



Madera y Bosques

ISSN: 1405-0471

publicaciones@ecologia.edu.mx

Instituto de Ecología, A.C.

México

Ordóñez Candelaria, Víctor Rubén  
Muros de cortante en estructuras de madera  
Madera y Bosques, vol. 1, núm. 2, otoño, 1995, pp. 37-50  
Instituto de Ecología, A.C.  
Xalapa, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61700205>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica  
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

## Muros de cortante en estructuras de madera

V. Rubén Ordóñez Candelaria <sup>1</sup>

### RESUMEN

Este trabajo se realizó con el fin de obtener información sobre el comportamiento estructural de muros bajo cargas laterales, contruidos con bastidores de madera y algún forro que proporcione rigidez y resistencia en su plano. Se ensayaron seis forros diferentes considerados como los más apropiados para la construcción con madera en México. Se presentan gráficas de carga - deformación para tener idea del comportamiento de los muros de cortante ante las acciones horizontales (acción de sismo o viento). También se proponen valores de diseño para cada uno de los forros, incluyendo información del tipo de conectores utilizados.

### PALABRAS CLAVES

Muros de cortante, forro estructural, bastidor, aplanado de mortero, cargas laterales.

### ABSTRACT

Structural performance of shear walls was studied in this project, using the standard wall frame and six different sheathings for structural uses in walls under racking loads. The sheathings tested were those deemed the most appropriate for the wood construction industry in Mexico. Curves of load - deflection for racking test are presented to give an idea of the behavior of shear walls against racking loads (resulting from earthquake or wind). Also included are proposed design vales for each kind of sheathing and connector used.

### KEYWORDS

Shear walls, structural sheathing, wall frame, cement mortar, racking loads.

---

<sup>1</sup> Investigador. Departamento de Productos Forestales y Conservación de Bosques. Instituto de Ecología, A.C. Apdo. Postal 63. Xalapa, Ver., 91000, México.  
Manuscrito recibido para su publicación el 12 de Julio de 1994.

## INTRODUCCION

Todas las estructuras están sujetas a la acción de fuerzas laterales generadas por la acción del viento y en algunas zonas geográficas pueden estar sujetas a fuerzas laterales provocadas por el movimiento del suelo durante la acción de un sismo. Otros tipos de cargas laterales que puedan actuar en las estructuras son las presiones de tierra o explosiones. En este trabajo se presenta una propuesta para el diseño de los sistemas contruidos con madera para resistir los diferentes tipos de cargas laterales.

Los sistemas constructivos que resisten las cargas laterales en una estructura de madera se muestran en la figura 1; cada uno de los subsistemas de muros, pisos y techos forrados de duela, contrachapados u otro tipo de tableros, se debe diseñar de tal manera que pueda resistir cargas laterales además de las verticales, en este trabajo solo se estudia el muro bajo cargas laterales en su plano. A los elementos verticales se les denominan "muros de cortante" y a los horizontales "diafragmas". Un aspecto importante es el funcionamiento correcto de estos sistemas, lo constituyen las conexiones necesarias para asegurar que éstos actúen como unidades integrales y que esas unidades se interconecten en la construcción como un todo para asegurar el funcionamiento aceptable de la estructura completa.

El uso de la madera en México para la construcción de estructuras permanentes se está incrementando cada vez más, y una aplicación importante es en la vivienda. Para el diseño estructural de las construcciones se requiere información técnica puesto que el uso óptimo de los materiales se da en la medida en que la información es más confiable. Los muros son elementos que representan un

volumen importante de la construcción y de los cuales depende la seguridad de la estructura cuando actúa sobre ella fuerzas horizontales (Fig.1). En México se ha empezado a generar información sobre la rigidez y resistencia de estos elementos utilizando diversos materiales de forro como contrachapados o similares, duela, aplanados, etc.

En este trabajo nos enfocaremos a la revisión de los muros de cortante, de los cuales haremos un análisis de diversas soluciones, revisaremos el comportamiento de algunos de ellos y con los datos de las pruebas propondremos valores de resistencia para el diseño o revisión de muros de cortante. Las soluciones que planteamos son las que se pueden construir con relativa facilidad utilizando los materiales disponibles en el país.

## TIPOS DE SOLUCIONES

Las soluciones de "muros de cortante" que revisaremos en este inciso son las que cuentan como elemento básico un bastidor sobre el cual se colocan los diferentes materiales de recubrimiento que sirven para impartirle resistencia y rigidez al muro en su plano. Las características del bastidor se muestran en la figura 2.

La cubierta (o forro) de los muros de cortante puede ser de muy diversos productos a base de madera u otro material. Entre los más comunes se encuentran los tableros de contrachapados u otro tipo de tableros como son los estructurales de partículas; se utiliza también duela machihembrada y aplanado con mortero de cemento-arena reforzado con malla de alambre. Cada uno de éstos se coloca sobre el bastidor siguiendo las recomendaciones básicas de la figura 3, sin que sea esta la única forma de utilizarlos, ya que la resistencia de los

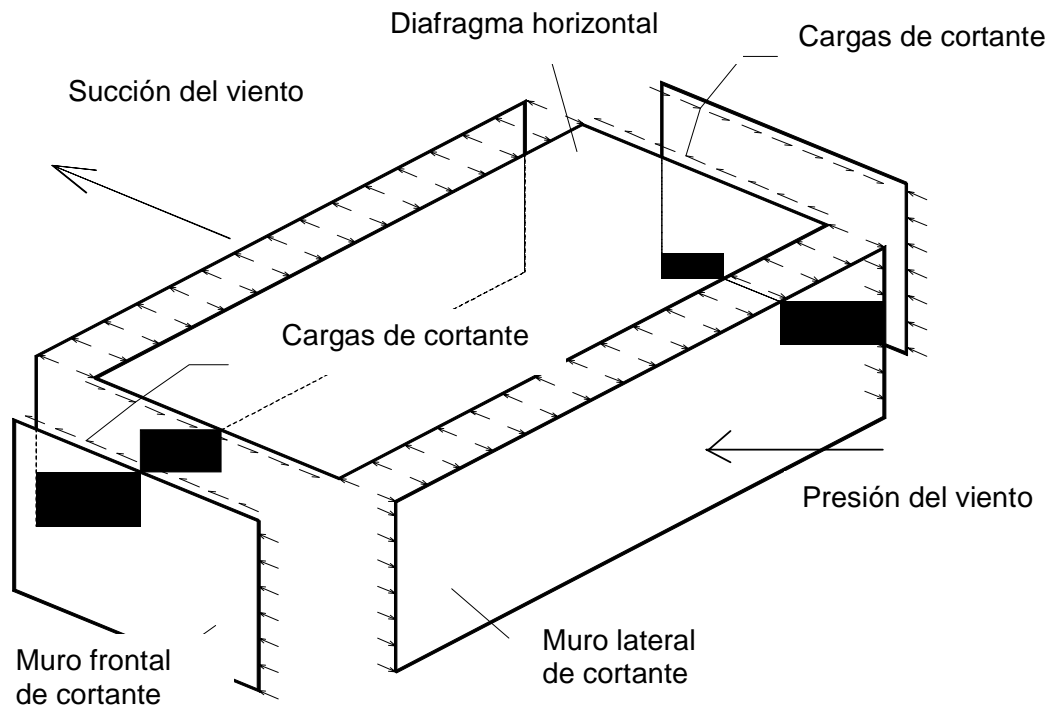


Figura 1 Muros de cortante y diafragmas horizontales de una estructura de madera

paneles depende del tipo de conectores y de la separación entre ellos, por lo tanto, si se requiere un elemento con mayor resistencia se modificaría la disposición y tamaño de los conectores.

Se estudiaron experimentalmente muros con seis recubrimientos diferentes, considerados como los de mayores posibilidades de uso en la construcción de viviendas, que son las siguientes:

- a. Contrachapado de madera de pino de 9 mm de espesor, en tableros de 122 x 244 cm.
- b. Contrachapado de madera de pino de 12 mm de espesor, en tableros de 122 x 244 cm.
- c. Duela machihembrada de madera de pino de 19 x 87 mm de sección, colocada horizontalmente.
- d. Duela machihembrada de madera de pino de 19 x 87 mm de sección, colocada diagonalmente, sujeta a cargas de tensión.
- e. Duela machihembrada de madera de pino de 19 x 87 mm de sección, colocada diagonalmente, sujeta a cargas de compresión.
- f. Forro con aplanado de mortero cemento:arena de 15 mm de espesor y reforzado con malla metálica (tela de gallinero).

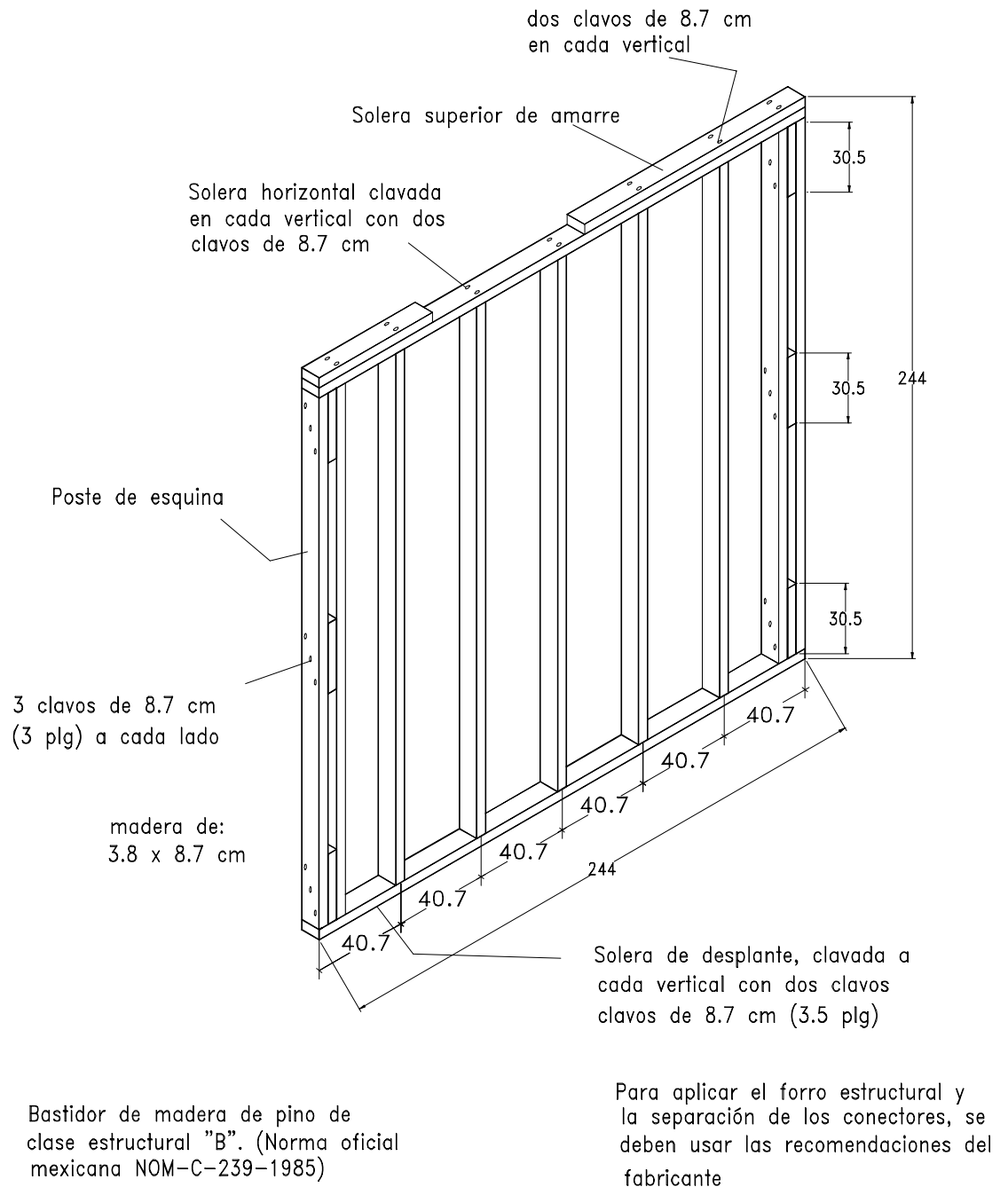


Figura 2. Bastidor de madera para construir muros de cortante colocándole diversos tipos de forros estructurales

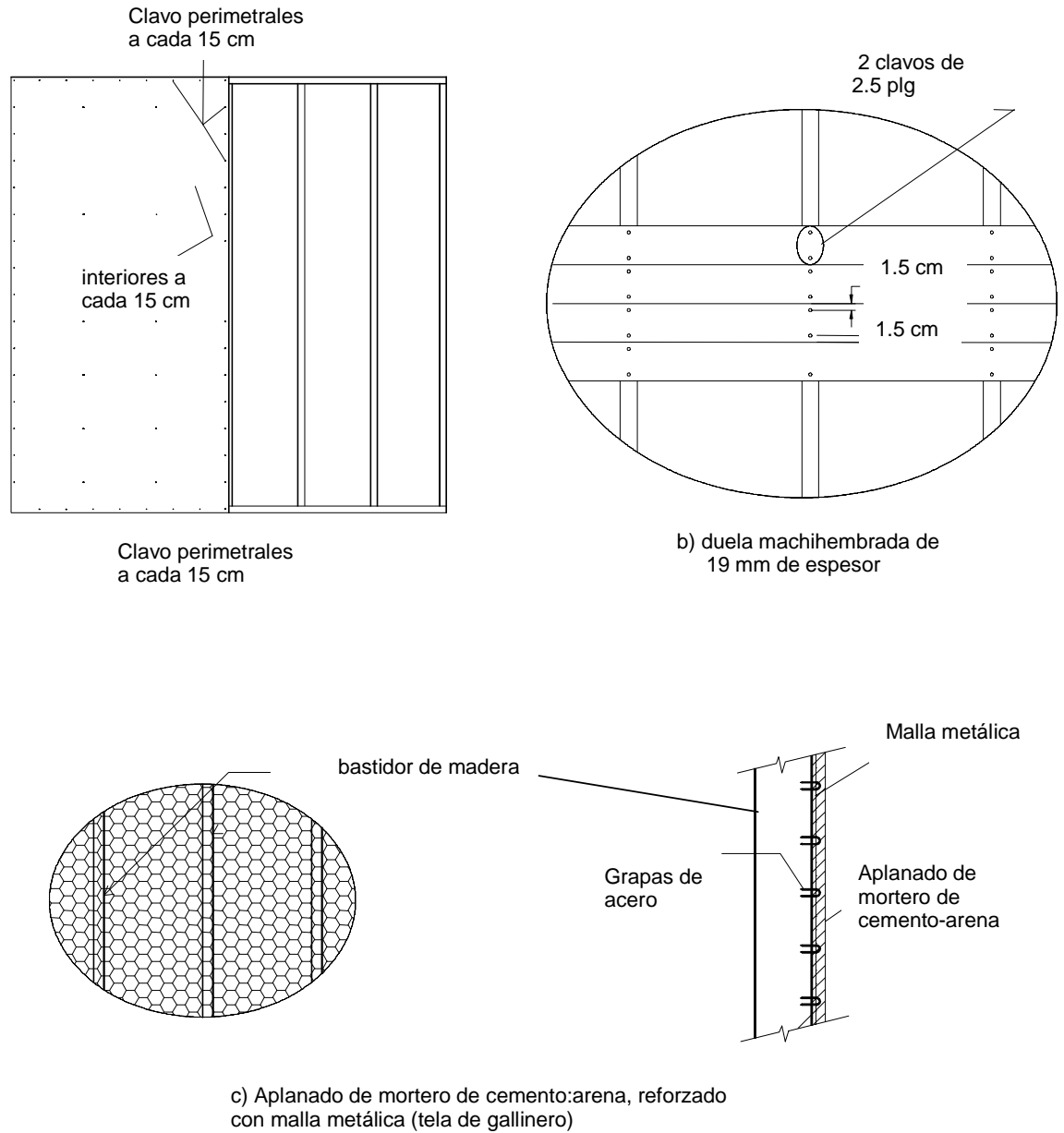


Figura 3. Ejemplos de forro para usar en muros de cortante

En la tabla 1 se presenta una descripción de los tableros ensayados para cada uno de los diferentes forros. Los bastidores que se utilizaron para la fabricación de los muros cumplen con lo especificado en las normas de las ASTM E72-80(1981), y utilizando madera de pino de clase estructural "B" clasificada conforme a la NOM-C-239-1985 (DGN, 1985) en condición seca (CH = 18%).

Los tableros de recubrimiento (forro) se montaron sobre los bastidores apegándose a las recomendaciones de

algunos manuales de construcción, como Sherwood and Stroh (1989). Para el caso de los tableros de cemento se propuso el procedimiento, ya que no se encontró información publicada al respecto; el esfuerzo de malla metálica se fijó al bastidor utilizado grapas metálicas galvanizadas y posteriormente se aplicó el aplanado. En la tabla 1 se describen los conectores y su separación para los demás forros y en la figura 3 se observan los detalles de aplicación como ya se indicó.

Tabla 1. Características de los muros ensayados

TIPO DE FORRO	CONECTORES	SEPARACION DE CONECTORES, cm	
		borde	int
a) Contrachapado de madera de pino de 9 mm de espesor.	Clavos de 51 mm (2 pulg)	15	30
b) Contrachapado de madera de pino de 12 mm de espesor.	Clavos de 63.5 mm (2.5 pulg)	15	30
c) Duela machihembrada de pino, colocada en forma horizontal.	Clavos de 63.5 mm (2.5 pulg)	(1)	(1)
d) Duela machihembrada de pino, colocada en diagonal sujeta a cargas de tensión.	Clavos de 63.5 mm (2.5 pulg)	(1)	(1)
e) Duela machihembrada de pino, colocada en diagonal sujeta a cargas de compresión.	Clavos de 63.5 mm (2.5 pulg)	(1)	(1)
f) Aplanado de cemento-arena en proporción de 1:3, de 15 mm de espesor, reforzado con malla de alambre.	Grapas galvanizadas(2)	20	30

1 Se usaron dos clavos en el cruce de cada duela con los verticales del bastidor

2 Grapas iguales a las que se utilizan en las cercas con alambre de púas

## DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA Y RIGIDEZ

### Procedimiento de pruebas

La figura 4 presenta un esquema del montaje de las pruebas que se realizaron para definir las resistencia y rigidez de los muros. En esta se muestra la forma de aplicación de la carga, y los puntos donde se midieron las deformaciones y desplazamientos. La carga se aplicó por medio de un cilindro hidráulico de 25 toneladas de capacidad tomando las lecturas de cargas con un manómetro calibrado con la Máquina Universal con una resolución de 50 kg. Las deformaciones y desplazamientos del muro se obtuvieron por medio de indicadores de carátula; en el punto 1 se tiene la deformación total del muro ( $d_1$ ), en el punto 2 el posible desplazamiento ( $d_2$ ) de la base del muro y en el punto 3 el desplazamiento vertical ( $d_3$ ) debido a posibles rotaciones del muro. La deformación por cortante ( $d$ ) del muro se obtiene con la siguiente expresión:

$$d = d_1 - d_2 - d_3$$

El montaje de las pruebas se efectuó conforme a la norma ASTM E72-80 (1981). El Procedimiento de carga empleado consistió de cuatro etapas; en la primera el muro se cargó de 0 a 400 kg con un rango de velocidad tal que se alcanzaran 400 kg en no menos de 2 minutos; en este punto se descargó el espécimen permitido se recuperación y registrando la deformación permanente causada por este valor de carga; en la segunda y tercera etapa se alcanzaron valores de cargas de 800 kg y 1200 kg respectivamente, con la misma velocidad de carga que la aplicada en la etapa 1; también se descargó el muro y se registraron las deformaciones permanentes en cada una de ellas. Finalmente, en la última etapa se aplicó

carga hasta que fallara el muro o cuando la deformación horizontal del mismo superara los 10 cm. En cada etapa de carga se registraron las deformaciones correspondientes a intervalos de 100 kg. Con el fin de observar el comportamiento de cada uno de los diferentes tipos de recubrimiento se obtuvo la fórmula de una curva de ajuste de los valores de las pruebas tomando únicamente los datos de prueba como si se tratara de una carga continua desde cero hasta la carga máxima; los resultados de las pruebas se muestran en las gráficas de la 5 a 10.

La resistencia y rigidez de los muros se calcularon conforme a lo establecido en la norma ASTM E564-76 (1976). La resistencia simplemente consiste en dividir la carga máxima por la longitud del espécimen, esto es:

$$S_u = \frac{P_u}{b} \quad (1)$$

Donde:

- $S_u$  = Resistencia última a cortante del diafragma, kg/m
- $P_u$  = Carga máxima soportada por el diafragma, kg
- $b$  = Longitud del muro de cortante medido paralelamente a la línea de acción de la carga, m

La rigidez a cortante de los diafragmas se calculó con la siguiente expresión:

$$G' = \frac{Pa}{bd} \quad (2)$$



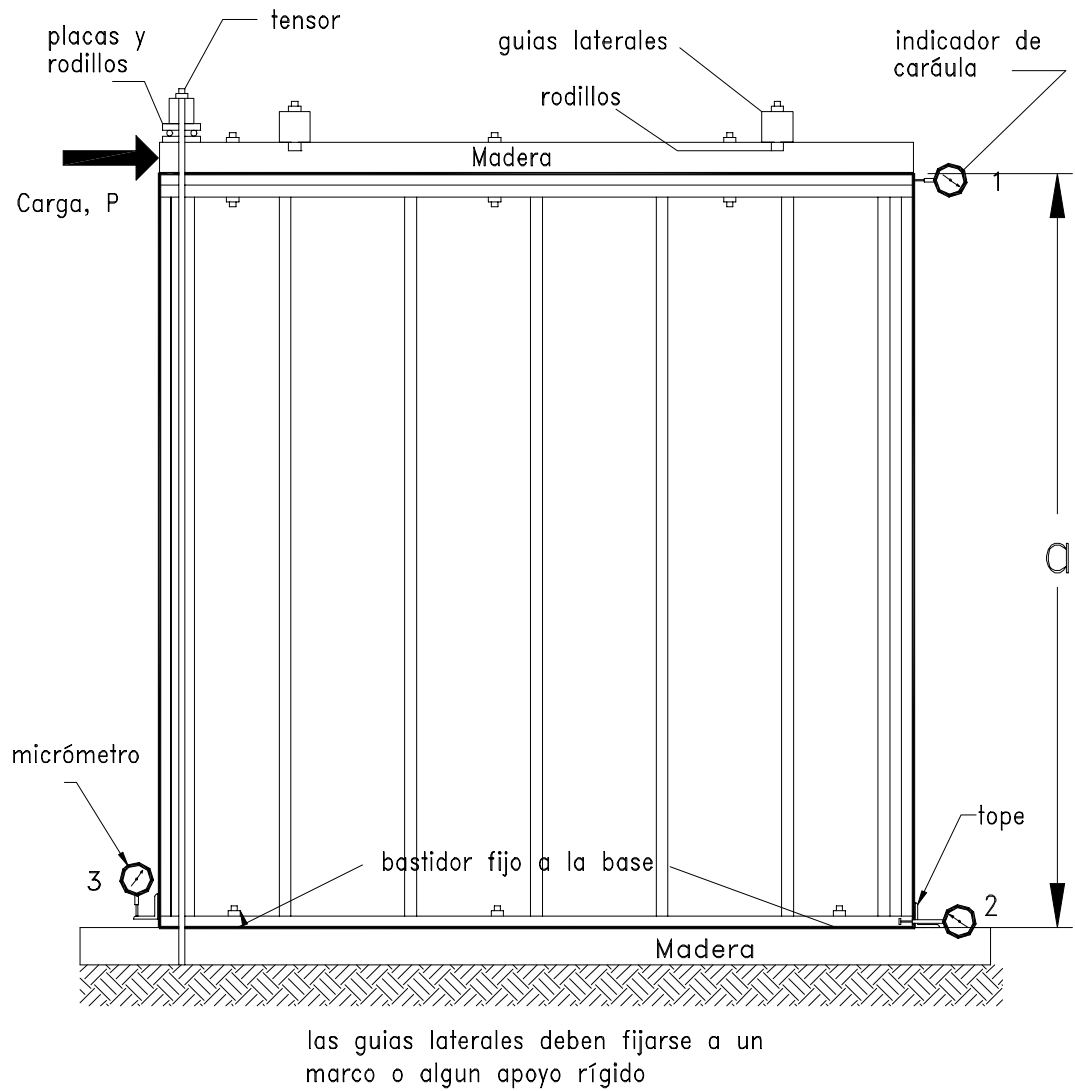


Figura 4. Montaje de las pruebas de muros sujetos a cargas horizontales

Donde:

- $G'$  = Rigidez a cortante del muro obtenida de la prueba, incluyendo la deformación del sistema de conexiones, kg/m
- $P$  = Carga concentrada en el extremo del muro. Aproximadamente 1/3 de la carga última ( $P_u$ ), kg
- $a$  = Altura del muro de cortante como voladizo, m
- $b$  = Longitud del muro de cortante medido paralelamente a la línea de acción de la carga, m
- $d$  =  $d_1 - d_2 - d_3$ . Deformación por cortante del muro (incluye la deformación por cortante del recubrimiento y la deformación de los conectores), m

## RESULTADOS

Los resultados se presentan en la Tabla 2, y consisten de los valores promedio de rigidez y resistencia de las pruebas que se hicieron con cada uno de los forros. En las figuras 5 a la 10 se observa la curva de carga-deformación de los muros de cortante.

Resulta importante hacer notar que el valor de la resistencia de los diafragmas cubre un rango amplio, que va desde la resistencia de la duela horizontal (Fig. 7) hasta el otro extremo representado por la duela inclinada sujeta a cargas de tensión (Fig. 8) con una resistencia diez veces superior a la de la duela horizontal. Con el uso de duelas colocadas horizontalmente, el muro tiene la desventaja de grandes deformaciones bajo las cargas horizontales con los problemas que estos generan. Cambiando la posición del mismo material, como el caso de la duela inclinada a tensión, se mejora enormemente los valores de resistencia, esto debido al número de duelas de la franja central, que actúan como diagonales en tensión, así

como el número de conectores que interactúan para obtener un diafragma con muy alta resistencia. No ocurre lo mismo con la duela inclinada en compresión (Fig. 9) porque las duelas de la franja central generan cargas sobre los elementos verticales de los extremos del bastidor, generando en algunos casos la falla de estos. Y en otros, los clavos ubicados en los extremos de las duelas agotan su capacidad. Pero debe tenerse en cuenta que la acción de las fuerzas sísmicas es alternada por lo que la duela inclinada estaría sujeta a cargas de tensión y compresión cíclicamente.

La falla de los muros con contrachapado (Fig. 3 y 6) está gobernada por la deformación de los conectores en las esquinas con las mayores concentraciones de esfuerzos. No existe una diferencia muy marcada entre ambos espesores como la que hay entre los otros tipos de forro, pero se ve que son de los paneles con valores altos de resistencia.

Los muros con aplanado de cemento (Fig. 10) su resistencia es de valor intermedio; se observó que depende directamente de la resistencia del alambre de la tela de gallinero, puesto que se notó en todos los muros ensayados que el tablero quedó prácticamente íntegro y los conectores rompieron el alambre de la malla. Es de esperar que una mayor cantidad de conectores en el perímetro del tablero incremente la resistencia de este tipo de forro; esto se deduce al analizar el tipo de falla. Otra posibilidad para aumentar la resistencia parece ser el incremento en el diámetro del alambre o algún tipo de refuerzo perimetral en la malla. Los muros con este tipo de forro resultaron ser los de mayor rigidez, sin embargo tienen un comportamiento frágil con baja absorción de energía. Este comportamiento no es recomendable cuando la estructura es solicitada por un

sismo o viento. Es posible cambiar este tipo de comportamiento haciendo modificaciones al sistema constructivo, para obtener un comportamiento con mayor ductilidad en este tipo de muros como el que presenta una de las curvas que se extiende mas a la derecha que las otras dos. Para lo cual es necesario realizar pruebas variando los factores que influyen en el comportamiento, tales como tipo y diámetro de la malla, separación de conectores, etc.

Un material que se confirma como adecuado para construir edificios que

puedan enfrentar con éxito a los sismos o vientos es la madera contrachapada ya que la energía que puede absorber es mayor que el de los demás materiales como se puede observar en las curvas de carga-deformación.

En la tabla 2 se presenta una propuesta de valores de diseño para cada uno de los forros estudiados, que se obtuvieron aplicando un factor de seguridad de 3 ( $FS = 3$ ), en un caso, y en el otro limitando los desplazamientos horizontales de entrepiso a  $1/240$  de su altura, (DDF, 1987).

Tabla 2. Valores promedio y mínimo resistencia y rigidez de los forros estudiados

TIPO DE MURO	RESISTENCIA kg/m	RIGIDEZ kg/m	RESISTENCIA DE DISEÑO kg/m	
			FS = 3	H/240
a) Con forro de contrachapado de 9 mm de espesor (5 pruebas).	992	115,600	<b>331</b>	394
b) Con forro de contrachapado de 12 mm de espesor (5 pruebas).	1,183	140,200	<b>394</b>	465
c) Con forro de duela machihembrada de pino colocada horizontalmente (4 pruebas).	203	7,000	<b>68</b>	80
d) Con forro de duela machihembrada de pino en diagonal y sujeta a cargas de tensión (4 pruebas).	2,219	122,500	740	<b>510</b>
e) Con forro de duela machihembrada de pino en diagonal y sujeta a cargas de compresión (4 pruebas).	755	80,400	<b>252</b>	287
f) Con aplanado de cemento:arena en proporción de 1:3 y refuerzo con malla metálica (3 pruebas).	785	246,800	<b>262</b>	388 (1)

1 Este valor de diseño corresponde a una deformación igual a la mitad de la utilizada para los demás forros. Esto debido a su alta rigidez de este tipo de material.

Tabla 3. Valores de diseño para muros de cortante con algunos espesores de contrachapados norteamericanos ( APA, 1987)

TIPO DE FORRO	ESPESOR mm	DIMENSIONES DE LOS CLAVOS (1) pulg (mm)	RESISTENCIA kg/m
APA structural I rated sheathing	9.5	2 (50)	342
	12	2.5 (63)	417
		3 (75)	506
APA rated sheathing	9.5	2.5 (63)	327
	12	2.5 (63) 3 (75)	387

- 1 Los clavos se colocan a cada 15 cm en los bordes del panel, sobre un bastidos similar al que se usó en las pruebas

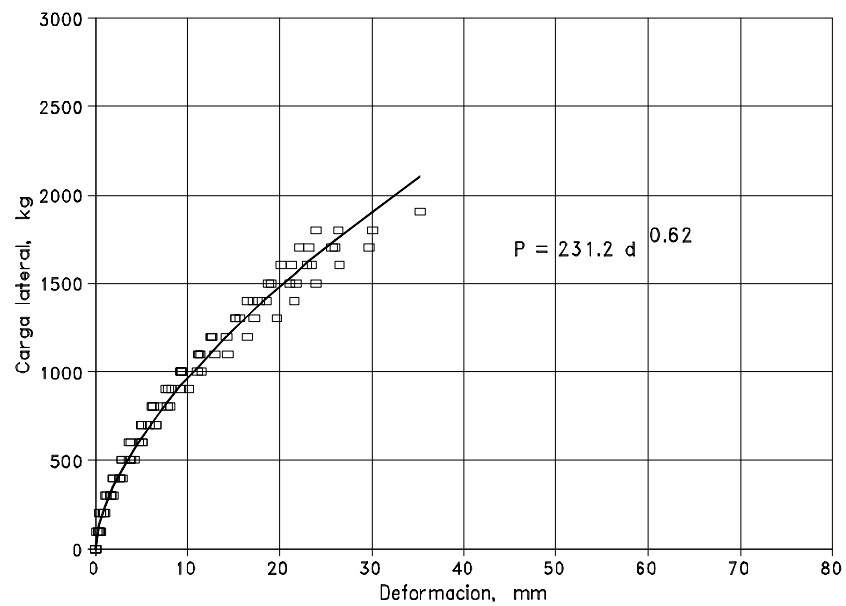


Figura 5. Resultados de muros con forro de madera contrachapada de 9 mm

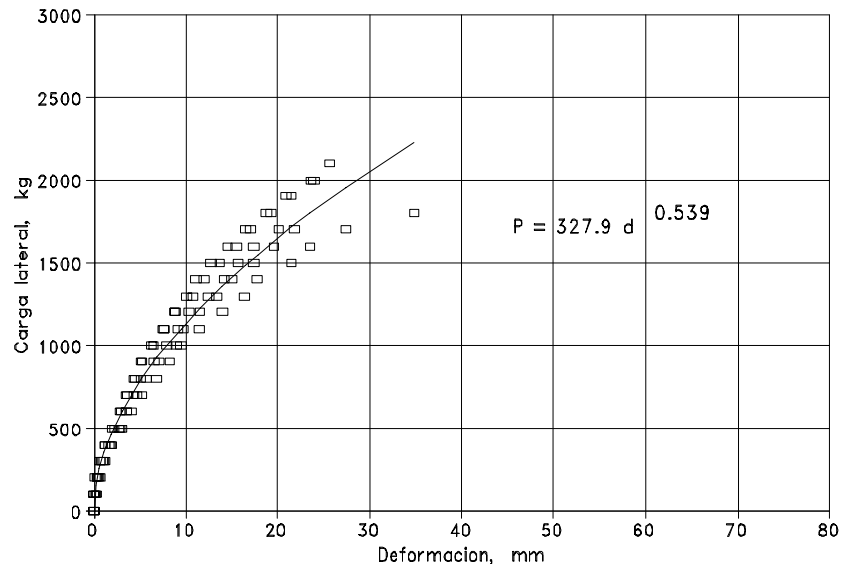


Figura 6. Resultados de muros con forro de madera contrachapada de 12 mm

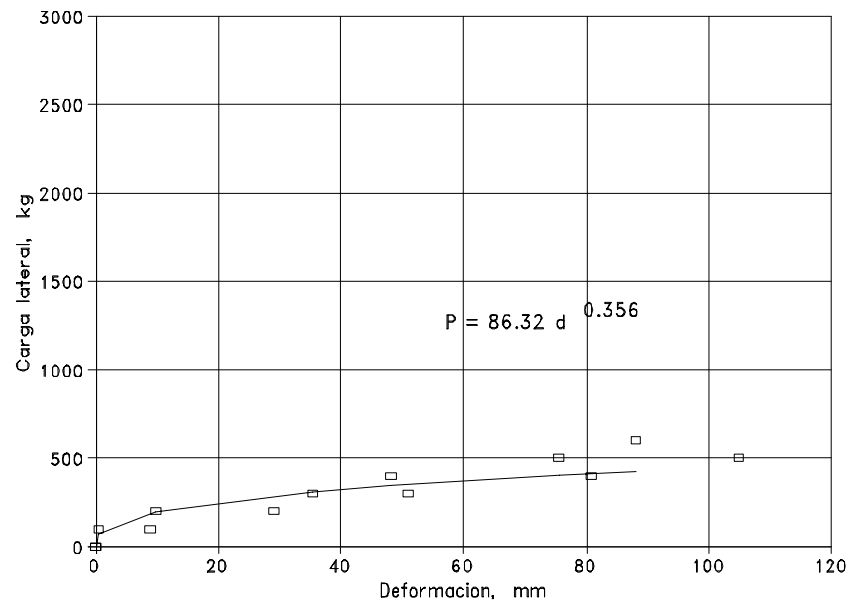


Figura 7. Resultados de muros con forro de duela horizontal de 19 mm

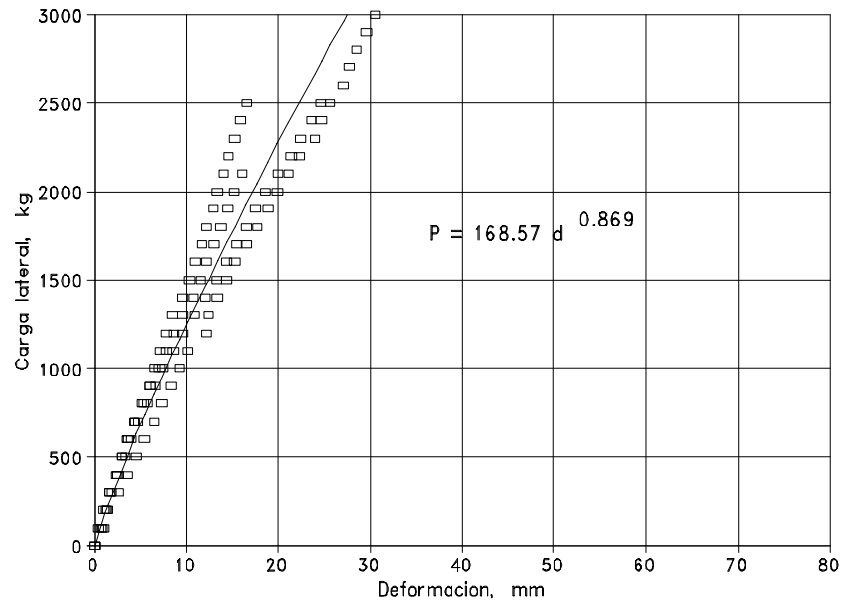


Figura 8. Resultados de muros con forro de duela inclinada de 19 mm, sujeta a tensión

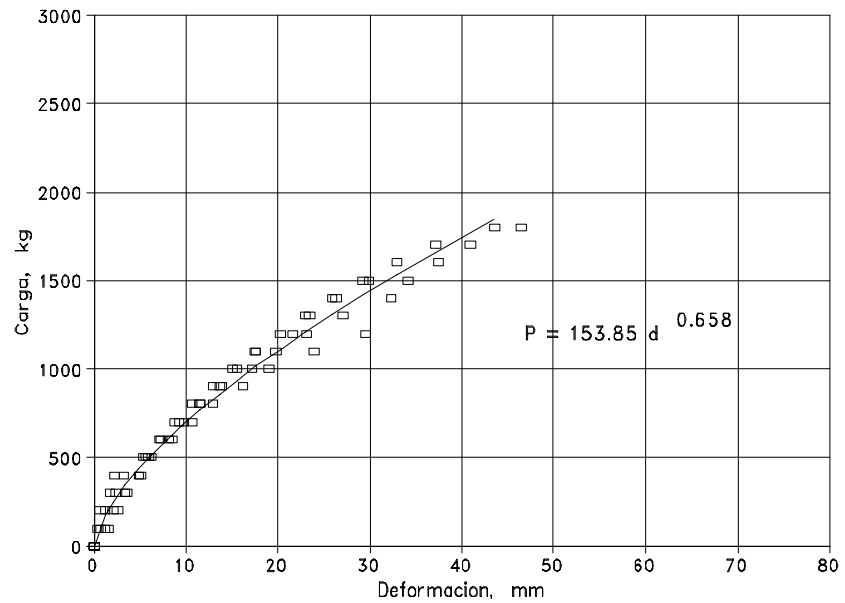


Figura 9. resultados de muros con forro de duela inclinada de 19 mm, sujeta a compresión

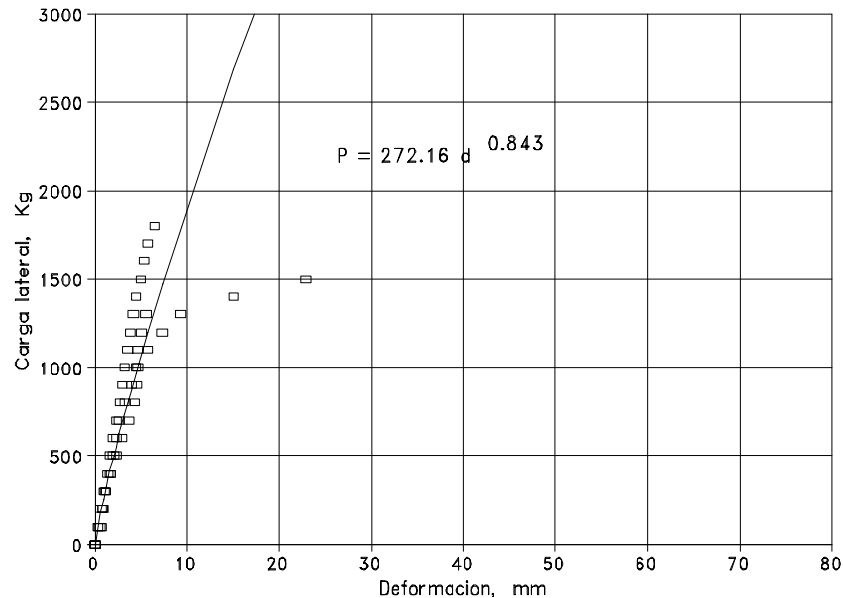


Figura 10. Resultados de muros con aplanado de cemento de 15 mm de espesor reforzado con tela de gallinero

### RECONOCIMIENTOS

Esta investigación se efectuó con el apoyo financiero del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Ref. P.127CCOT90/4901, "Determinación de la rigidez y resistencia de muros de cortante con ocho recubrimientos diferentes" y recursos fiscales asignados al Departamento de Productos Forestales y Conservación de Bosques con la clave 902-13.

### REFERENCIAS

American Society for Testing and Materials. 1976. Standard Methods of Static Load Tests for Shear Resistance of Framed Walls for Buildings. ASTM E564-76. ASTM, Philadelphia, Pa.

American Society for Testing and Materials. 1981. Standard Methods of Conducting Strength Tests of Panels

for Building Construction. ASTM E72-80. ASTM, Philadelphia, Pa.

American Plywood Association. 1987. APA Design, Construction Guide. Diaphragms. Tacoma, Wa.

Departamento del Distrito Federal. 1987. Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. Gaceta Oficial DDF, Quinta Epoca No. 9, México D.F. 1987. 100 pp.

Dirección General de Normas. 1985. NOM-C-239-1985. Calificación visual para madera de pino de usos estructurales. SECOFI. México D.F. 13 pp

Sherwood, G. E. y R. C. Stroh. 1989. Wood Frame House Construction. USDA, Forest Service. Agricultura Handbook 73.