Estructura.

6.5.1. Diagonales (5.16 y 5.17)

Es evidentemente ventajoso usar diagonal ensamblada en lugar de cortada o zig-zag, tanto por ser más económico como por mejorar notablemente la rigidez de un panel. Es preferible usar un sistema de arriostamiento con tres diagonales ensambladas (E_3) en lugar de dos (E_2), en la estructura de un panel.

6.6. Revestimiento

6.6.1. Tablas.

6.6.1.1. Inclinación de las juntas (5.04). El revestimiento diagonal de tablas es de gran eficiencia, siendo indiferente la orientación que se dé a las tablas.

6.6.1.2. Clavado a estructura.

6.6.1.2.1. Número y ubicación de clavos (5.13). Las tablas deberán clavarse a los pies derechos con un número par de clavos (2,4, etc.), simétricamente dispuestos con respecto al centro de la tabla, lo más cerca posible de los bordes de ella, para aumentar así el momento resistente en la unión de tabla-pie derecho. Un número impar de clavos exige que uno de ellos quede ubicado al centro de la tabla; no contribuyendo por ende al momento resistente.

6.6.1.2.2. Número y largo de los clavos (5.13 y 5.15). En paneles con revestimiento de tablas clavadas a los pies derechos, se puede mejorar la rigidez, ya sea aumentando el número de clavos o bien usando clavos más largos (hasta 3''), obteniéndose mejores resultados con el primero de estos sistemas.

6.6.2. Tablero.

6.6.2.1. Inclinación de juntas (5.05 y 5.08). Al revestir un panel con algún tipo de tablero (o lámina) deberá cuidarse que las uniones sean predominantemente verticales.

6.6.2.2. Comparación entre terciado y fibra* (5.10). El terciado es preferible al tablero de fibra*, aun cuando los espesores de ellos lleguen a ser de $\frac{1}{4}$ " (6 mm) y $\frac{25}{32}$ " (20 mm) respectivamente.

6.6.2.3. Espesor (5.11). Si se ha de revestir un panel con terciado, es preferible usar uno delgado (p. ej. 6mm), en vez de uno grueso (p. ej. 16 mm), ya que la rigidez de este último es muy poco superior a la del primero y no justifica el mayor costo.

6.6.2.4. Unión a la estructura.

6.6.2.4.1. Clavado (5.14). En el clavado de tableros de fibra* o terciado, a la estructura, las distancias entre los clavos en las distintas partes (pies derechos interiores, pies derechos exteriores y soleras) no convendrá que sean menores que ciertos valores.

6.6.2.4.2. Comparación entre clavado y encolado (5.12). Es mucho mejor unir

* Ver nota * al pie de la página 196.

los revestimientos de láminas a la estructura, con un adhesivo adecuado que con clavos. (Pueden usarse ambos medios, sirviendo el clavo como elemento de presión en la línea de cola).

6.6.3. Yeso (5.02 y 5.07).

Si se ha de usar revestimiento de yeso, es preferible que sea simple y no doble (sobre revestimiento horizontal de tablas) ya que la pequeña ganancia en rigidez que representa la última solución, no compensa su mayor costo.

6.6.4. Comparación entre tabla y tablero (5.08 y 5.09).

A espesores iguales resulta muy ventajoso el uso, como revestimiento, de tablero de fibra* con junta vertical que de tabla con junta horizontal. El uso de tablero de terciado con junta vertical, como revestimiento es muy superior al de tabla con junta horizontal, aun cuando el espesor del terciado sea bastante inferior al de la tabla (ej.: terciado de $\frac{1}{4}$ " y tabla de 1").

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. RETAMAL, E. v EGAN, I. *Estudio experimental de muros de albañilería*. Memoria para optar al título de Ing. Civil, U. Ch. 1960
2. TRAYER, G. W. *The rigidity and strength of frame walls*. F.P.L. Rept. 896, 1956.
3. TRAYER, G. W. *Plywood as a structural covering for frame walls and wall units*. F.P.L. Rept. 1025, 1934.
4. LUXFORD, R. F. *Rigidity and strength of frame walls sheathed with fiberboard*. F.P.L. Rept. 1151, 1953.
5. ERICKSON, E. C. O. *The rigidity and strength of braced and unbraced walls covered with bevel siding*. F.P.L. R1261, 1953.
6. ERICKSON, E. C. O. *Rigidity and strength of wall frames braced with metal strapping*. F.P.L. R1603, 1955.
7. RUSELL, W. A. *Expected resistance to racking of douglas fir plywood-sheathed walls*. H.H.F.A. Tech. Bull. N° 13, p. 11, 1950.
8. HEYER, O. C. y WILSON, T. R. C. *Technique of house nailing*. F.P.L. y H.H.F.A. 1947.
9. Norma INDITECNOR 30-101. *Maderas: unidades empleadas, dimensiones y perfiles*, 1961.
10. *Wood handbook*. F.P.L. 1955.
11. *Tableros de fibra y tableros de madera aglomerada*. Informe F.A.O. 1959.

Ver nota al pie de la página 196.

RESISTANCE TO RACKING OF FRAME WALL PANELS**SUMMARY:**

The general problem of a panel restrained at the base and submitted to a horizontal load acting at the upper plate is being analyzed.

A definition is given of both rigidity and strength coefficients, which provide a means of comparing the resistance of a given panel with a standard panel, under the load action described above. The convenience of defining rigidity through a range of variation of the horizontal displacement, is pointed out

A general description of testing procedure and numerous characteristics of 116 frame wall panels tested under racking loads in U. S. A., at F. P. L. (101 panels) and H. H. F. A. (15 panels) is given. The rigidity and strength coefficients obtained, enabled the author to make an analysis of data, reach some conclusions and make recommendations which may be of interest to engineers, architects and builders.