



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CHILE

Centro UC
de Innovación
en Madera



National Research Center
for Integrated Natural
Disasters Management

Contexto en Chile para Cálculo en altura con madera (Sistema Marco y
Plataforma)

Hernán Santa María



S
SEMINARIOS

SEMINARIO INGENIERIA



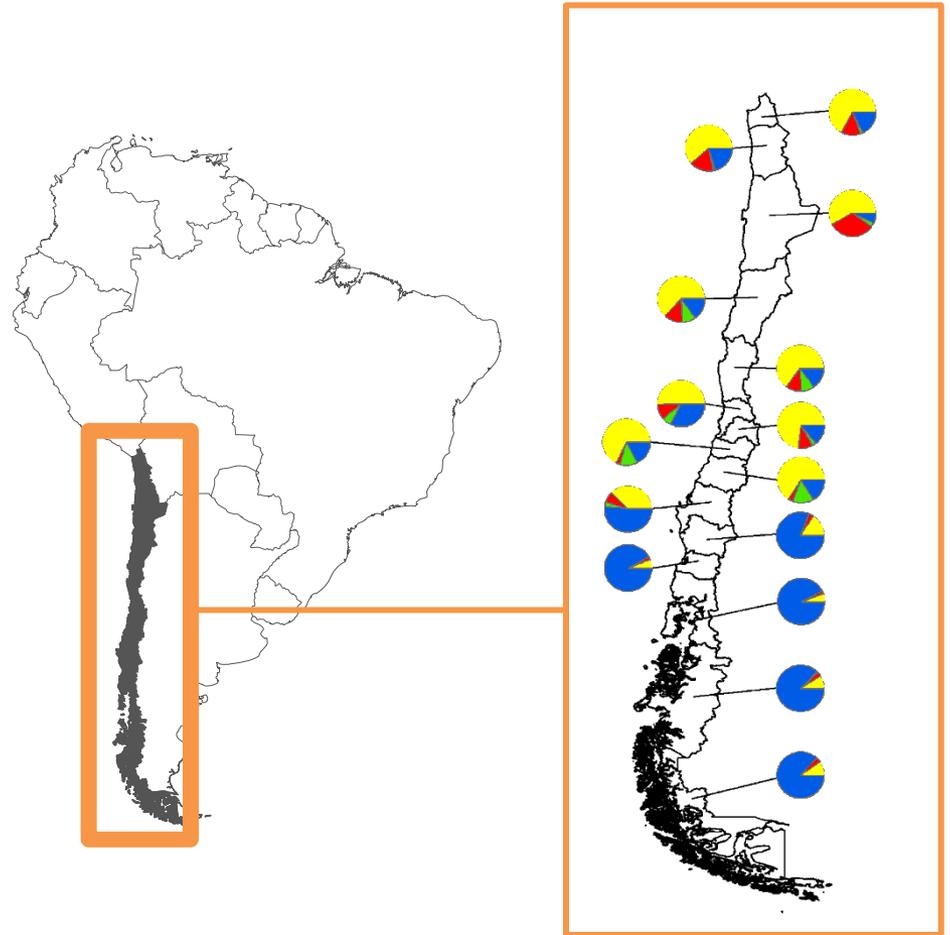
SEMANA DE LA
MADERA

Residencias

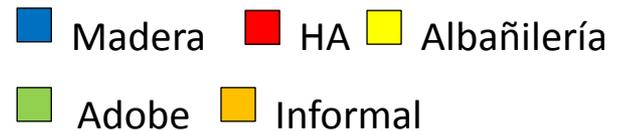
4,259,190 estructuras
99,5% son casas

5,258,215 viviendas
81% son casas

Madera:
32% de las casas existentes
~0% edificios



Estructuras:





Campamento minero
Sewell
1905-1971

© Tae Sandoval Murgan, vía Wikimedia Commons. File:Sewell (13072555595).jpg

Edificios existentes



Lend Lease's Forte apartment complex in
Melbourne's Victoria Harbour
10 pisos, 32 m, CLT

<https://sourceable.net/ncc-changes-could-spur-adoption-of-multi-storey-timber/>



LCT One, Austria
8 pisos híbrido, núcleo de hormigón,
columnas madera laminada



Bergen, Noruega
Diagonales madera laminada
14 pisos, 45 m

Imagen: CTBUH Global News

Edificios existentes



Mercer Court en la University of Washington
5 pisos de madera sobre 2 ó 3 pisos de HA

<https://sourceable.net/ncc-changes-could-spur-adoption-of-multi-storey-timber/>

<http://www.treehugger.com/green-architecture/wood-frame-construction-safe-really.html>

Motivación

- Ha existido una historia de construcción en madera en Chile
- Incluye edificios de baja/mediana altura (5 pisos)
- Alrededor del 25% de la población vive en casas de madera
- La proporción de gente que prefiere vivir en departamentos aumenta
- Chile es un importante productor de productos de madera y de madera aserrada (entre los 15 productores mundiales)

¿Por qué no se construyen edificios de madera en Chile?

Sistema de Marco Plataforma



Multi-Story Wood Construction, Continuing Education

Contenidos

- Códigos de construcción
- NCh 433. Diseño sísmico de edificios
- NCh 1198. Madera – Construcción en madera
- Cálculo
- Investigación
- Conclusiones

Códigos de construcción

- ORDENANZA GENERAL DE URBANISMO Y CONSTRUCCIONES
 - Define condiciones estructurales que debe cumplir un edificio, como las cargas a aplicar en el diseño
 - Define los códigos de diseño requeridos
 - Define requerimientos para edificios sin diseño estructural
 - Madera: hasta 2 pisos, se define escuadrías, espaciamientos de piezas (pies derechos y vigas)s

No existe límite a la altura de la construcción en madera

Códigos de construcción

- Códigos requeridos
 - Cargas: acciones del viento, cargas muertas y vivas, nieve, **acciones del sismo**
 - **NCh 433.2009: Diseño sísmico de edificios**
 - Materiales: Diseño de hormigón, albañilería (confinada, reforzada), acero, **madera**
 - **NCh 1198.2014: Madera – Construcción en madera - Cálculo**

NCh 433. Diseño sísmico de edificios

- NCh433.1996Mod2009 + Decreto 61 (2011) → Espectros de diseño, clasificación del suelo
- Nueva edición de NCh433 probablemente a final de 2017
- Define:
 - Métodos de análisis: estático, dinámico
 - Las fuerzas de diseño: amenaza, suelo, materialidad, estructuración → resistencias requeridas
 - Desplazamiento relativo de piso → rigidez relativa

NCh 433. Diseño sísmico de edificios

Métodos de análisis:

- Análisis estático: hasta 5 pisos, no más de 20m de altura.
- Análisis modal espectral

NCh 433. Diseño sísmico de edificios

Definición de las fuerzas de diseño

- Amenaza y suelo dependen de la ubicación del edificio
- La materialidad y la configuración estructural se consideran con el factor de modificación de la respuesta, R .

NCh 433. Diseño sísmico de edificios

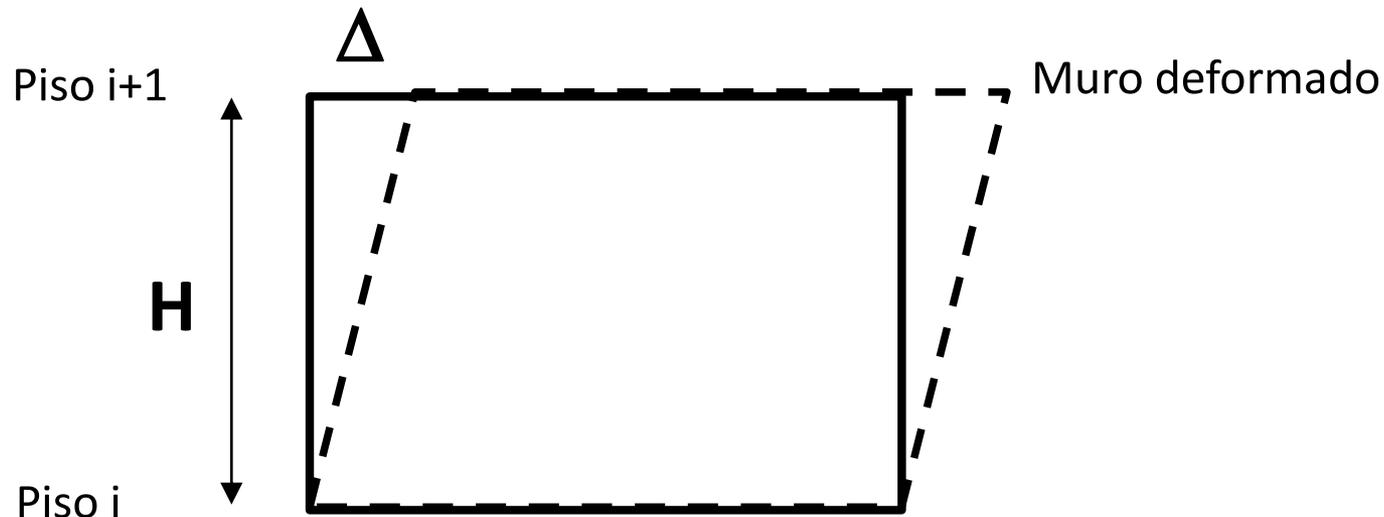
Factores de modificación de la respuesta, R (NCh433)

Tabla 5.1 - Valores máximos de los factores de modificación de la respuesta¹⁾

Sistema estructural	Material estructural	R	R_o
	Hormigón armado	7	11
	Hormigón armado y albañilería confinada		
	- Si se cumple el criterio $A^{2)}$	6	9
	- Si no se cumple el criterio $A^{2)}$	4	4
Muros y sistemas arriostrados	Madera	5,5	7

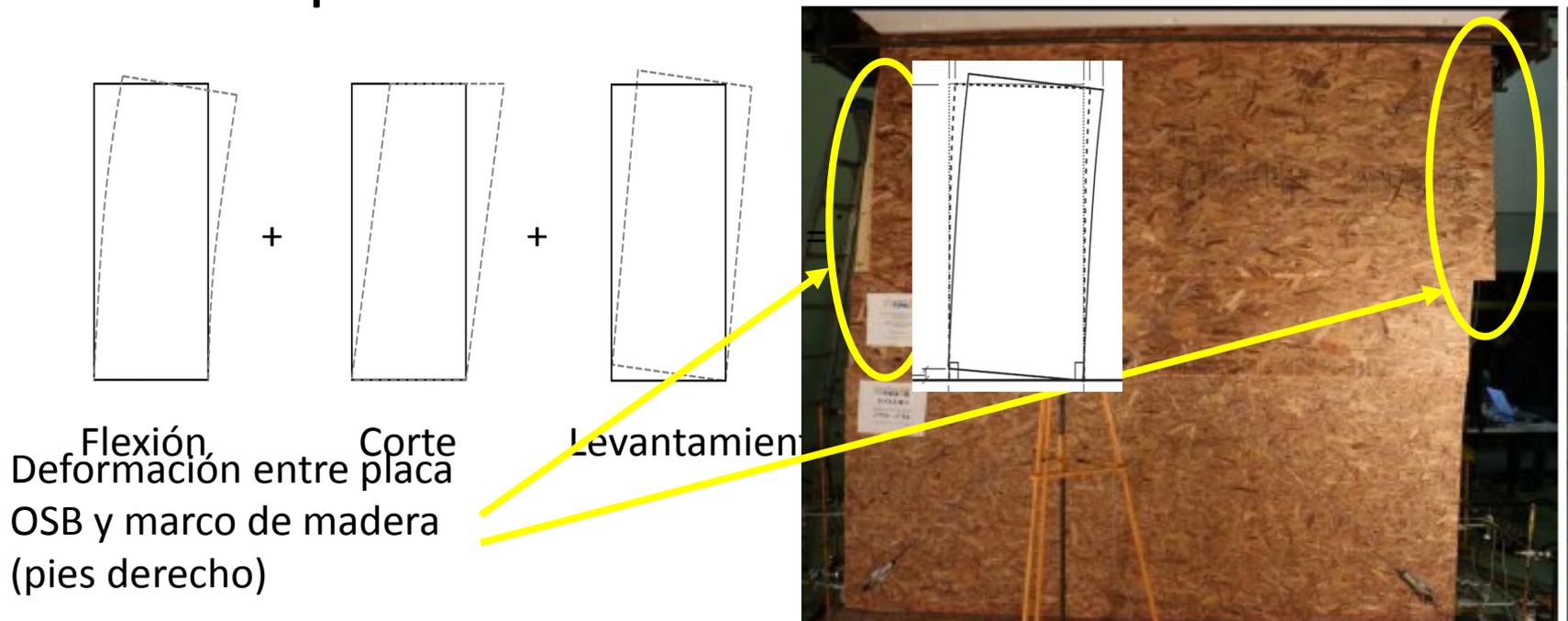
NCh 433. Diseño sísmico de edificios

- Requerimiento: desplazamiento relativo entre dos pisos debe ser menor que $0,002 H$ (calculado con las fuerzas obtenidas antes, con análisis elástico) \rightarrow rigidez lateral del edificio



NCh 433. Diseño sísmico de edificios

- Límite de desplazamiento de entrepiso es demasiado demandante para estructuras de marco plataforma



NCh 433. Diseño sísmico de edificios

Comparación con otros códigos sísmicos

CODE	COUNTRY	R	Δ
Code National du Bâtiment - CNB (Código Nacional de Edificios)	Canadá	5.1	0.49% (h_{piso})
ASCE/SEI 7 - Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures	USA	6.5	0.50% (h_{piso})
NZS 1170 – Structural design actions Part 4: Earthquake actions	Austr/NZ	4.5	0.33% (h_{piso})
EN 1998-1 - Eurocode 8: Design of structures for Earthquake resistance	Europa	5.0	0.20% (h_{piso})
NCh 433 – Diseño Sísmico de Edificios	Chile	5.5	0.20% (h_{piso})

Dolan, Dechent, Giuliano, 2008

NCh 1198. Construcciones en madera

- Para diseñar elementos y conexiones
- Madera aserrada, madera laminada, postes de madera
- No hay referencias al diseño de marco-plataforma
- No hay referencias al diseño de muros estructurales de madera

NCh 1198. Construcciones en madera

Calculations of shear wall deflection shall account for bending and shear deflections, fastener deformation, anchorage slip, and other contributing sources of deflection.

The shear wall deflection, δ_{sw} , shall be permitted to be calculated by use of the following equation:

$$\delta_{sw} = \frac{8vh^3}{EAb} + \frac{vh}{1000G_a} + \frac{h\Delta_a}{b} \quad (4.3-1)$$

By downloading this file to your computer, you are accepting and agreeing to the terms of AWOC's end-user license agreement (EULA), which may be viewed here: [End User License Agreement](#). Copyright infringement is a violation of federal law subject to criminal and civil penalties.



SDPWS

Special Design Provisions for Wind & Seismic
2015 EDITION

Código USA

Table 4.3A Nominal Unit Shear Capacities for Wood-Frame Shear Walls^{1,3,6,7}

Wood-based Panels ⁴																			
Sheathing Material	Minimum Nominal Panel Thickness (in.)	Minimum Fastener Penetration in Framing Member or Blocking (in.)	Fastener Type & Size	A SEISMIC								B WIND							
				Panel Edge Fastener Spacing (in.)								Panel Edge Fastener Spacing (in.)							
				6		4		3		2		6		4		3			
				v_s (plf)	G_s (kips/in.)	v_s (plf)	G_s (kips/in.)	v_s (plf)	G_s (kips/in.)	v_s (plf)	G_s (kips/in.)	v_s (plf)	v_w (plf)	v_s (plf)	v_w (plf)	v_s (plf)	v_w (plf)		
Wood Structural Panels - Structural 1 ^{4,5}	5/16	1-1/4	Nail (common or galvanized box) 6d	400	13	10	600	18	13	780	23	16	1020	35	22	560	840	1090	1430
	3/8	1-3/8	8d	460	19	14	720	24	17	920	30	20	1220	43	24	645	1010	1290	1710
	7/16			510	16	13	790	21	16	1010	27	19	1340	40	24	715	1105	1415	1875
	15/32			560	14	11	860	18	14	1100	24	17	1460	37	23	785	1205	1540	2045
Wood Structural Panels - Sheathing ^{4,5}	5/16	1-1/4	6d	360	13	9.5	540	18	12	700	24	14	900	37	18	505	755	980	1260
	3/8	1-3/8	8d	400	11	8.5	600	15	11	780	20	13	1020	32	17	560	840	1090	1430
	7/16	1-3/8	8d	440	17	12	640	25	15	820	31	17	1060	45	20	615	895	1150	1485
	15/32	1-1/2	10d	480	15	11	700	22	14	900	28	17	1170	42	21	670	980	1260	1640
Plywood Siding	5/16	1-1/4	Nail (galvanized casing) 6d	280	13		420	16		550	17		720	21		390	590	770	1010
	3/8	1-3/8	8d	320	16		480	18		620	20		820	22		450	670	870	1150
	3/8		Nail (common or galvanized box) 6d	240	15		360	17		460	19		600	22		335	505	645	840
	1/2		8d	260	18		380	20		480	21		630	23		365	530	670	880
Particleboard Sheathing - (M-S "Exterior Glue" and M-2 "Exterior Glue")	1/2		10d	280	18		420	20		540	22		700	24		390	590	755	980
	5/8			370	21		550	23		720	24		920	25		520	770	1010	1290
				400	21		610	23		790	24		1040	26		560	855	1105	1455
Structural Fiberboard Sheathing	1/2		Nail (galvanized roofing) 11 ga. galv. roofing nail (0.120" x 1-1/2" long x 7/16" head)				340	4.0		460	5.0		520	5.5			475	645	730
	25/32		11 ga. galv. roofing nail (0.120" x 1-3/4" long x 3/8" head)				340	4.0		460	5.0		520	5.5			475	645	730

Copyright © American Wood Council. Downloaded from [www.awc.org](#). All rights reserved. No reproduction or distribution without the prior written consent of American Wood Council.

Investigación

Actualmente participan:

- Centro de Innovación en madera (UC-CIM)
- Universidad del BíoBío
- Varias compañías relacionadas con la industria de la construcción en madera (muchas a través del UC-CIM)
- Panel asesor de expertos, profesionales, MINVU

Investigación

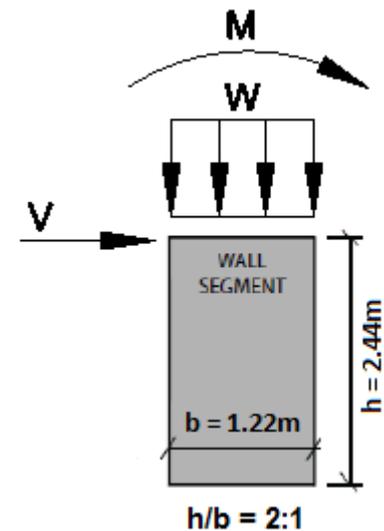
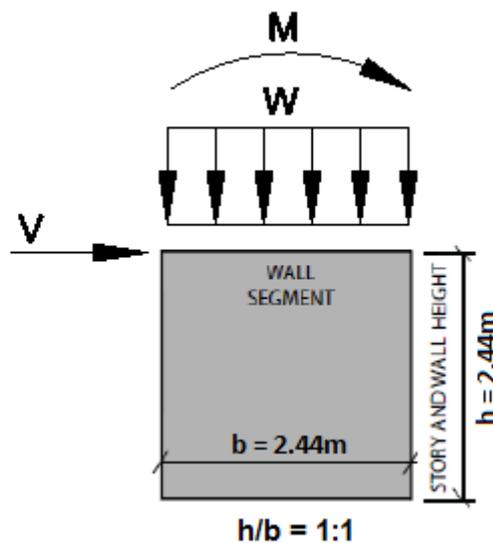
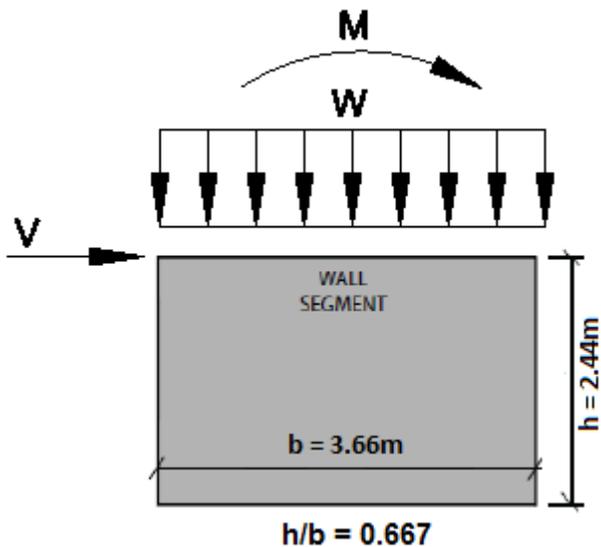
Levantar algunas restricciones estructurales de los códigos que no permiten el diseño de edificios de madera, de 6 pisos.

- NCh433:
 - Evaluar el factor de reducción usando un método racional
 - Definir un nuevo límite del desplazamiento relativo entre dos pisos > 0.002 para muros de madera en marco-plataforma
- NCh1198
 - Definir requisitos de diseño para muros de madera
 - Requisitos para conectores, incluidos anclajes
 - Propiedades y métodos de análisis

Con una fuerte componente experimental y modelos numéricos

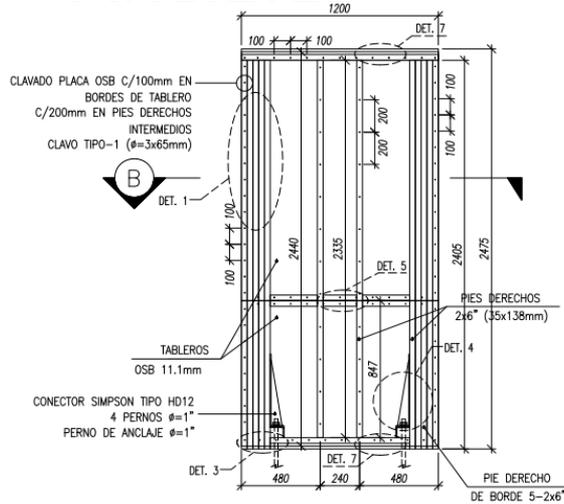
Investigación

- Ensayar 24 muros de madera bajo carga lateral (corte)
- Sin y con compresión y momento



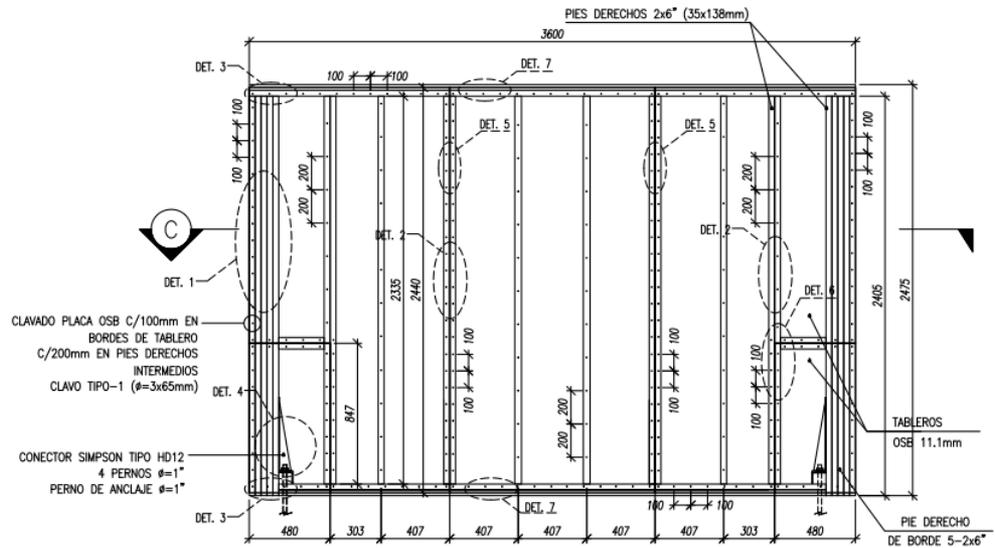
Investigación

- Paneles de OSB de 11.1 mm
- Pino radiata
- Anclajes



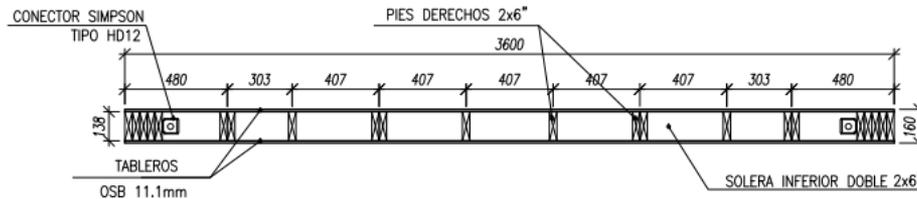
ELEVACIÓN (MURO L=1200mm)

ESC 1:25



ELEVACIÓN (MURO L=3600mm)

ESC 1:25

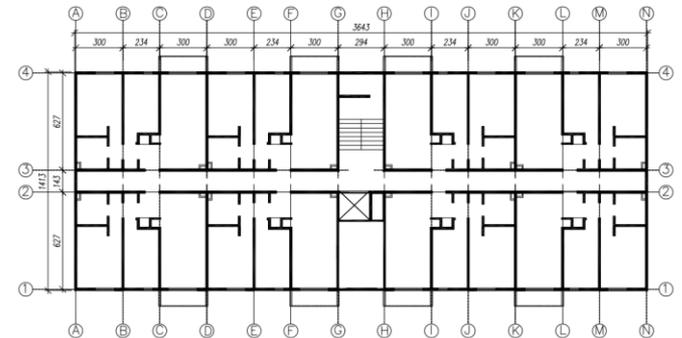
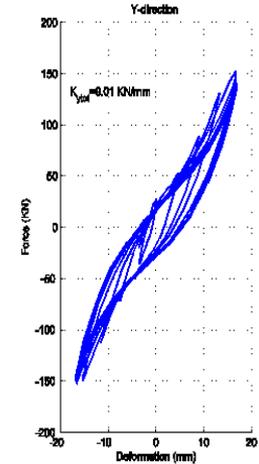
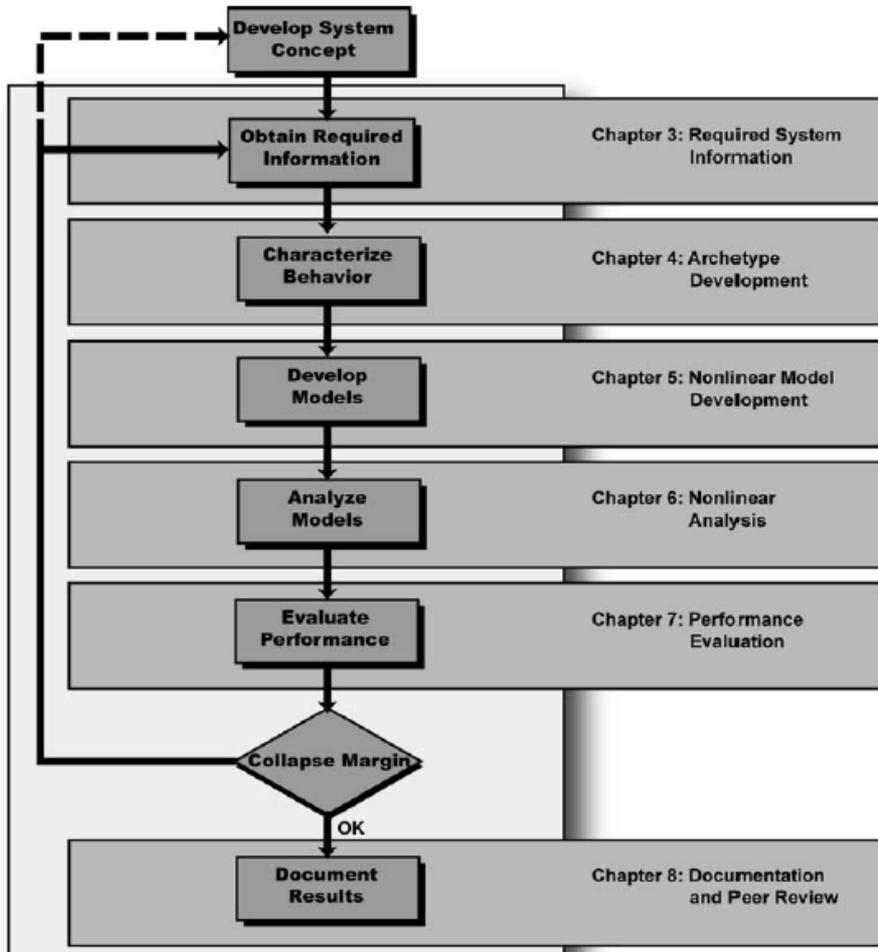


Investigación

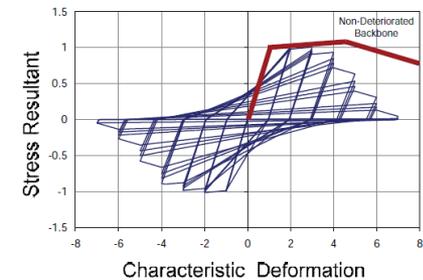
- Los resultados de los ensayos permiten calibrar modelos lineales-elásticos y no-lineales
 - Valor de rigidez lateral que se debe usar para verificar desplazamientos máximos de entrepisos
 - Determinar un factor R para marco plataforma (FEMA P695)
 - Determinar un límite adecuado para desplazamientos máximos de entrepisos para edificios de madera en marco plataforma de hasta 6 pisos

Investigación

Obtención R FEMA P695



Para generalizar respuestas evaluadas



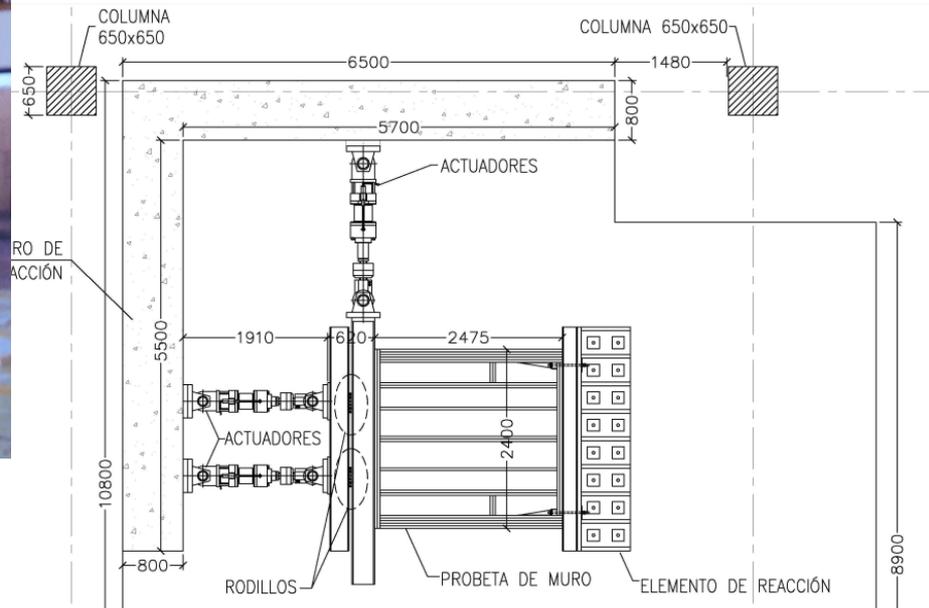
FEMA P695

Figura 2.2. FEMA P695

Ensayo típico de muros de corte

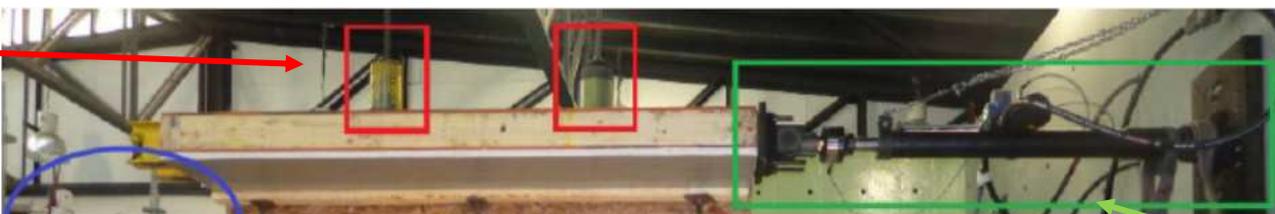


Muro losa de reacción
Laboratorio de Ingeniería Estructural,
PUC

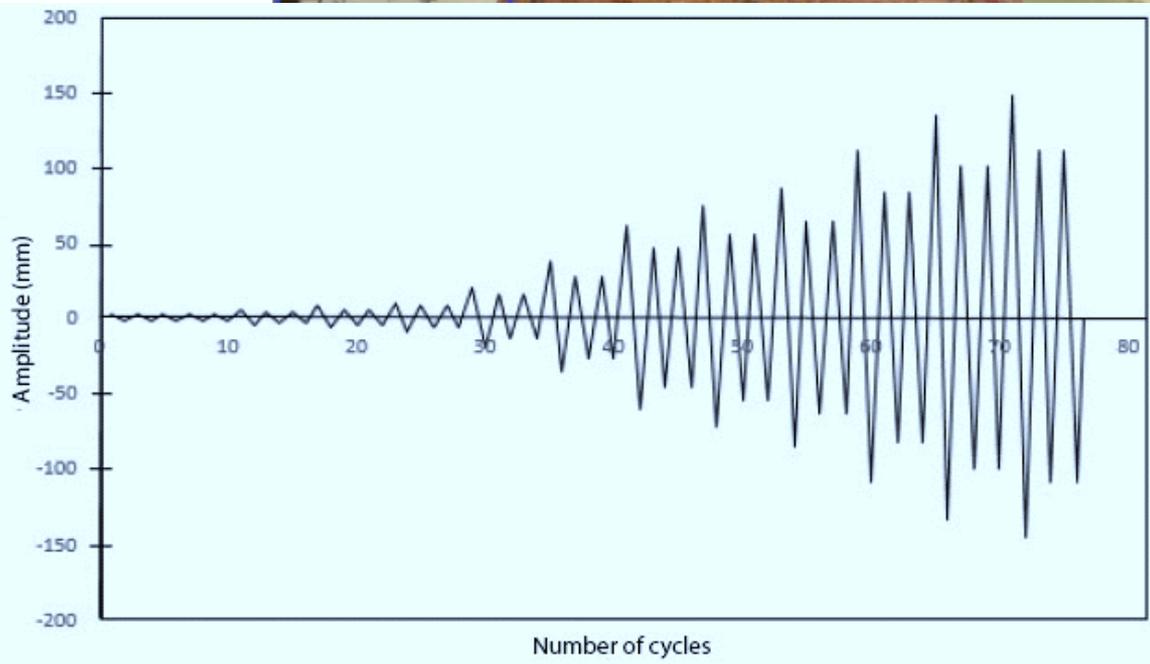


Ensayo típico de muros de corte

Gatos para aplicar carga vertical



Actuador horizontal



- ACTUADOR
- GATOS HIDRÁULICOS
- TRANSDUCTORES



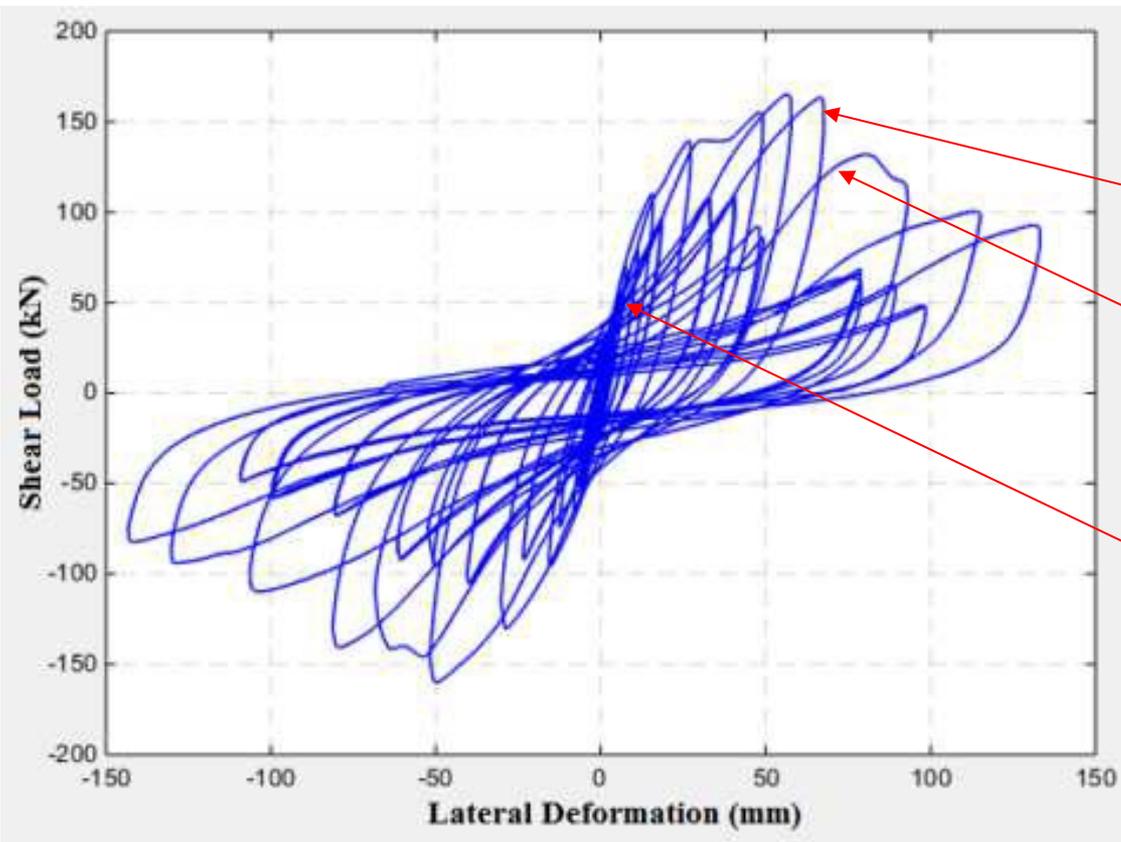
Ensayo típico de muros de corte



anclajes



Ensayo típico de muros de corte



163 kN @ 2.3%

Fuerte
pérdida de
resistencia

Comportamiento lineal
a bajas deformaciones

Conclusiones

- Los principales parámetros necesarios de cambiar en la norma de diseño sísmico de edificios y que permitan diseñar edificios de media altura son el desplazamiento de entre piso y el factor de modificación de la respuesta estructural R
- Se realizarán ensayos de 24 muros con carga axial y momento para caracterizar su respuesta a cargas cíclicas
- Los resultados se usarán para calibrar modelos que permitirán evaluar R y determinar un Nuevo valor del desplazamiento máximo permitido de entrepiso