



## **ECUACIONES PARA PREDECIR ACELERACIONES (2008 en adelante):**

### **▪ AMPLITUD DE ACELERACIONES MÁXIMAS:**

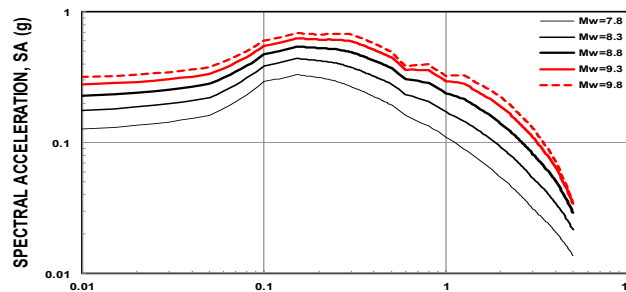
- PERIODO ESPECTRAL.**
- MAGNITUD.**
- DISTANCIA MÍNIMA A LA RUPTURA.**
- VELOCIDAD DE ONDAS DE CORTE DEL SITIO , VS30.**
- PROFUNDIDAD DEL FOCO.**
- MECANISMO DE FALLA.**
- PROFUNDIDAD A LA ROCA BASE.**
- ZONA SISMO-GÉNICA.**
- OTROS PARÁMETROS.**



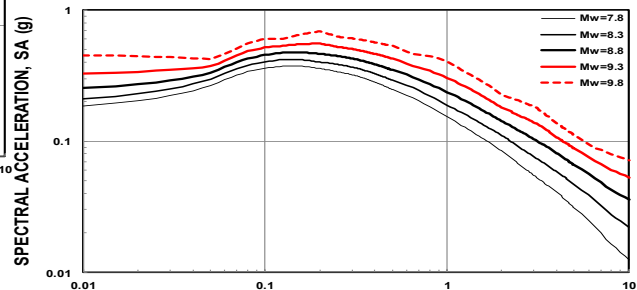
## INTERPLACA SUBDUCCIÓN:

- MEDIA PARA ESPECTROS DE RESPUESTA DE ACELERACIONES AL 5% DEL AMORTIGUAMIENTO CRÍTICO, PARA EVENTOS DE GRAN MAGNITUD EN ROCA, VS30 = 900 m/s.**

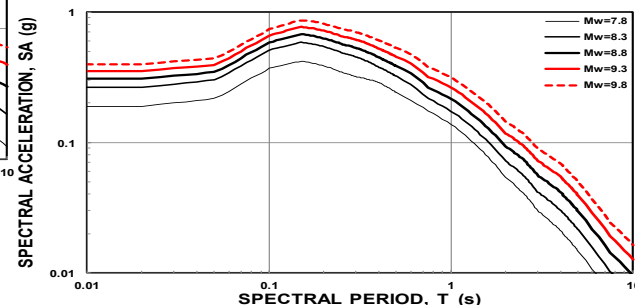
ZHAO *et al.* (2006) SUBDUCTION GMPE  
50 km TO RUPTURE AT 20 km DEPTH



ATKINSON-MACÍAS (2009) SUBDUCTION GMPE  
50 km TO RUPTURE AT 20 km DEPTH



ADDO *et al.* (2012) SUBDUCTION GMPE  
50 km TO RUPTURE AT 20 km DEPTH

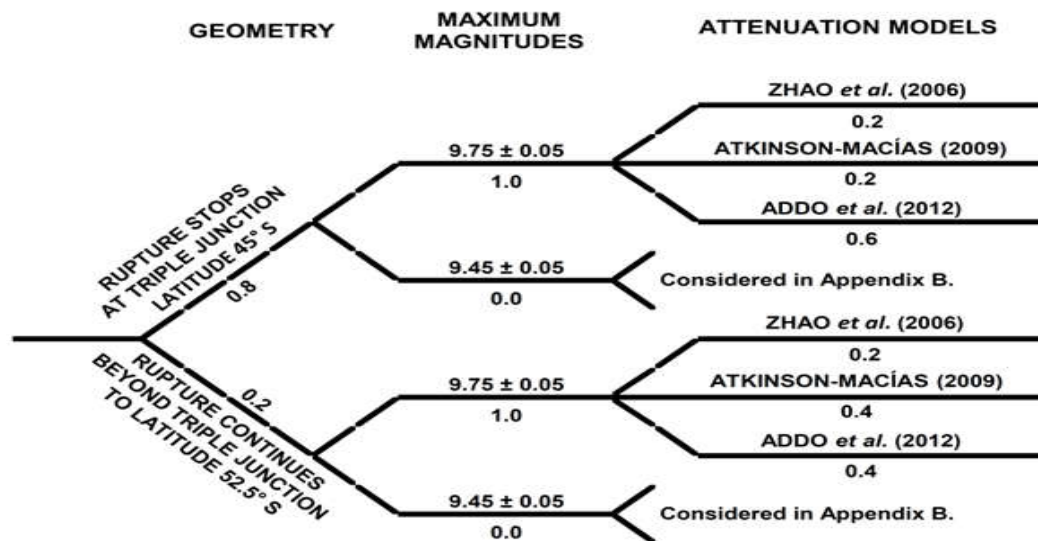




**ÁRBOL EPISTÉMICO QUE ASIGNA PESOS RELATIVOS DE PARTICIPACIÓN A MODELOS ALTERNATIVOS DE PRODUCTIVIDAD, RUPTURA, ATENUACIÓN, ETC. PARA MITIGAR ERRORES DEBIDO A FALTA DE DATOS O CONOCIMIENTOS.**

**MODELO GEM CALCULA AMENAZA PARA TODAS LAS RAMAS DEL ÁRBOL, AGREGANDO RESULTADOS DE ACUERDO A PESOS PREDETERMINADOS.**

LOGIC TREE FOR SUBDUCTION ZONE MODELS



# VII. AMENAZA SÍSMICA: RESULTADOS Y VERIFICACIONES



## **OBJETIVO:**

- **MAPA DE AMENAZA SÍSMICA (CELDA DE  $0,1^{\circ} \times 0,1^{\circ}$ ).**

## **VERIFICACIONES, COMPARAR RESULTADOS CON:**

- **TRABAJOS REGIONALES PREVIOS.**
- **EVENTOS SÍSMICOS REGISTRADOS GENERADOS POR DIVERSAS FUENTES SISMO-GÉNICAS.**

# VIII. DESAFÍOS FUTUROS (PERMANENTES)



## DESAFÍO

### ACTUALIZAR CATÁLOGO SÍSMICO

Revisar y limpiar datos, remover errores y actualizar catálogo de eventos sísmicos.

## DESAFÍO

### DESARROLLAR ECUACIONES PARA PREDECIR ACCELERACIONES MÁXIMAS

Procesar gran número de registros de terremotos de diferentes zonas y condiciones sísmo-génicas.

## DESAFÍO

### CALIBRACIÓN DE LOS MODELOS DE RUPTURA

Verificar modelos de ruptura para eventos importantes registrados.

## DESAFÍO

### CARACTERIZACIÓN DETALLADA DE FALLAS SUPERFICIALES ACTIVAS

**Geología:** en general, conocida.  
**Sismicidad:** conocida en algunos casos.

¡GRACIAS POR SU ATENCIÓN!

# PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

## Capítulo de Madera

## Código Modelo Diseño Sísmico para Latinoamérica y el Caribe

**Por: Ing. Jairo Montaña, Dr. Pablo Guindos e Ing. Raúl Araya**

Centro UC de Innovación en Madera (CIM UC-CORMA)

Centro Nacional de Excelencia para la Industria de la Madera (CENAMAD)

Bucaramanga, Colombia

26 de octubre de 2022

# PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

Capítulo de Madera



## CONTENIDO:



Presentación del  
CIM-UC  
CENAMAD



Proyectos Área  
Investigación



Propuesta Índice de  
Contenidos

# PRESENTACIÓN del CIM-UC CENAMAD

## PARTE 1

# ¿Quiénes somos?



**Jairo Montaña**  
Subdirector de Investigación  
Ingeniero Civil Estructural, especialista en el  
diseño de estructuras de madera

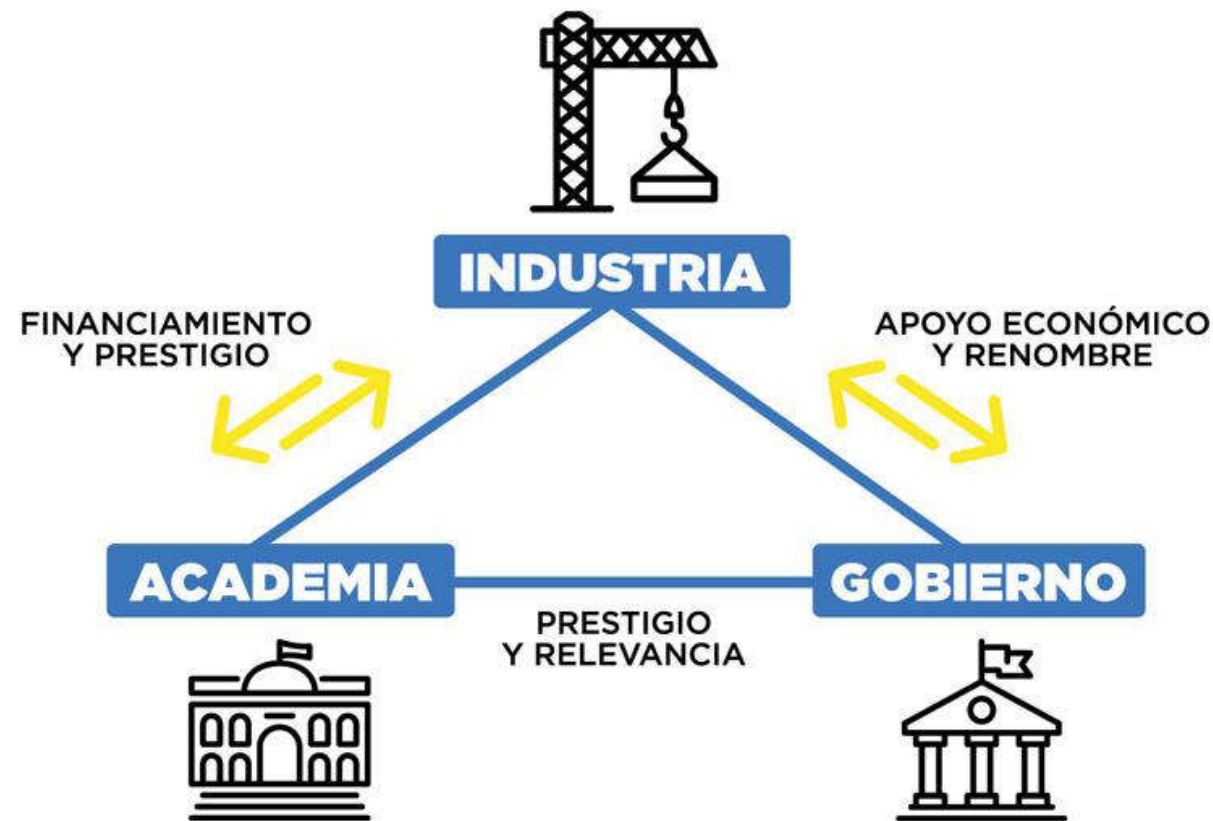
## EDIFICACIONES EN ALTURA



# ¿Quiénes somos?



**Jairo Montaña**  
Subdirector de Investigación  
Ingeniero Civil Estructural, especialista en el  
diseño de estructuras de madera



# ¿Qué estudiamos?



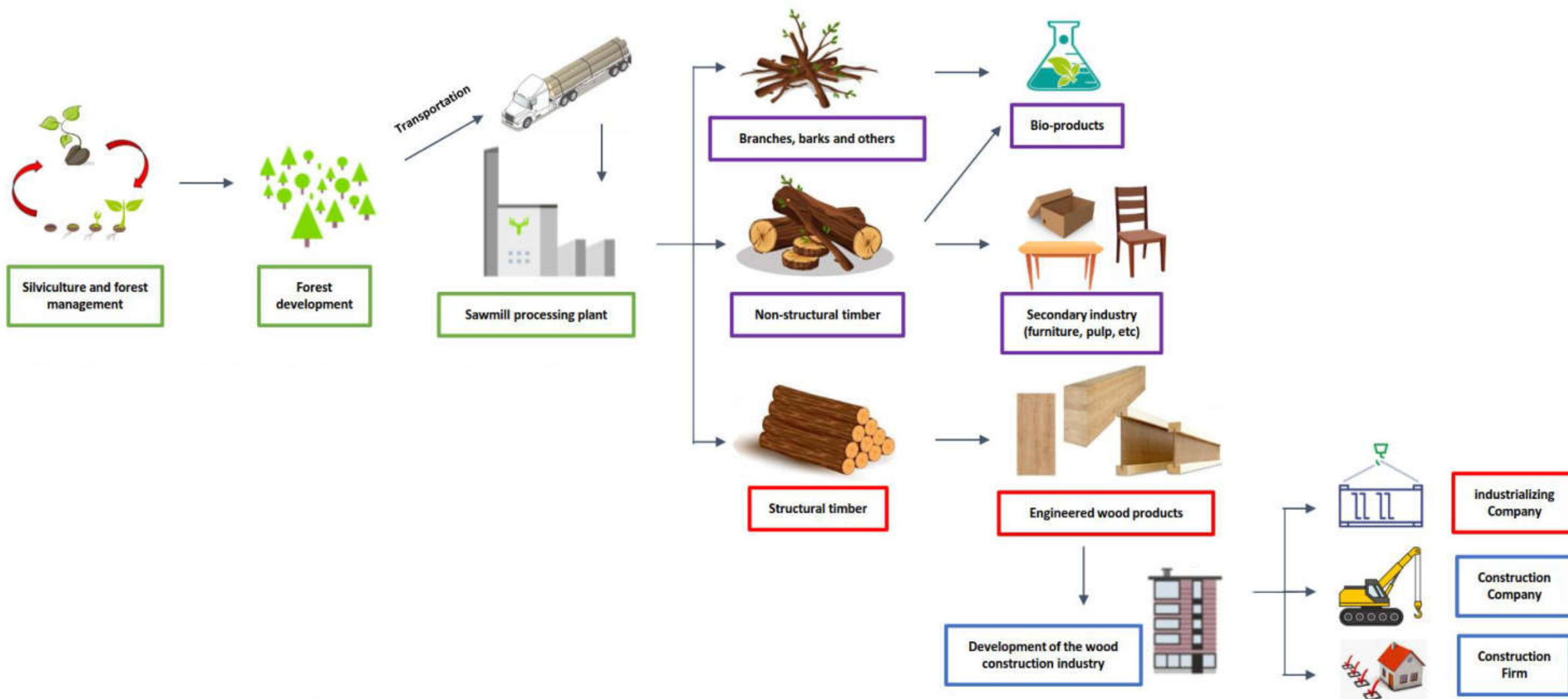
# Entidades Participantes del CIM-CENAMAD

Centro **UC**  
de Innovación  
en Madera

Centro Nacional  
**CENAMAD**  
para la Industria de la Madera



# Problema que trata de solucionar - CENAMAD



# Ejes y Líneas de Investigación - CENAMAD

Área	Línea
1) Desarrollo forestal	Sustentabilidad y productividad de territorios forestales
2) Desarrollo de bioproductos	Desarrollo y manufactura de productos estructurales
	Desarrollo y manufactura de productos no estructurales
3) Desarrollo de la construcción	Ingeniería sísmica
	Industrialización y gestión de la construcción
	Sustentabilidad, fuego y preservación

# PROYECTOS ÁREA INVESTIGACIÓN

## PARTE 2

# PROYECTOS ÁREA INVESTIGACIÓN



## ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS MODULARES PREFABRICADOS CON MARCO-PLATAFORMA DE SEIS PISOS EN REGIONES DE ALTO RIESGO SÍSMICO.



### OBJETIVO.

Determinar el sistema resistente a fuerzas laterales para un edificio modular de seis pisos para la mina “Los Bronces”

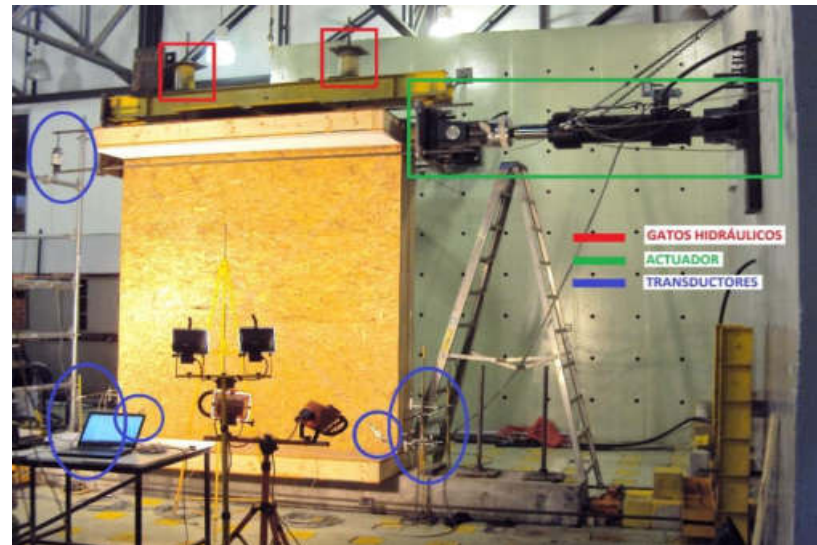
### METODOLOGÍA.

- Revisión de literatura
- Ensayos estructurales de laboratorio
- Elaboración modelos de análisis
- Análisis tiempo historia con registros sísmicos sintéticos ajustados al espectro de diseño de norma NCh433.
- Verificación del diseño del edificio

## ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS MODULARES PREFABRICADOS CON MARCO-PLATAFORMA DE SEIS PISOS EN REGIONES DE ALTO RIESGO SÍSMICO.

### ENSAYOS DE MUROS 2-DIMENSIONES (V+N):

#### ENSAYOS DE CONEXIONES:



#### ENSAYOS DE MÓDULOS 3-DIMENSIONES:



## ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS MODULARES PREFABRICADOS CON MARCO-PLATAFORMA DE SEIS PISOS EN REGIONES DE ALTO RIESGO SÍSMICO.

### IMPACTOS DEL PROYECTO: LA CONSTRUCCIÓN DE 8 TORRES DE 6 PISOS.



## PROYECTO MODIFICACIÓN DE NORMA SÍSMICA - NCh 433 "DISEÑO SÍSMICO DE EDIFICIOS"



### OBJETIVO.

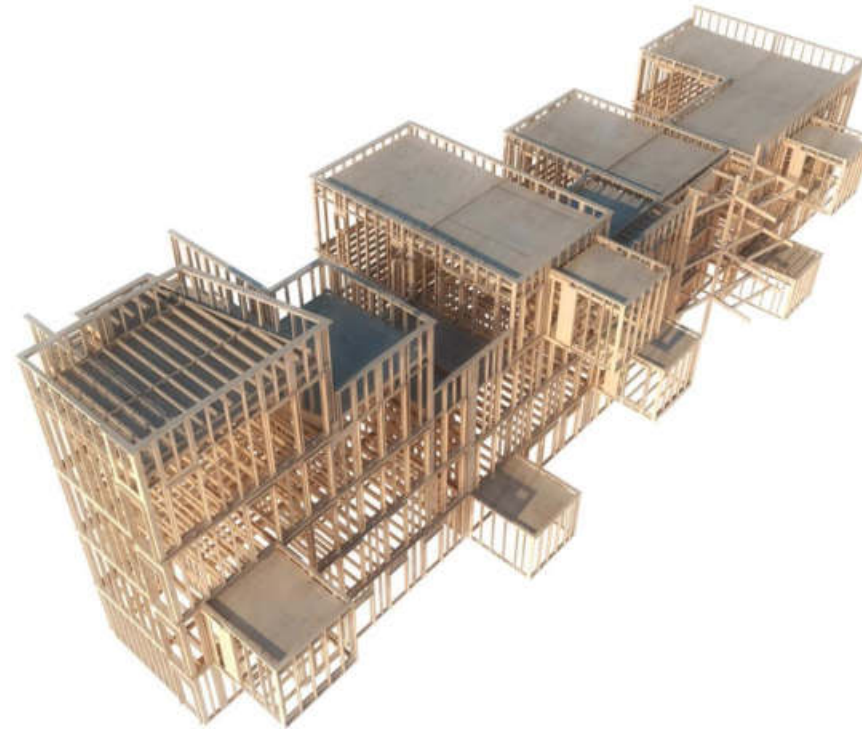
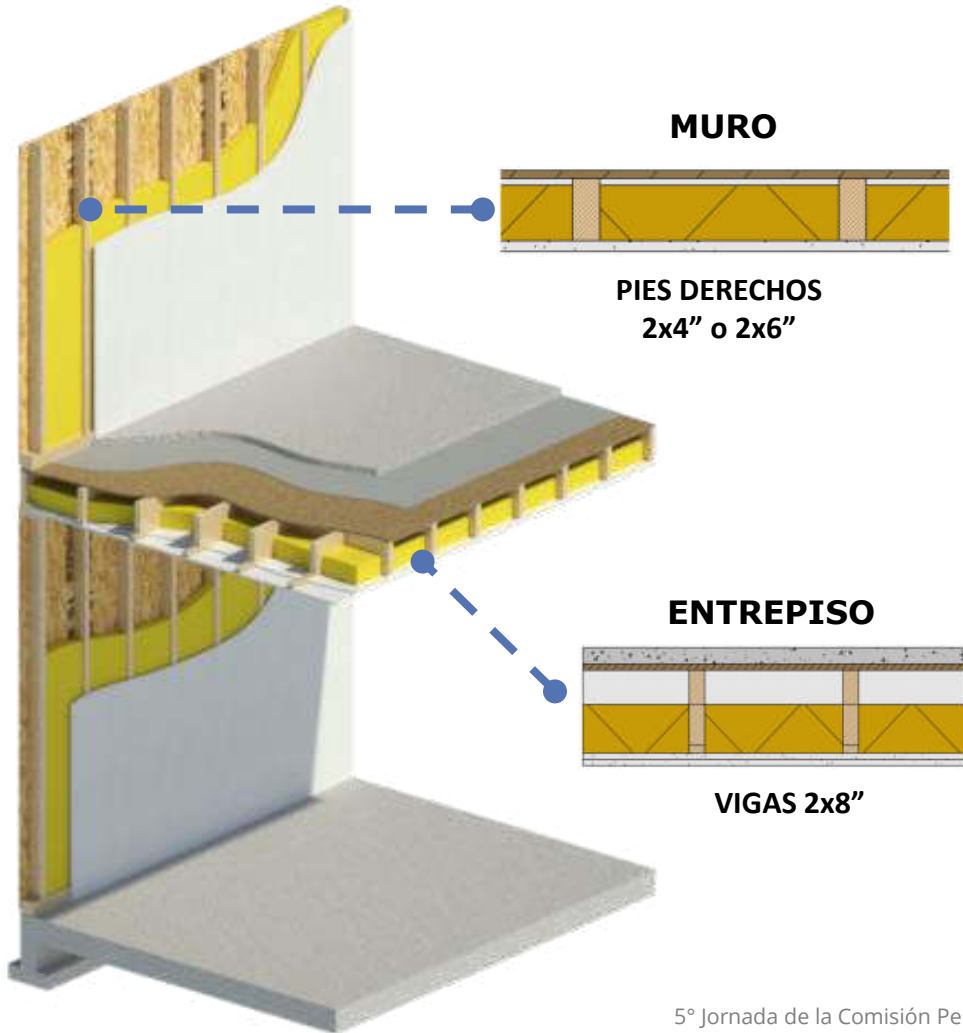
Determinar los factores de diseño sísmicos más adecuados para la construcción de edificaciones en sistema marco-plataforma hasta 6 pisos de altura en Chile utilizando la metodología del FEMA P-695.

### PARÁMETROS DE DISEÑO A ESTUDIAR DE LA NORMA.

- $R$  = Factor de modificación de respuesta.
- $\Delta$  = Límite del desplazamiento máximo de entrepiso (Drift).

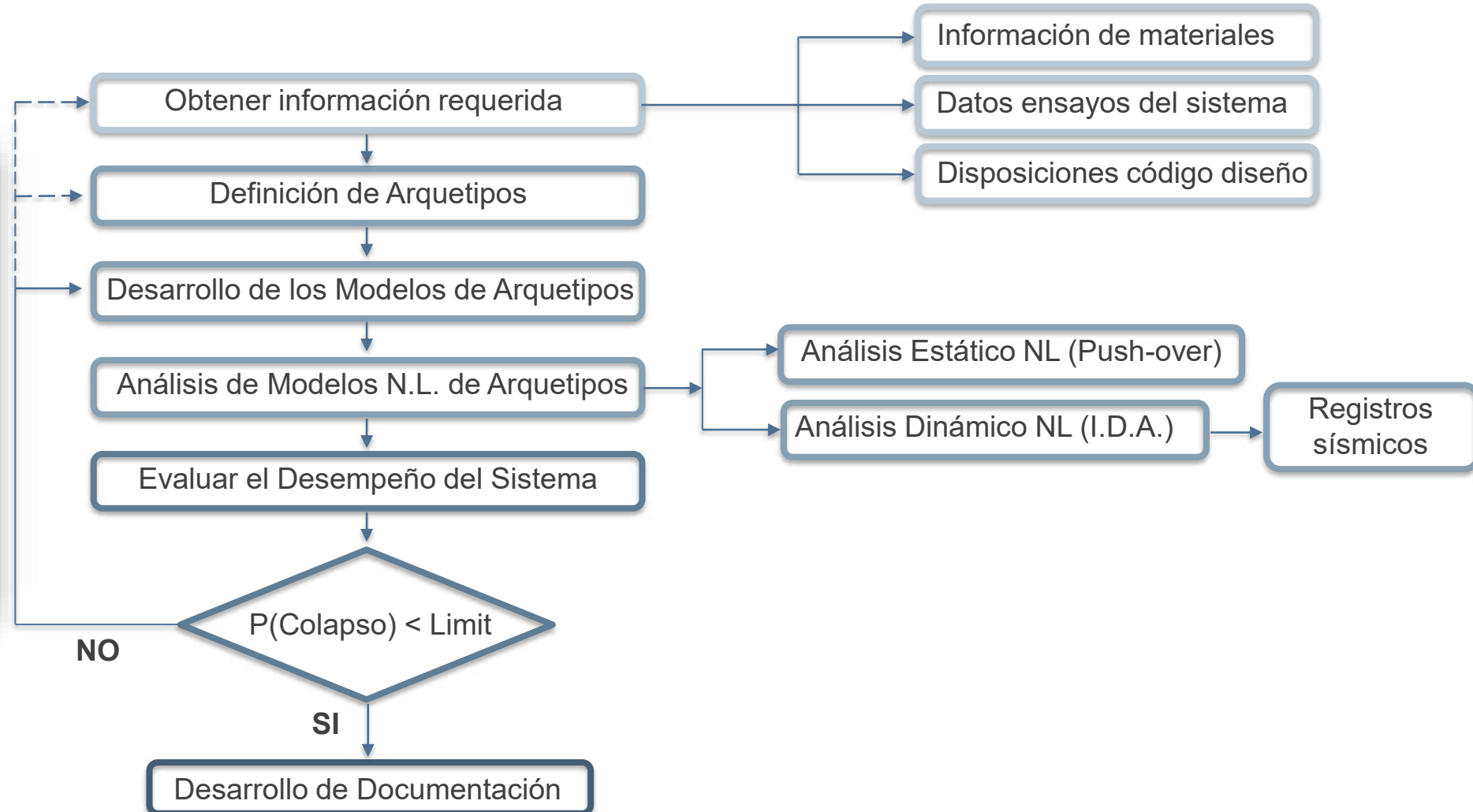
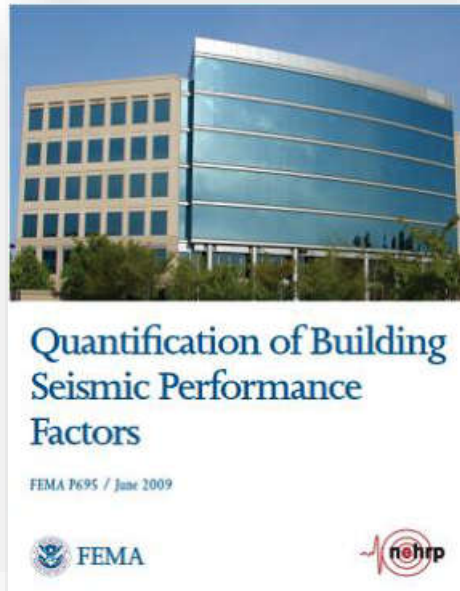


## PROYECTO MODIFICACIÓN DE NORMA SÍSMICA - NCh 433 "DISEÑO SÍSMICO DE EDIFICIOS"



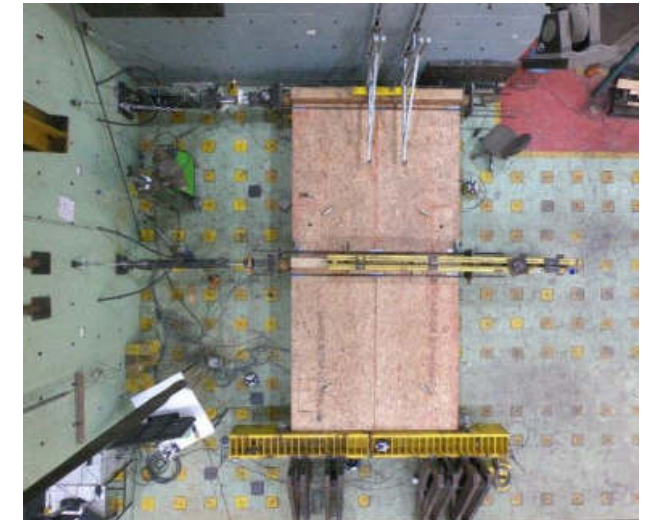
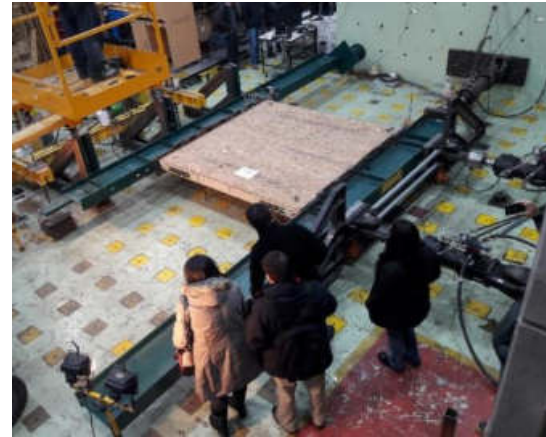
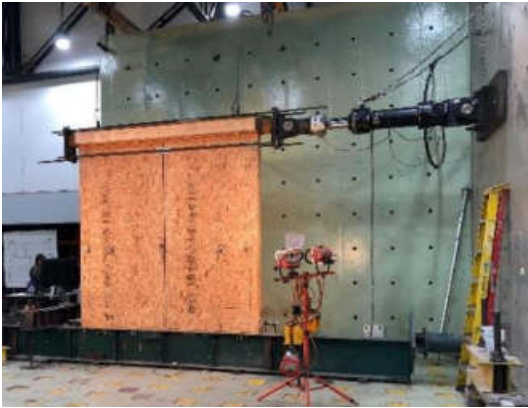
# PROYECTOS ÁREA INVESTIGACIÓN

## FEMA P-695 Guidelines:



## PROYECTO MODIFICACIÓN DE NORMA SÍSMICA - NCh 433 "DISEÑO SÍSMICO DE EDIFICIOS"

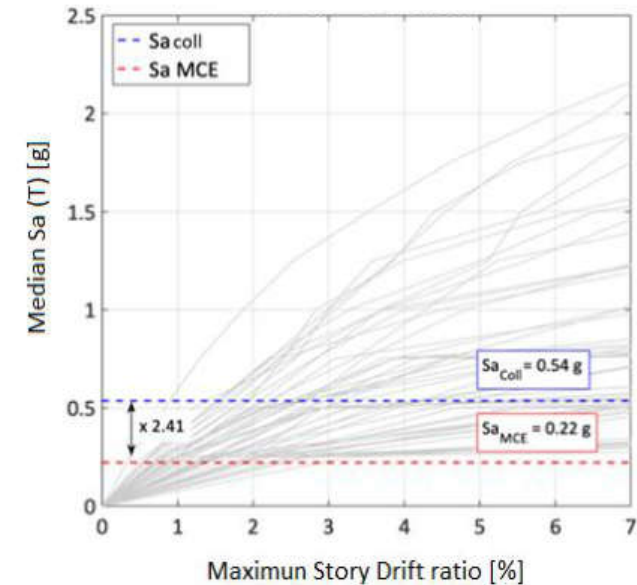
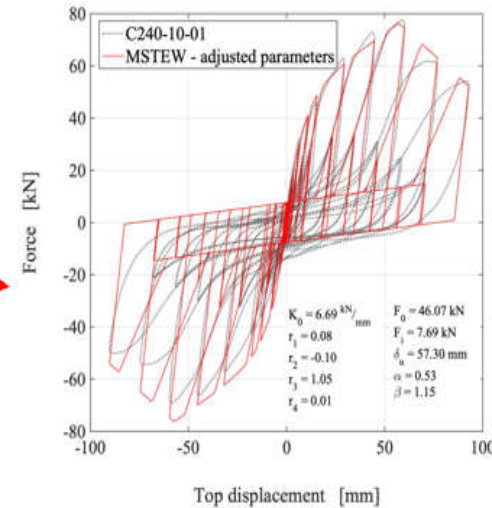
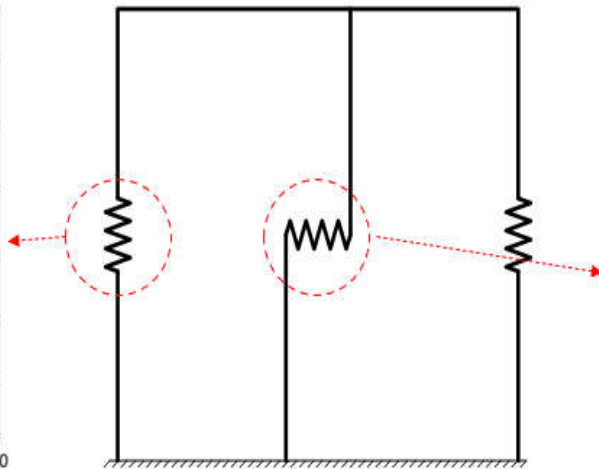
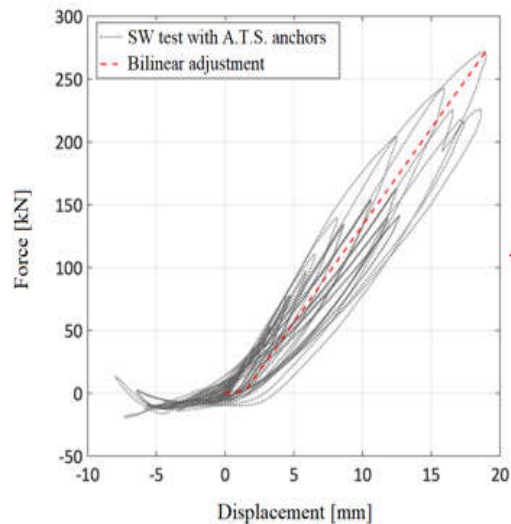
Se ensayaron múltiples muros de corte y conexiones durante el estudio:



## PROYECTO MODIFICACIÓN DE NORMA SÍSMICA - NCh 433 "DISEÑO SÍSMICO DE EDIFICIOS"

Se realizaron modelaciones no-lineales de arquetipos estructurales de 3 a 6 pisos:

- Los ensayos de muros de corte se utilizaron como input para calibrar los modelos:



- Análisis Estáticos Pushover.
- Análisis IDA (Incremental Dynamic Analysis) con 26 pares de registros sísmicos.

## PROYECTO FONDECYT 11170863.

Desarrollo de un sistema de rigidización, amplificación de desplazamientos y amortiguamiento para muros de corte en estructuras de madera.



## PROYECTO FONDECYT 11170863.

Sistema costo eficiente de muros de madera masiva para la construcción de edificios de 5 o más pisos en zonas sísmicas.

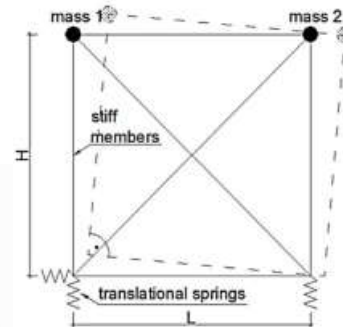
### CONEXIONES:



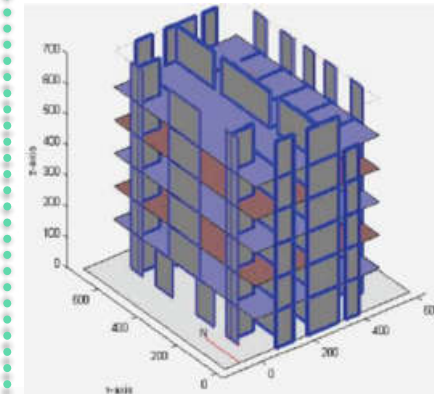
### MURO ESTRUCTURAL:



### VALIDACIÓN MODELO CÁLCULO DEL MURO:



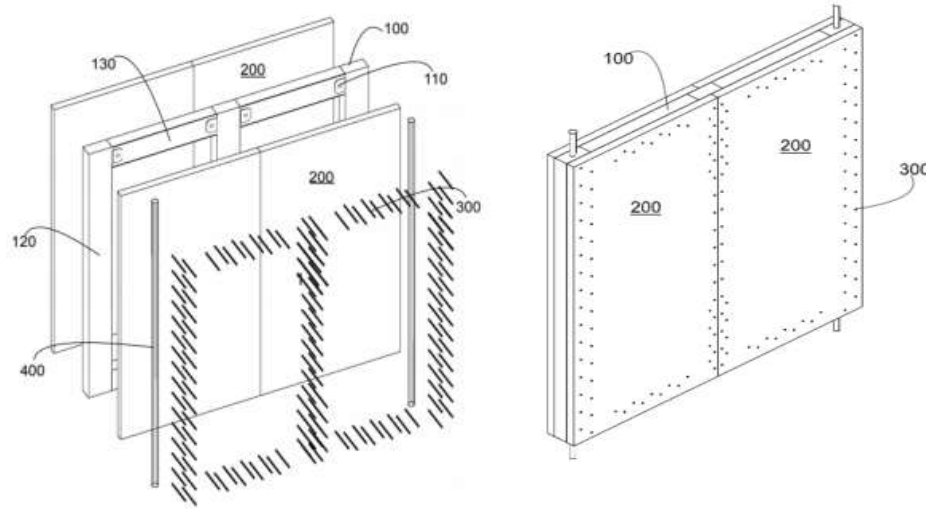
### EDIFICIO:



No. Solicitud:  
PCT/CL2019/050111

## PROYECTO FONDECYT 11170863.

Sistema costo eficiente de muros de madera masiva para la construcción de edificios de 5 o más pisos en zonas sísmicas.

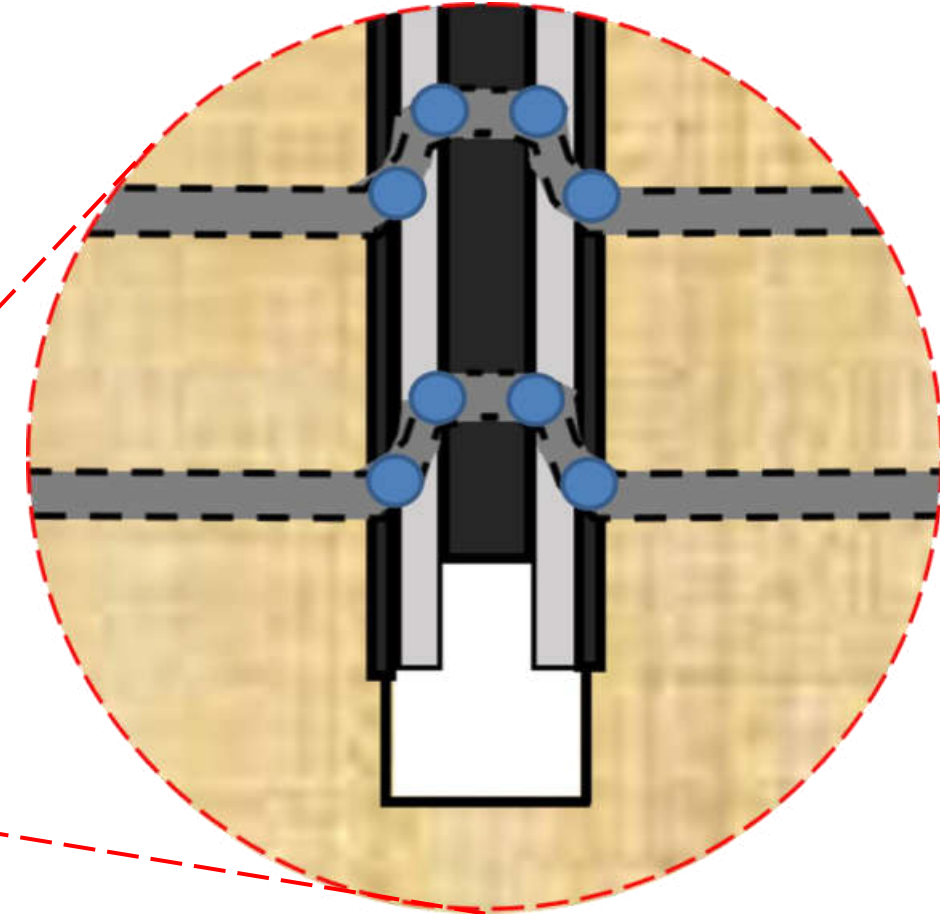
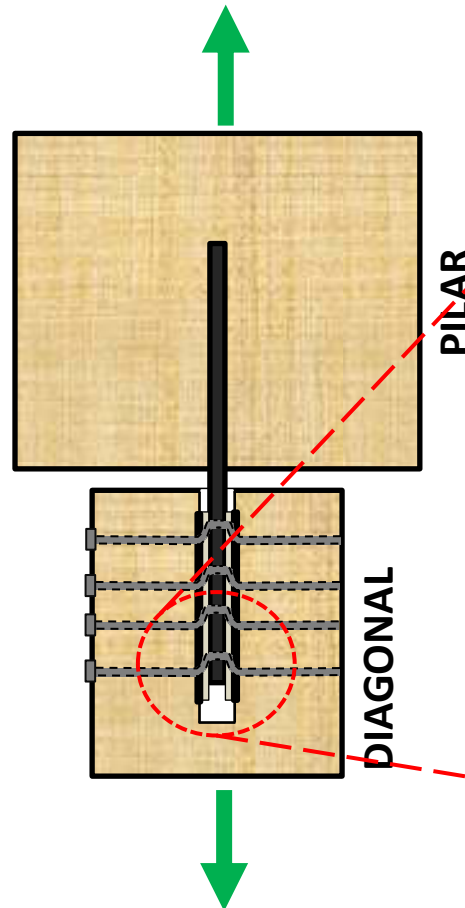
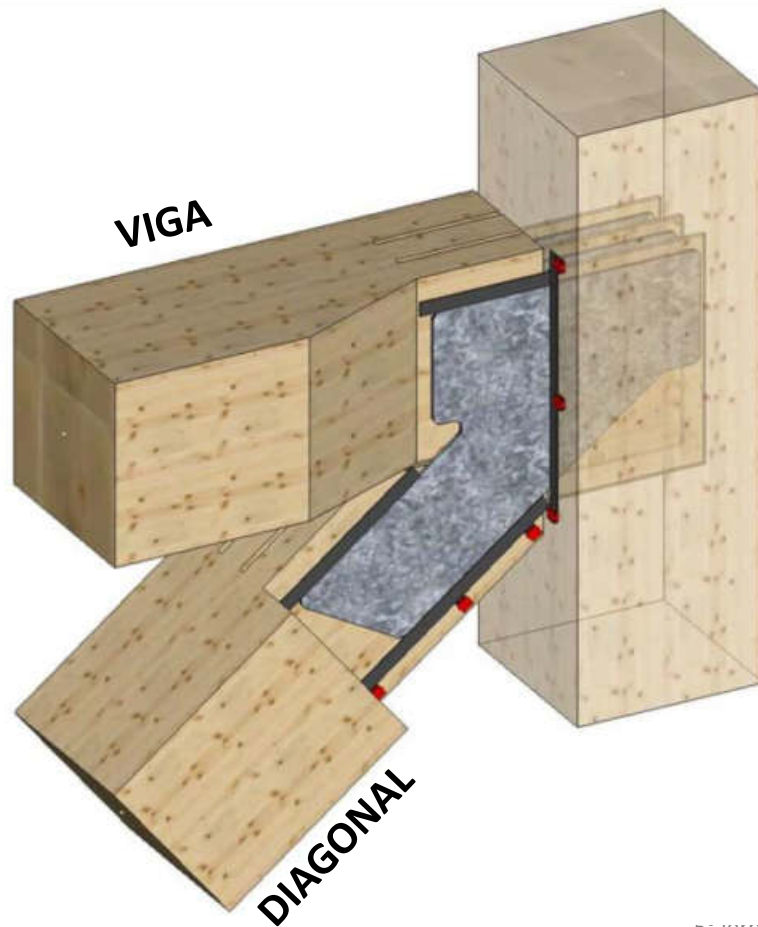


### RESULTADOS:

- Más del doble de resistencia, de rigidez y de ductilidad.
- Respuesta sísmica muy predecible.
- Cálculos indican que permite resistir un 84% más fuerza por cada m<sup>3</sup> de madera empleado
- Requiere un 80% menos m<sup>3</sup> de madera de los que requiere un sistema convencional de muros en CLT

## PROYECTO FONDECYT 11170863.

CONEXIÓN GRFC (Gap Reinforced Fastened Connection).

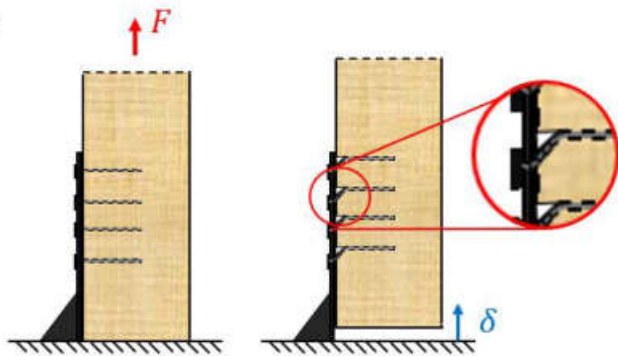


## PROYECTO FONDECYT 11170863.

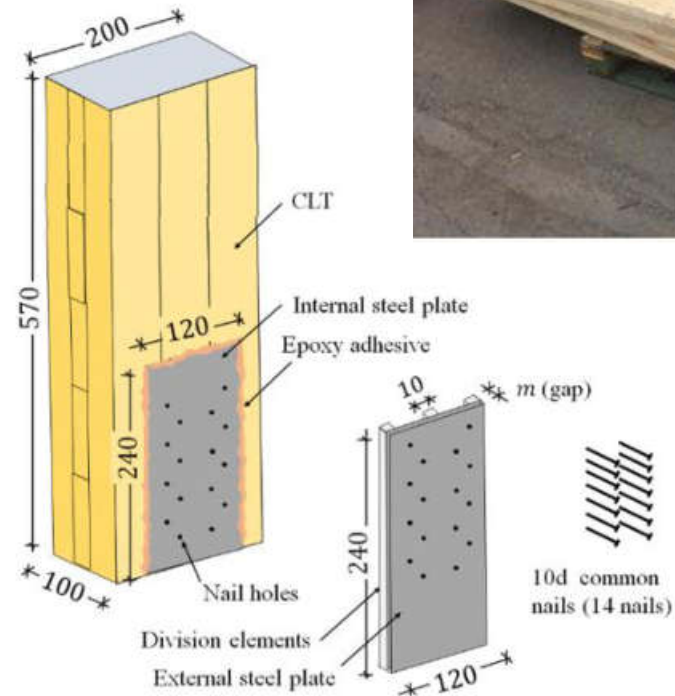
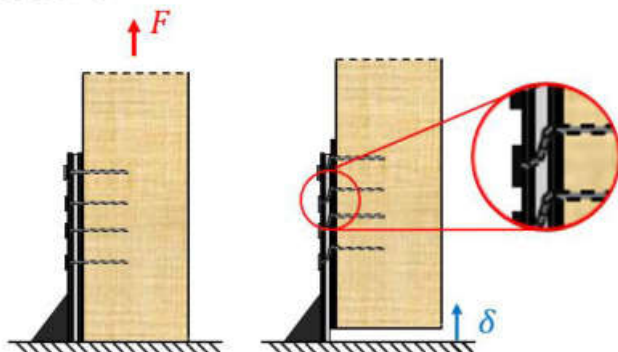
### CONEXIÓN GRFC (Gap Reinforced Fastened Connection).

#### Anclajes Hold-down

Caso típico

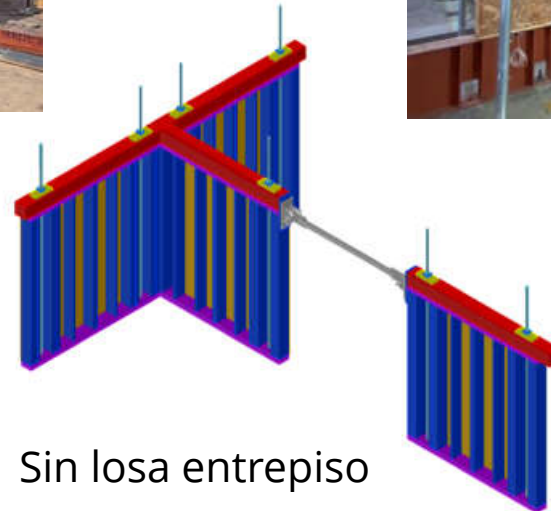


Incorporación GRFC

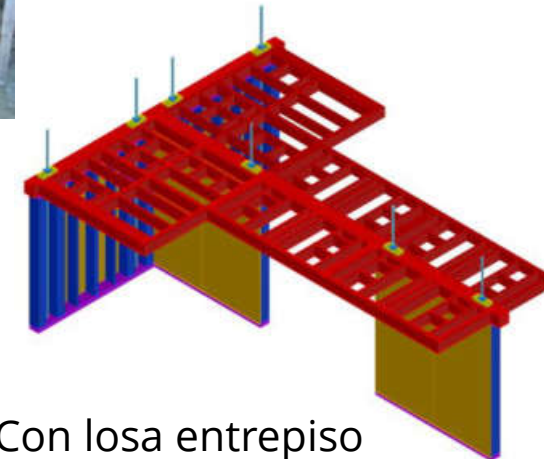


## PROYECTO FONDECYT 11170863.

Estudio del efecto del acoplamiento 3D de los muros de corte y de la interacción muro-diafragma:



Sin losa entrepiso



Con losa entrepiso

## PROYECTO FONDECYT 11170863.

Elaboración de ensayo de mesa vibratoria (3 pisos – Esc. 1:2):

Validar pruebas de concepto de:

- Aisladores para sistema Marco Plataforma
- Desempeño de losas de entrepiso
- Capacidad de las losas para contrarrestar el volcamiento
- Hold-Down industrializables
- Acoplamiento 3D de muros Marco Plataforma

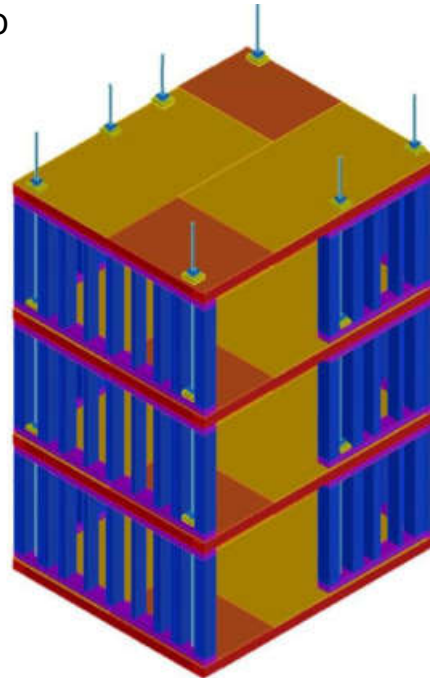
**Centro UC**  
de Innovación  
en Madera

**SIMPSON**  
Strong-Tie

**TECNO FAST**

**LP**  
BUILDING SOLUTIONS

cm<sup>3</sup>pc 



## TORRE EXPERIMENTAL PEÑUELAS

Diseño, construcción y monitoreo de un edificio experimental de 5 niveles más una cubierta habitable estructurado en el sistema constructivo marco-plataforma.



**TURISMO**

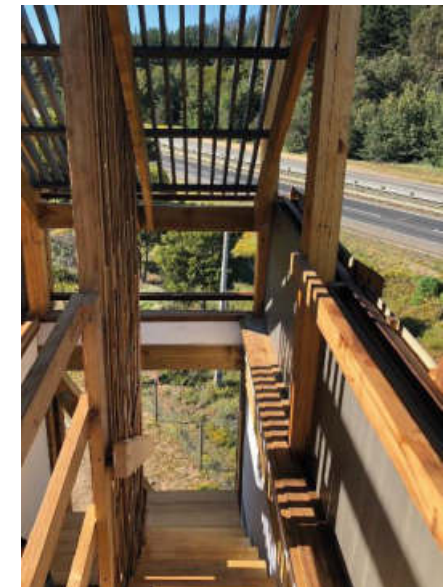
**PROMOCIÓN**

**INVESTIGACIÓN**

**EDUCACIÓN**

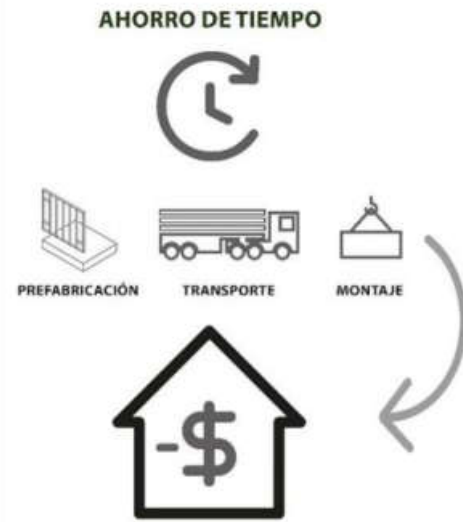


Elegido  
como mejor  
inicativa de  
sustentabilidad  
Edificio de la  
madera

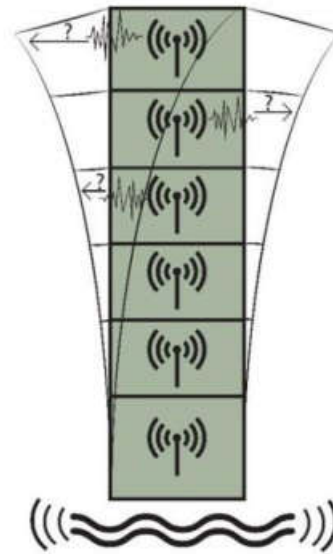


## TORRE EXPERIMENTAL PEÑUELAS

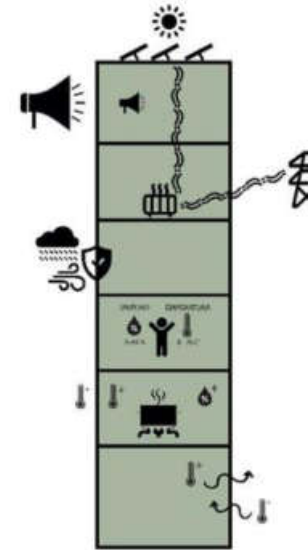
El objetivo de este proyecto es desarrollar investigaciones en relación con cuatro áreas:



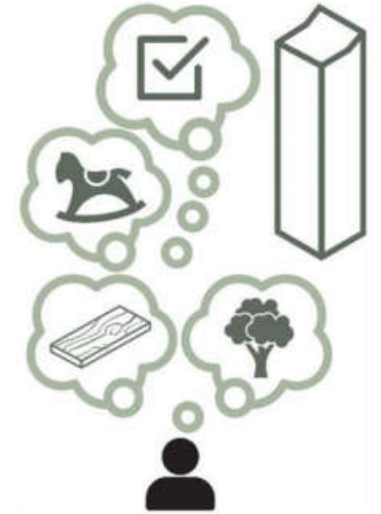
Evaluación económica  
de prefabricación  
y montaje



Comportamiento  
sísmico



Eficiencia  
energética



Percepción  
inmobiliaria

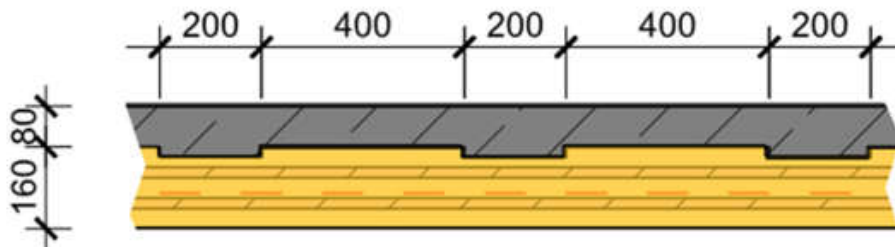
## PROYECTO FONDEF: BASES TÉCNICAS PARA LA INCLUSIÓN DE LOSAS INDUSTRIALIZABLES DE BAJA HUELLA DE CARBONO EN LA NORMATIVA CHILENA.

### OBJETIVO.

Generar bases técnicas y documentación científica para el diseño sísmico de losas de madera industrializadas para edificios de hormigón y de madera. Información que servirá como base para su inclusión en la norma Chilena NCh 1198 "Madera - Construcciones en madera - Cálculo".

Las bases técnicas a desarrollar incluyen:

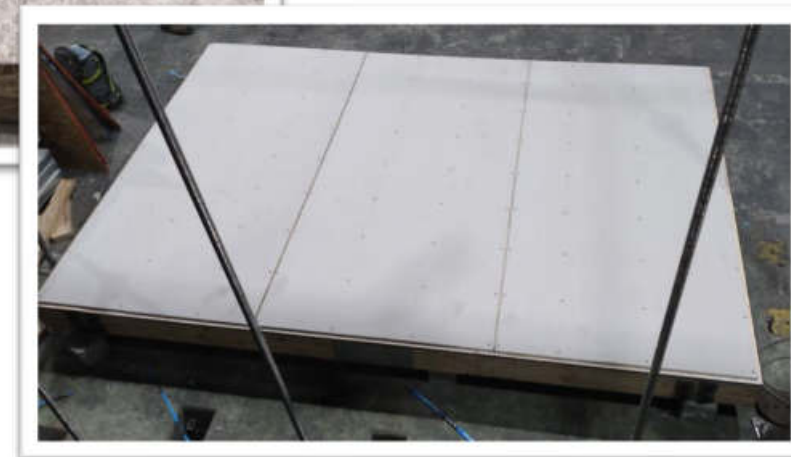
- Diseño y evaluación experimental del desempeño flexional de sobre-losa hormigón + bajo-losa madera.
- Diseño sísmico y caracterización experimental de losas de entramado ligero en madera.
- Caracterización experimental ante carga lateral de uniones en losas de madera masiva .
- Diseño sísmico y evaluación experimental de uniones de losas industrializadas a muros de madera y de hormigón.
- Asegurar la aplicabilidad de losas industrializadas certificando el desempeño térmico-acústico-fuego



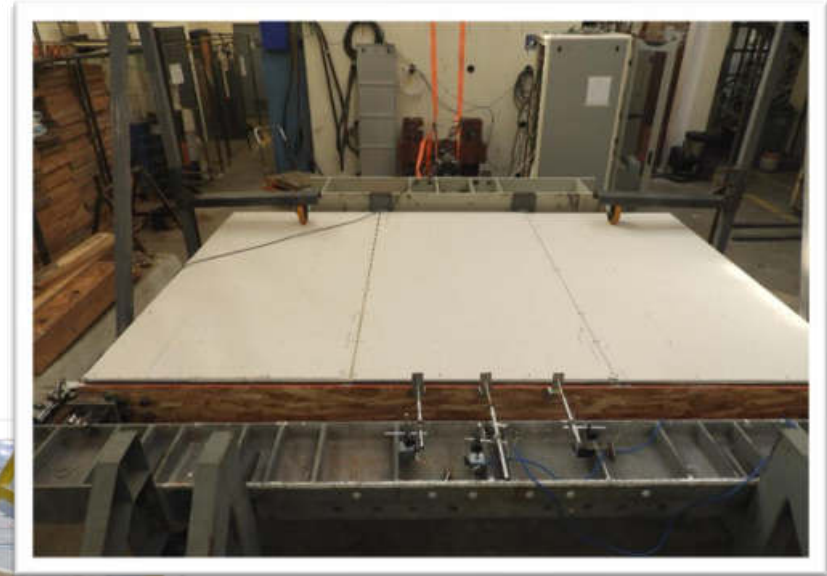
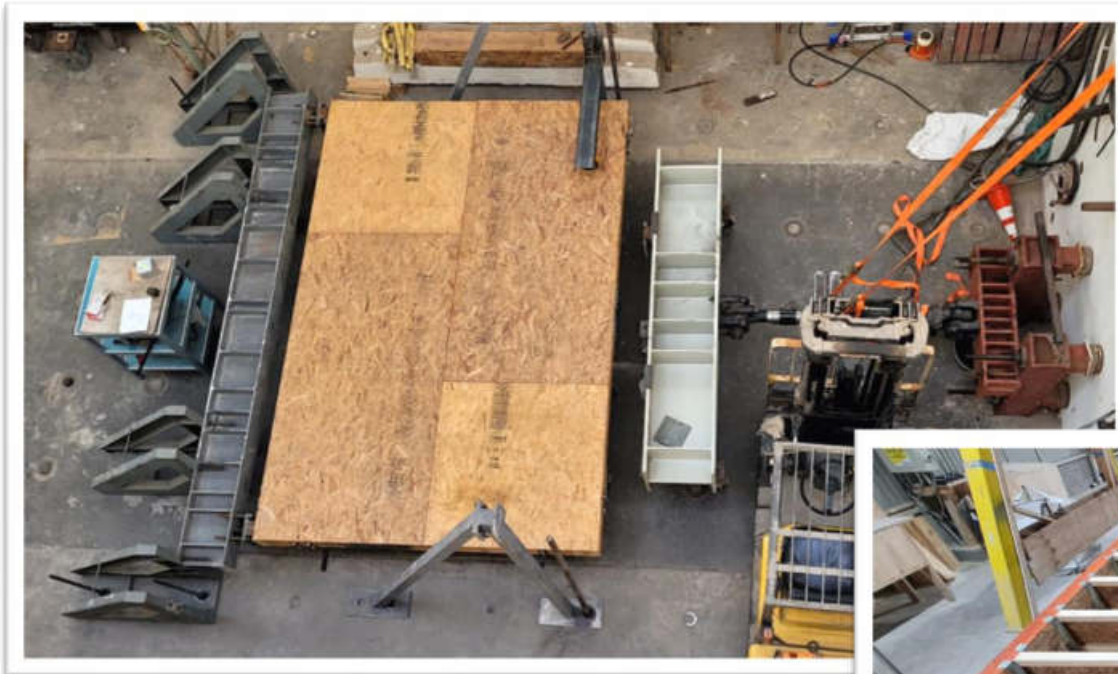
## PROYECTO FONDEF: BASES TÉCNICAS PARA LA INCLUSIÓN DE LOSAS INDUSTRIALIZABLES DE BAJA HUELLA DE CARBONO EN LA NORMATIVA CHILENA.



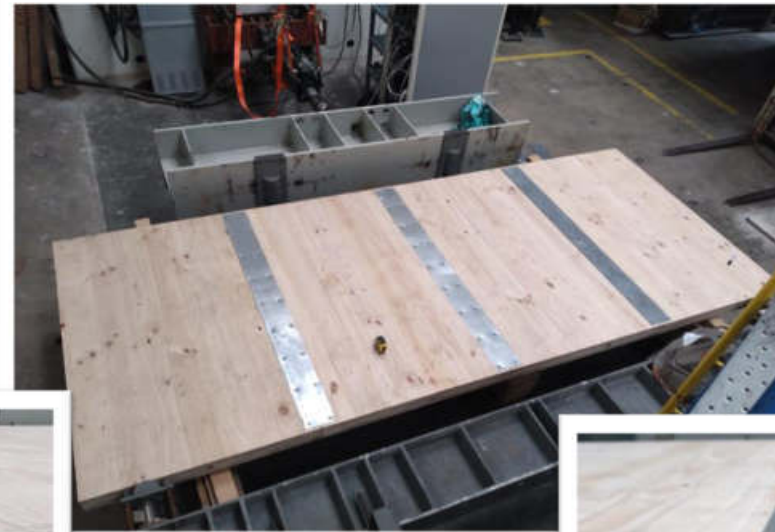
## PROYECTO FONDEF: BASES TÉCNICAS PARA LA INCLUSIÓN DE LOSAS INDUSTRIALIZABLES DE BAJA HUELLA DE CARBONO EN LA NORMATIVA CHILENA.



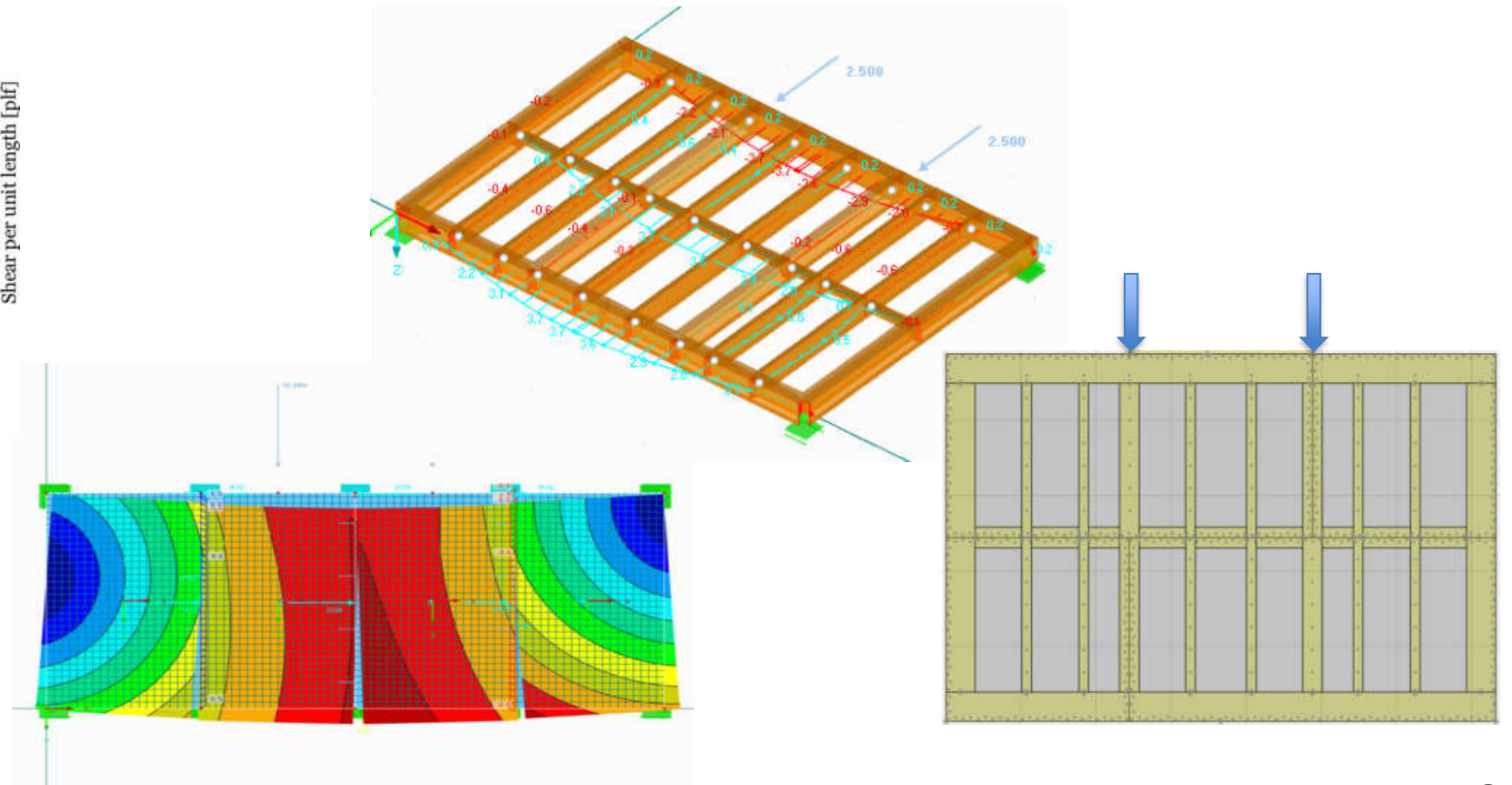
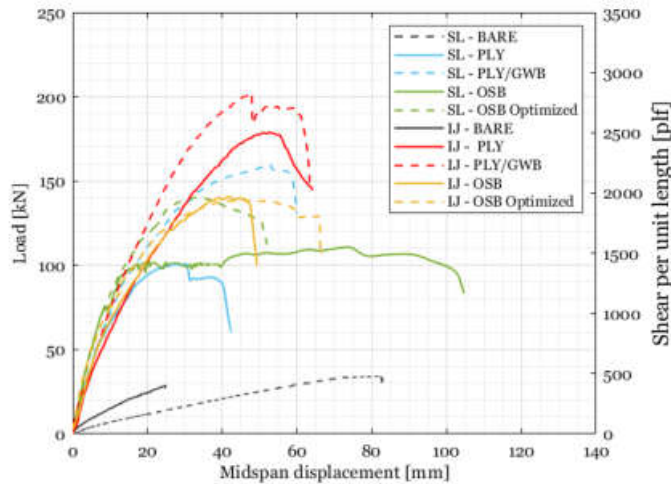
## PROYECTO FONDEF: BASES TÉCNICAS PARA LA INCLUSIÓN DE LOSAS INDUSTRIALIZABLES DE BAJA HUELLA DE CARBONO EN LA NORMATIVA CHILENA.



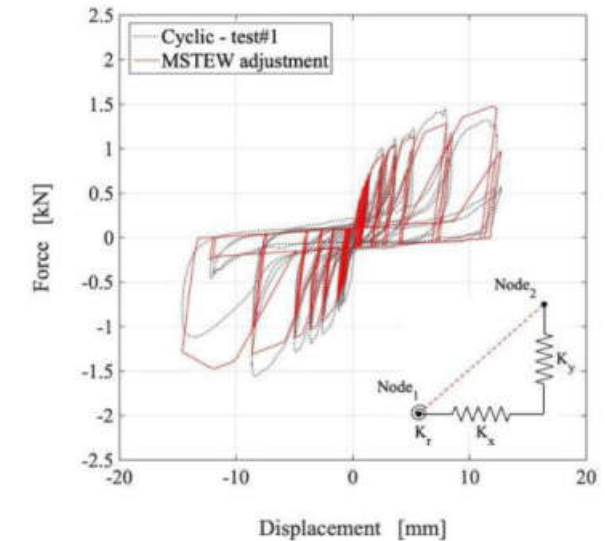
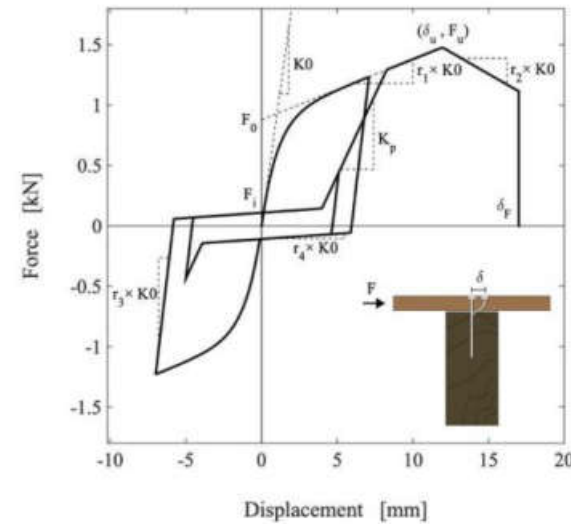
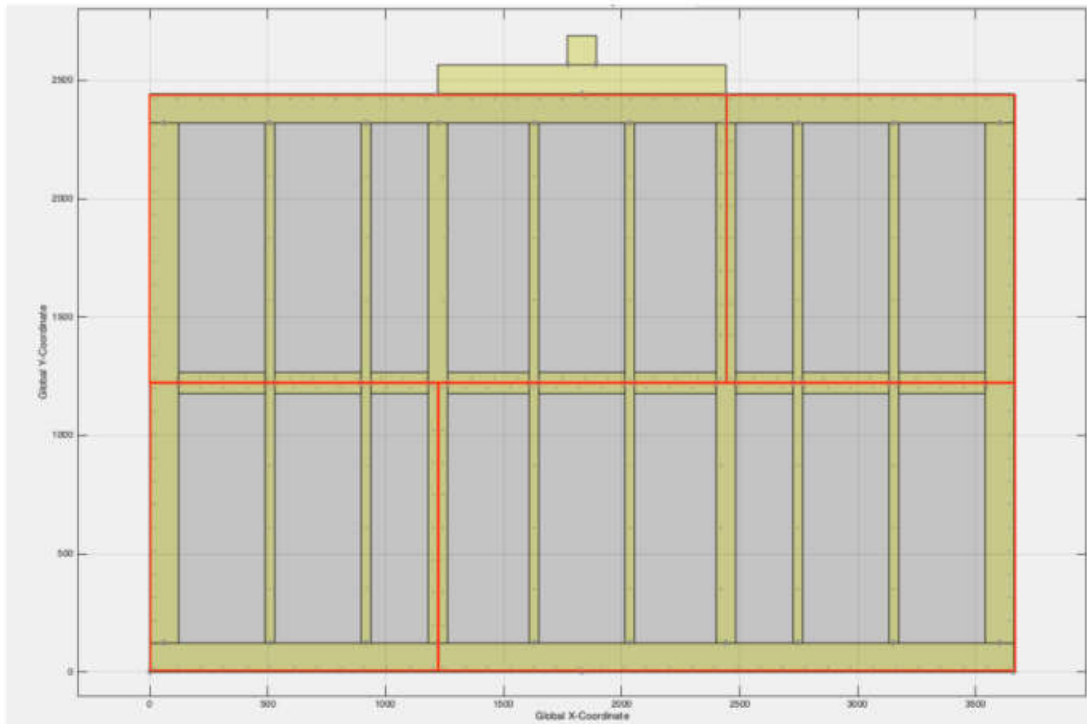
## PROYECTO FONDEF: BASES TÉCNICAS PARA LA INCLUSIÓN DE LOSAS INDUSTRIALIZABLES DE BAJA HUELLA DE CARBONO EN LA NORMATIVA CHILENA.



## PROYECTO FONDEF: BASES TÉCNICAS PARA LA INCLUSIÓN DE LOSAS INDUSTRIALIZABLES DE BAJA HUELLA DE CARBONO EN LA NORMATIVA CHILENA.

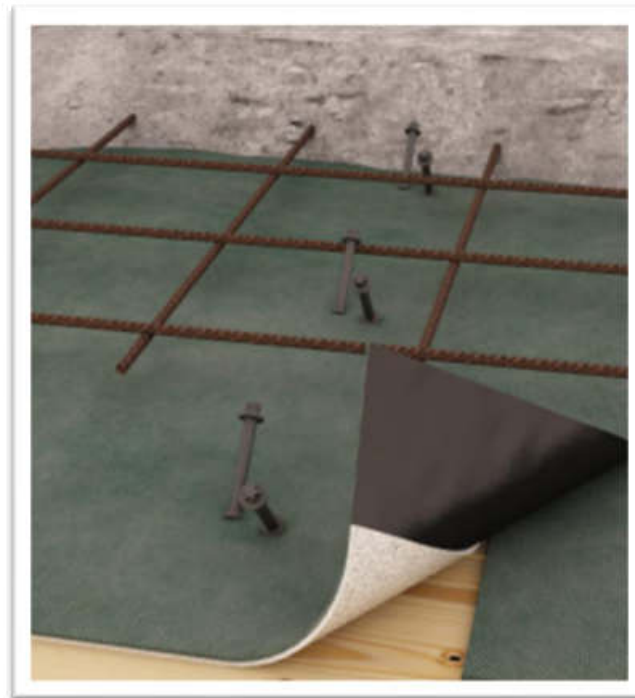


## PROYECTO FONDEF: BASES TÉCNICAS PARA LA INCLUSIÓN DE LOSAS INDUSTRIALIZABLES DE BAJA HUELLA DE CARBONO EN LA NORMATIVA CHILENA.



## PROYECTO FONDEF: BASES TÉCNICAS PARA LA INCLUSIÓN DE LOSAS INDUSTRIALIZABLES DE BAJA HUELLA DE CARBONO EN LA NORMATIVA CHILENA.

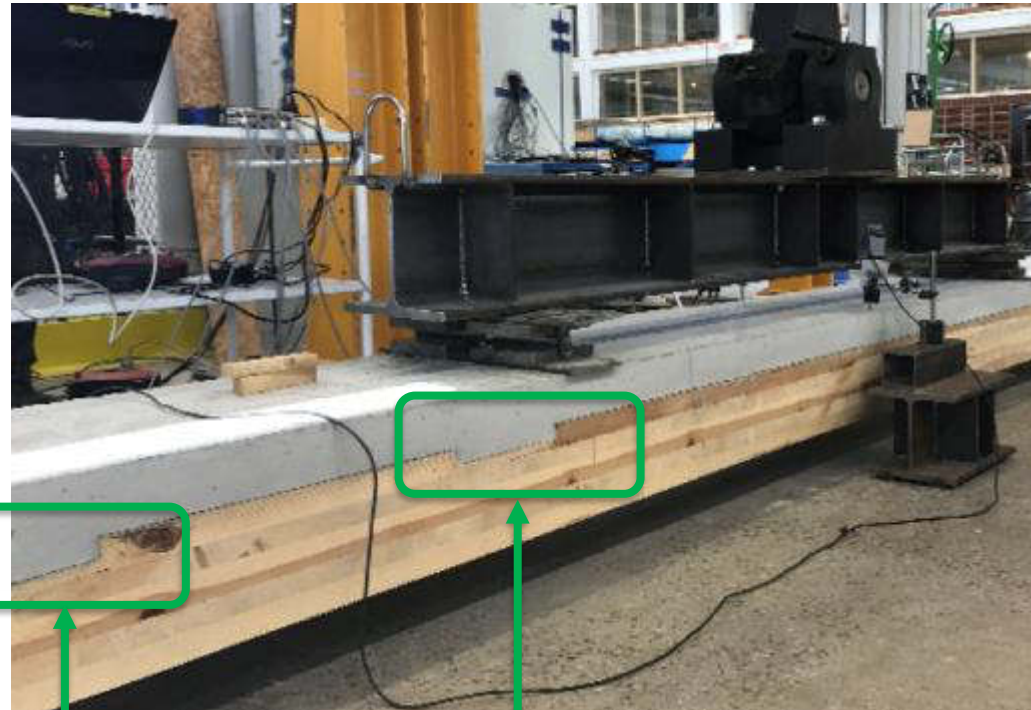
Ensayos de rigidez y resistencia interface losa compuesta: NLT (Nail Laminated Timber) y CLT



## PROYECTO FONDEF: BASES TÉCNICAS PARA LA INCLUSIÓN DE LOSAS INDUSTRIALIZABLES DE BAJA HUELLA DE CARBONO EN LA NORMATIVA CHILENA.



Ensayos de rigidez y resistencia interface losa compuesta: NLT (Nail Laminated Timber) y CLT

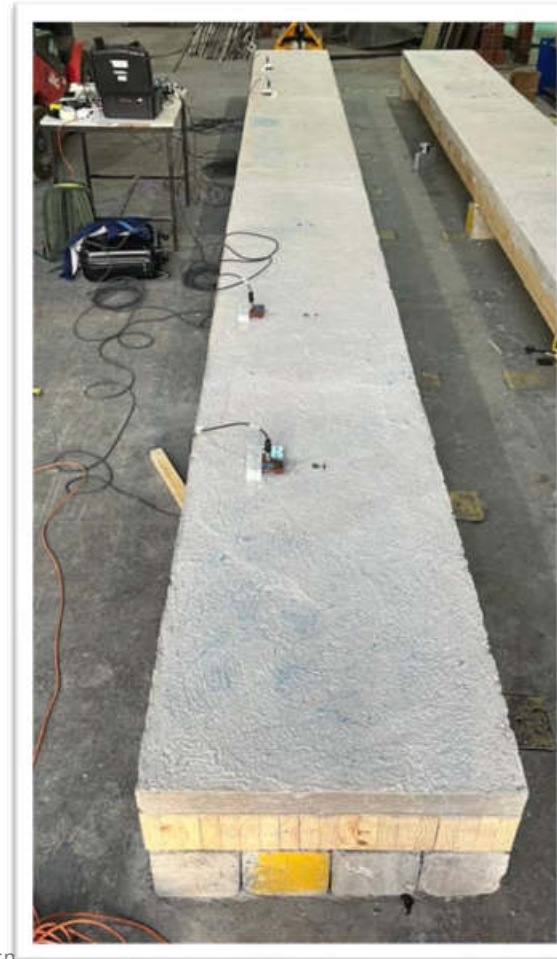


## PROYECTO FONDEF: BASES TÉCNICAS PARA LA INCLUSIÓN DE LOSAS INDUSTRIALIZABLES DE BAJA HUELLA DE CARBONO EN LA NORMATIVA CHILENA.

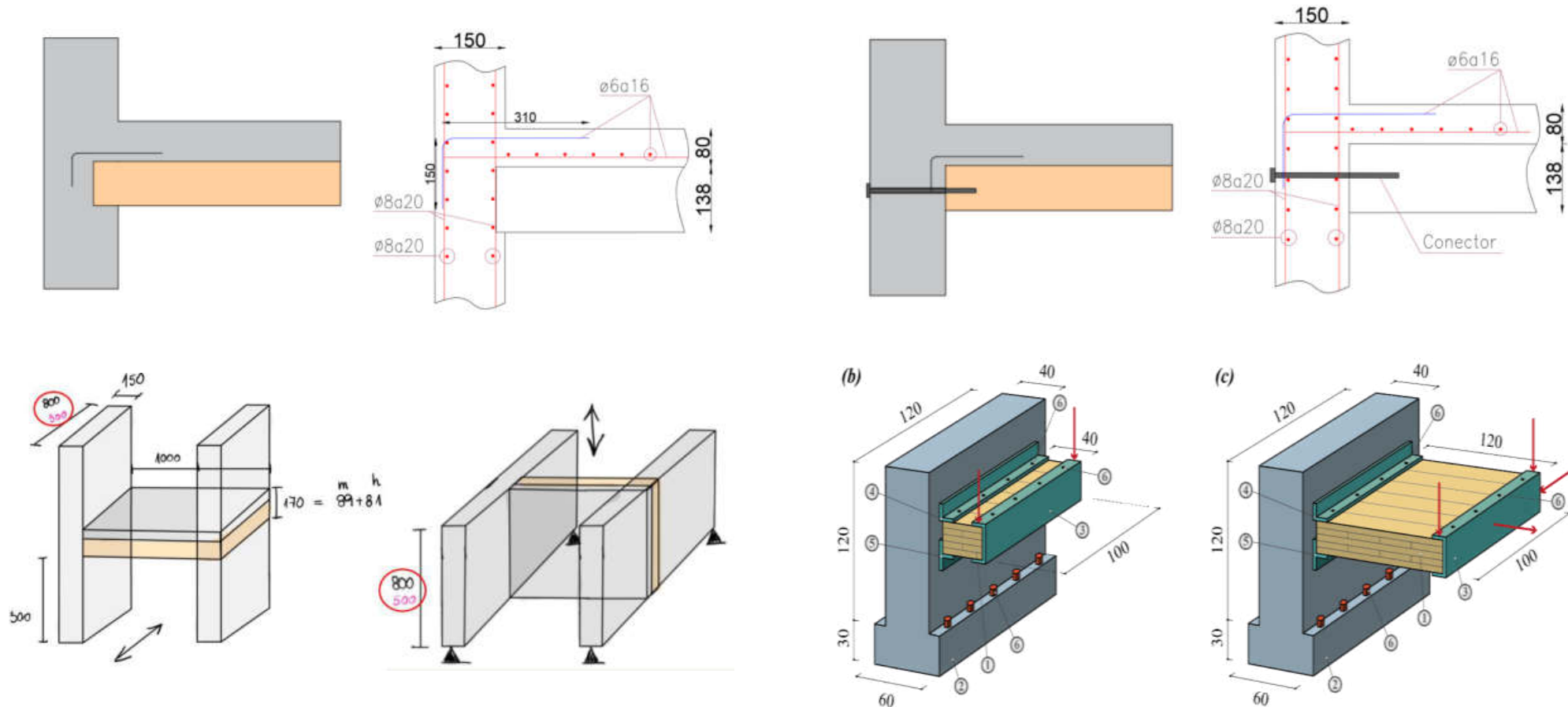


## PROYECTO FONDEF: BASES TÉCNICAS PARA LA INCLUSIÓN DE LOSAS INDUSTRIALIZABLES DE BAJA HUELLA DE CARBONO EN LA NORMATIVA CHILENA.

Ensayos de losas Madera-Hormigón flexión y creep:

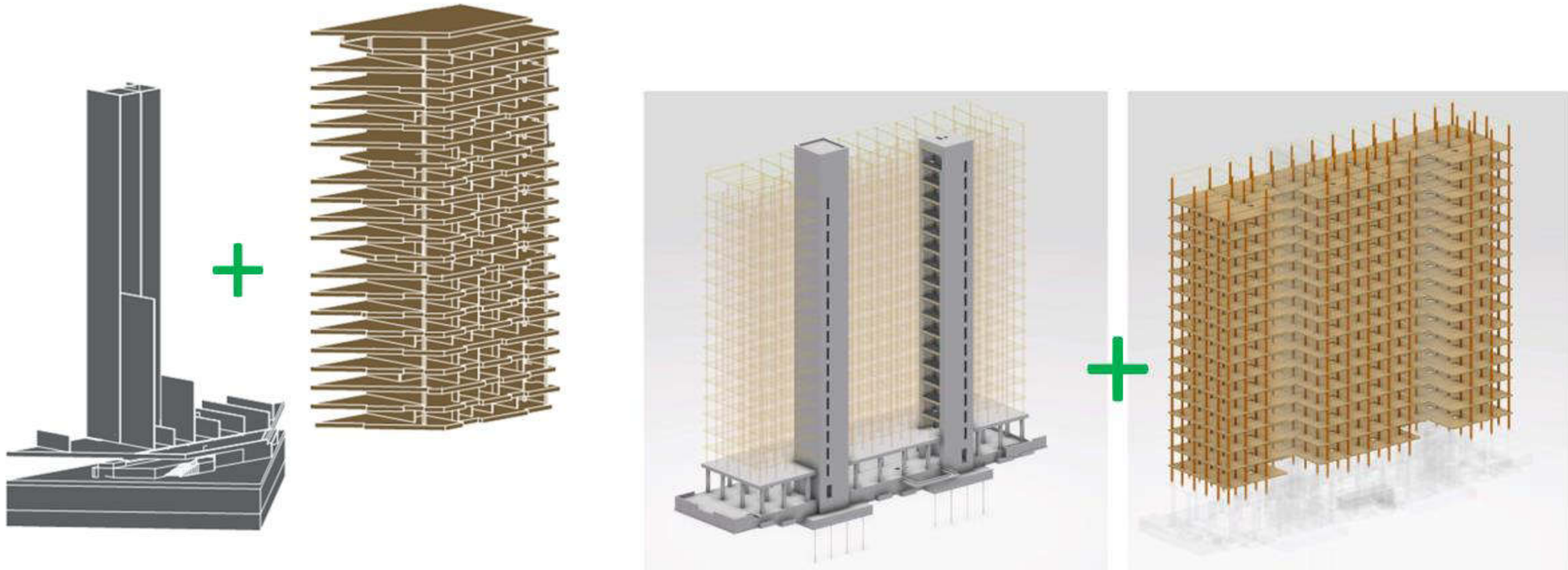


## PROYECTO FONDEF: BASES TÉCNICAS PARA LA INCLUSIÓN DE LOSAS INDUSTRIALIZABLES DE BAJA HUELLA DE CARBONO EN LA NORMATIVA CHILENA.



## PROYECTOS EN TORNO AL USO DE ESTRUCTURAS HÍBRIDAS MADERA-HORMIGÓN EN CHILE

**OBJETIVO GENERAL:** Desarrollar una edificación de 15 pisos en madera considerando la sismicidad Chilena.



# PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

## Capítulo de Madera

### PARTE 3

# PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

## Capítulo de Madera

- 1. Consideraciones preliminares.**
- 2. Aspectos generales del material y los elementos que conforman el sistema estructural**
  - 2.1. Principios básicos de caracterización de especies de madera
  - 2.2. Principios básicos de caracterización de tableros arriostrantes
  - 2.3. Principios básicos de caracterización de medios de unión
  - 2.4. Normativas básicas de ensayo lateral de uniones y ensamblajes de madera
- 3. Principios fundamentales de diseño sísmico de estructuras de madera.**



Fuente: Elaboración Propia.

### 4. Rigidez y tipos de fallo en elementos estructurales de madera

4.1. Tracción longitudinal

4.2. Compresión longitudinal

4.3. Flexión

4.4. Cortante longitudinal o por delaminación

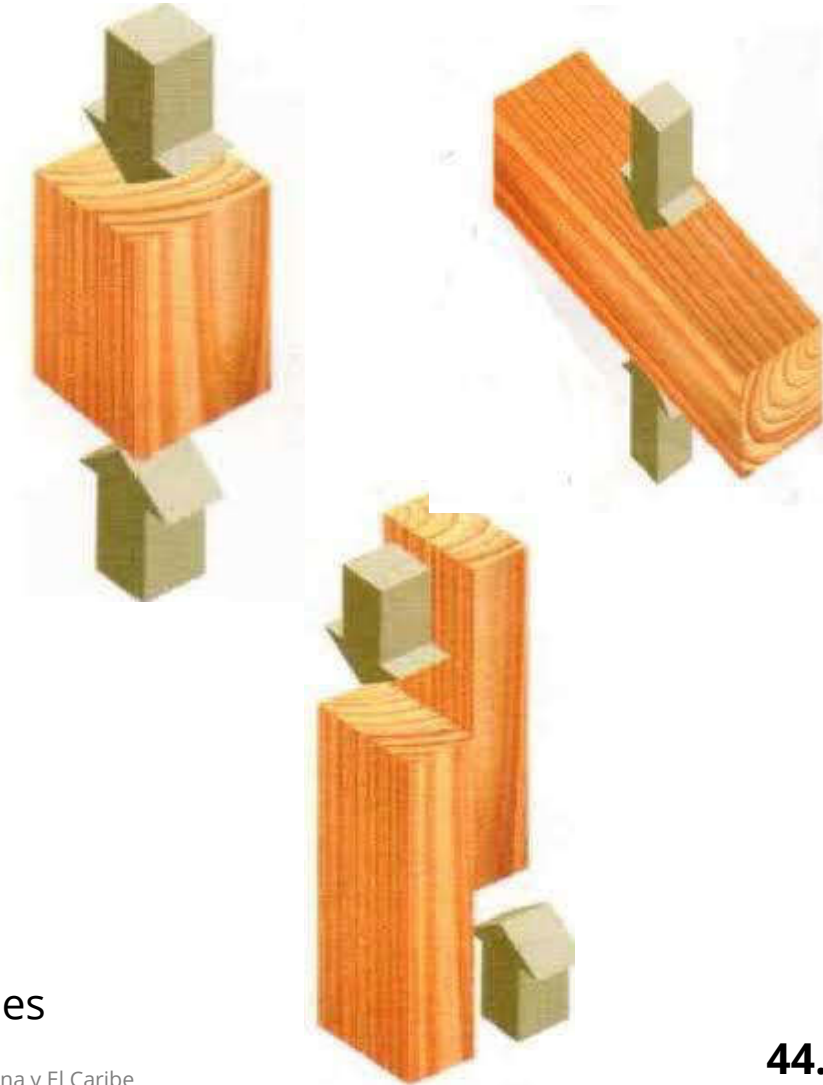
4.5. Cortante transversal

4.6. Cortante de rodadura

4.7. Compresión perpendicular o aplastamiento

4.8. Tracción perpendicular

4.9. Consideraciones adicionales de modos de fallo en tableros estructurales



### 5. Rigidez y tipos de fallo en uniones

5.1. Fallo lateral frágil

5.2. Fallo lateral semi-dúctil

5.3. Fallo lateral dúctil

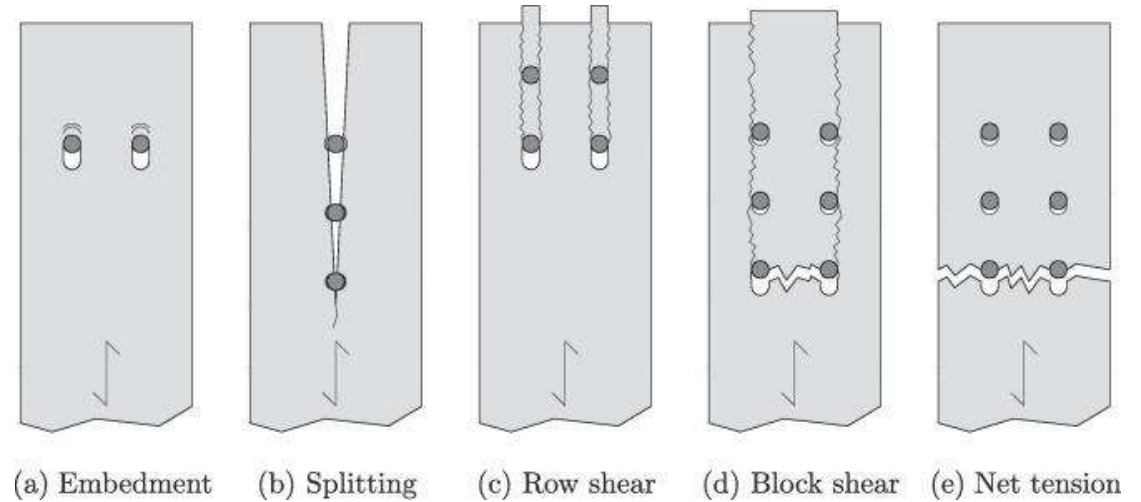
5.4. Fallo en conectores solicitados axialmente

5.5. Fallo en conectores inclinados

5.6. Fallo en uniones carpinteras

5.7. Fallo en uniones encoladas

5.8. Consideraciones en uniones madera con hormigón o acero



Fuente: Yang, JQ. et al, (2020)  
Yurrita, M., and Cabrero, J.M. (2021)

# PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

## Capítulo de Madera

### 6. Fundamentos del sistema plataforma de entramado ligero.

6.1. Morfología

6.2. Muros

6.3. Losas

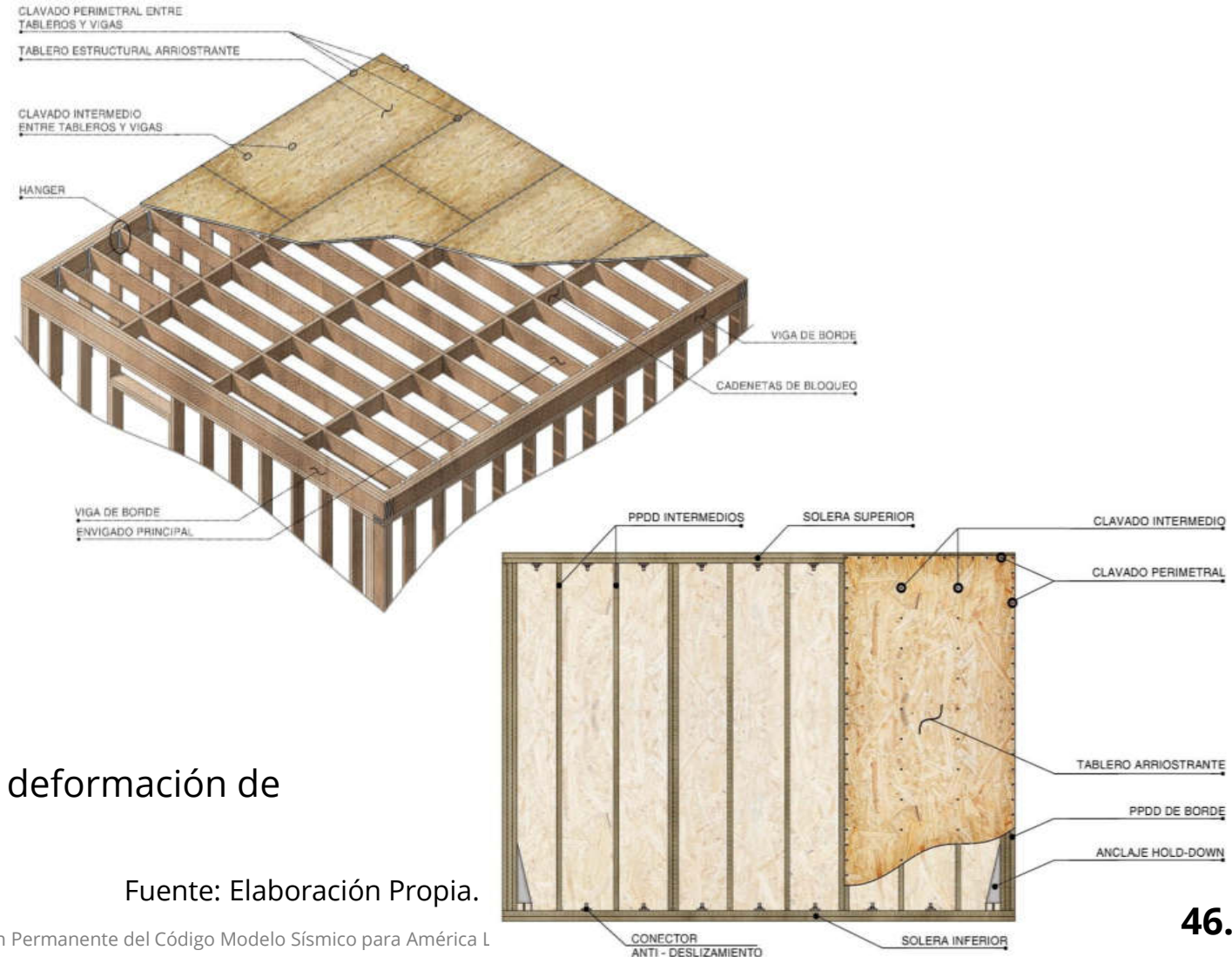
6.4. Anclajes

6.5. Uniones a elementos de hormigón

6.6. Uniones de preferencia dúctil

6.7. Uniones de preferencia elástica

6.6. Pruebas de determinación del factor R y deformación de entrepiso



Fuente: Elaboración Propia.

## 7. Fundamentos del sistema plataforma de CLT

7.1. Morfología

7.2. Muros

7.3. Losas

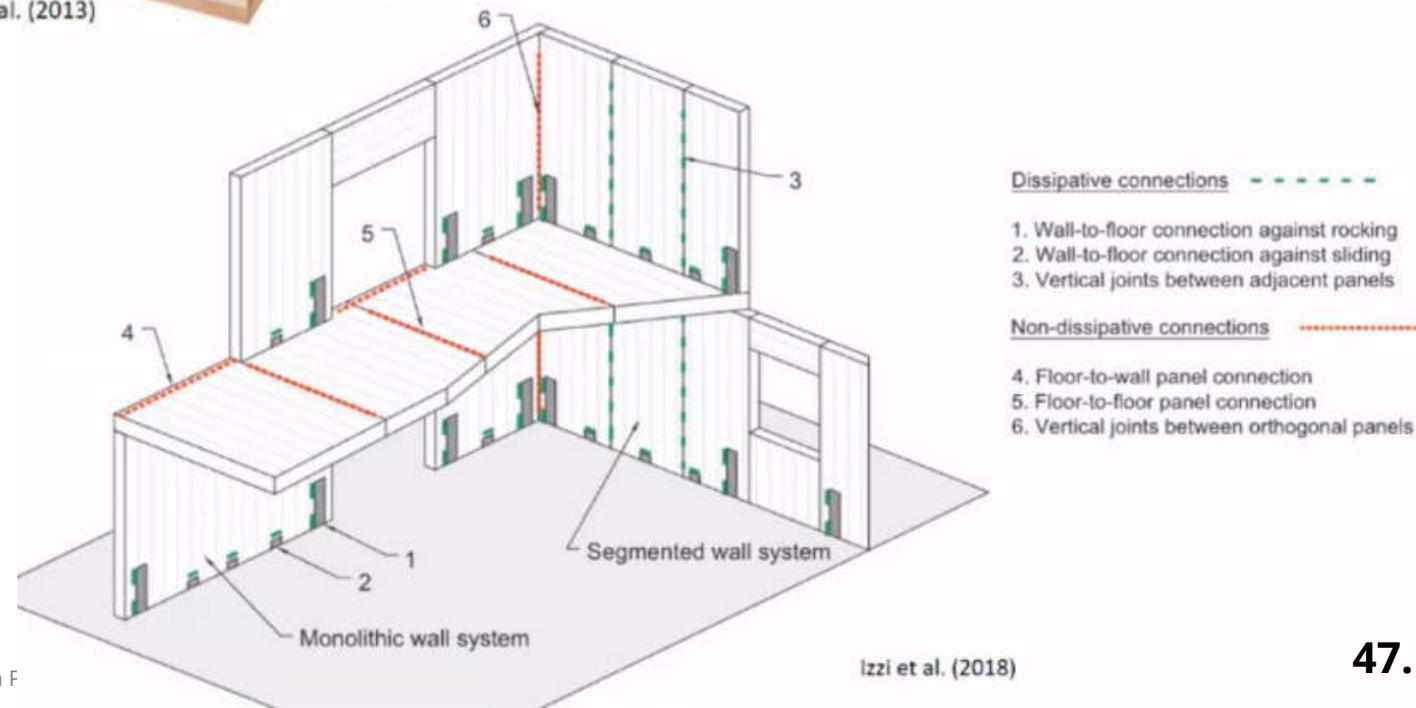
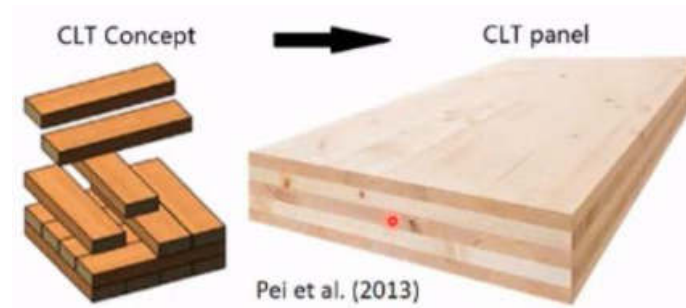
7.4. Anclajes

7.5. Uniones a elementos de hormigón

7.7. Uniones de preferencia dúctil

7.7. Uniones de preferencia elástica

7.7. Pruebas de determinación del factor R y deformación de entrepiso



# PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

## Capítulo de Madera

8. Daño en elementos no estructurales.

9. Principios básicos de diseño por capacidad en estructuras de madera.

10. Diseño de uniones mecánicas.

10.1. Principios generales, ecuaciones de Johansen

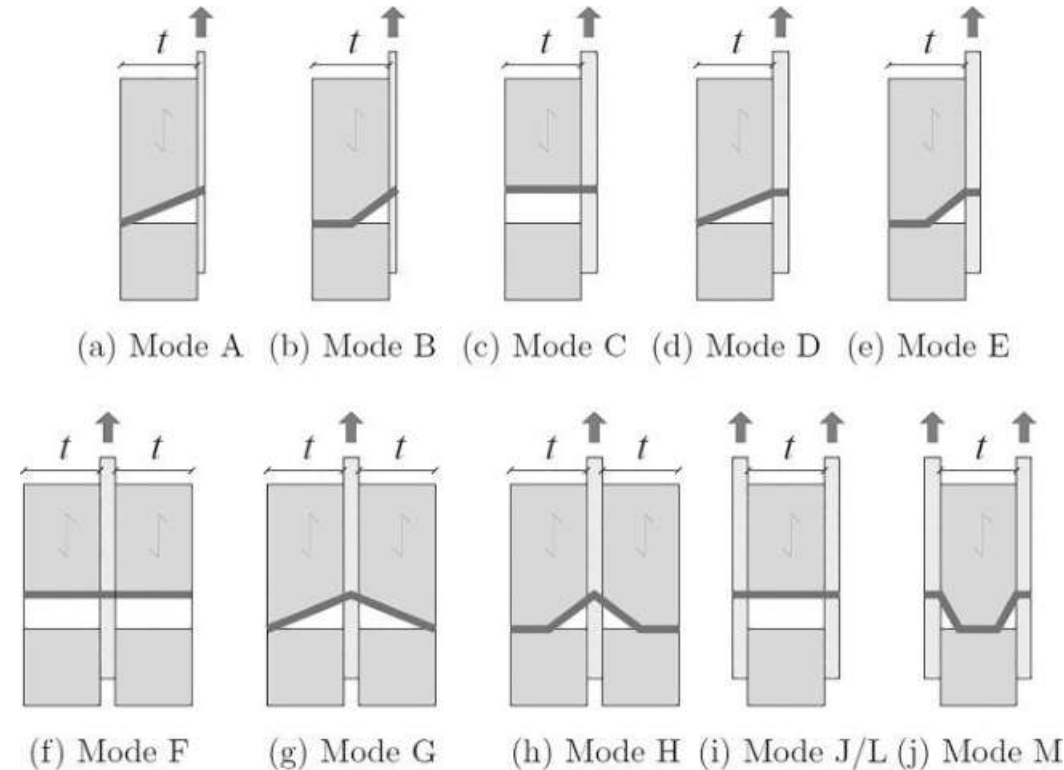
10.2. Resistencia al aplastamiento, momento plástico y efecto cuerda

10.3. Espesor mínimo requerido en elementos estructurales

10.4. Uniones con conectores inclinados

10.5. Uniones con conectores solicitados axialmente

10.6. Principios del comportamiento típico en uniones encoladas y uniones carpinteras



Fuente: Yang, JQ. et al, (2020)

## 11. Diseño lateral de muros y diafragmas de sistemas estructurales en entramado ligero y en CLT.

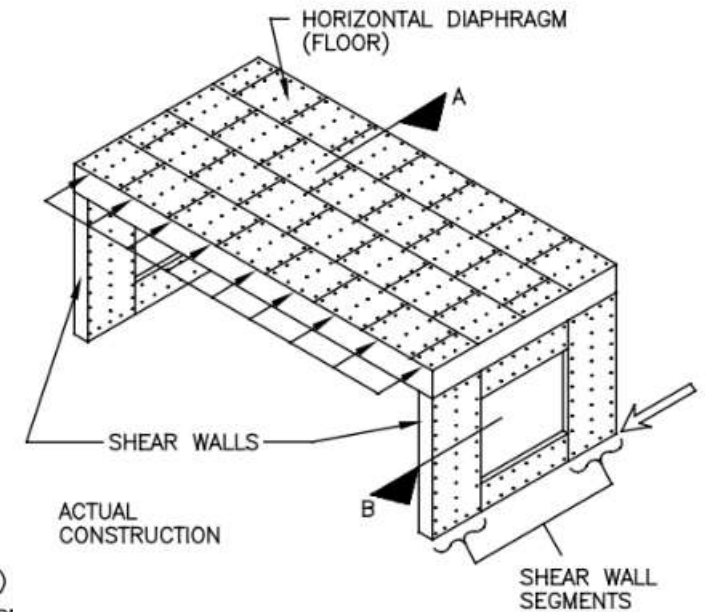
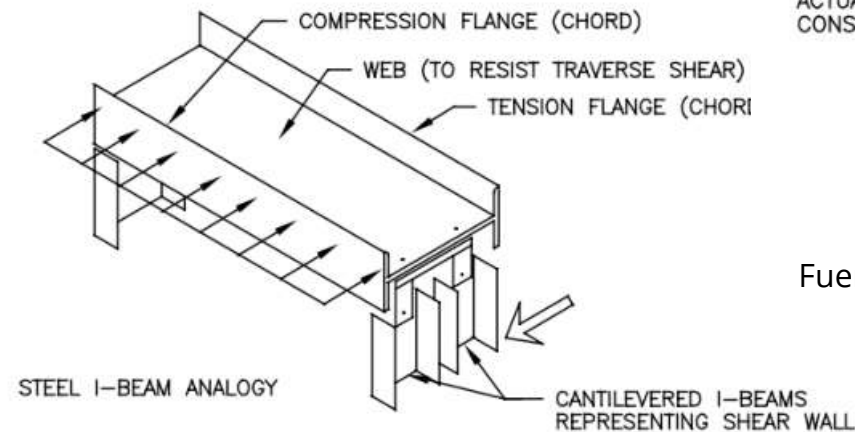
### 11.1. Principios generales

### 11.2. Control de calidad, clasificación, certificación y ensayos previos de materiales

### 11.3. Premisas de cálculo habituales en el diseño de losas y muros

### 11.4. Diseño de diafragmas

### 11.5. Diseño de muros



Fuente: Courtesy of the Partnership for advancing technology in housing, Washington, DC.

# PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

## Capítulo de Madera

### 11. Diseño lateral de muros y diafragmas de sistemas estructurales en entramado ligero y en CLT.

Fuente: Courtesy of the American Wood Council, Leesburg, VA.

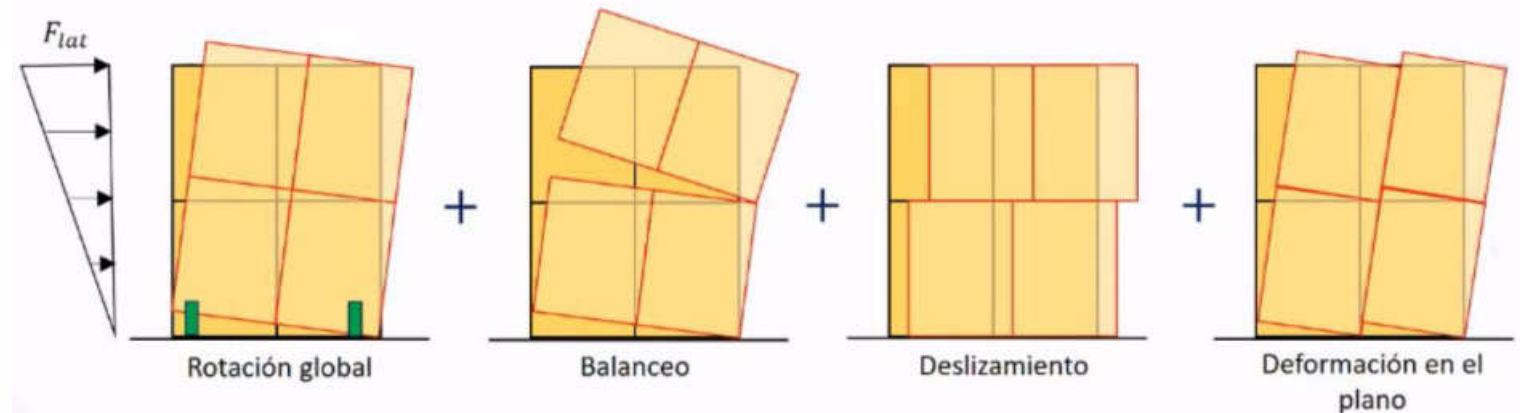
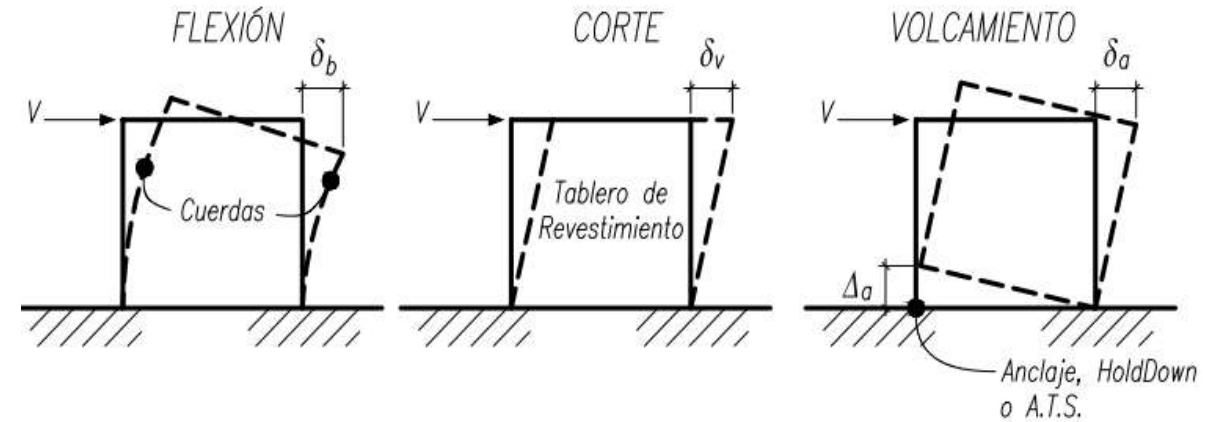
#### 11.1. Principios generales

#### 11.2. Control de calidad, clasificación, certificación y ensayos previos de materiales

#### 11.3. Premisas de cálculo habituales en el diseño de losas y muros

#### 11.4. Diseño de diafragmas

#### 11.5. Diseño de muros



# PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

## Capítulo de Madera

12. Principios básicos para la modelación elástica de muros y diafragmas de madera.

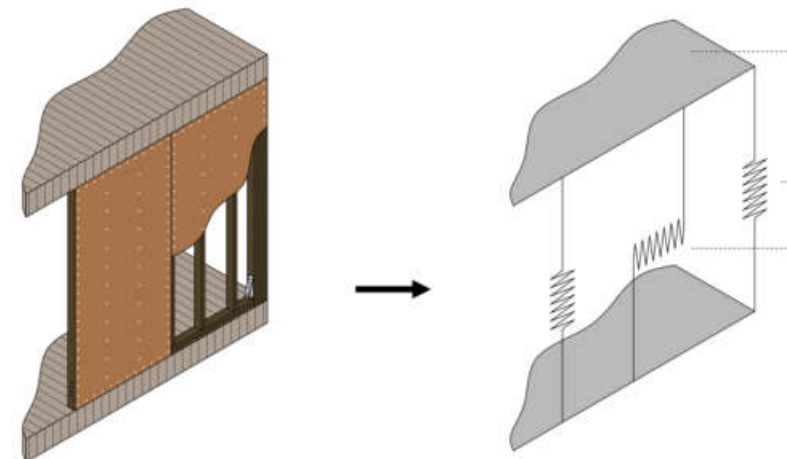
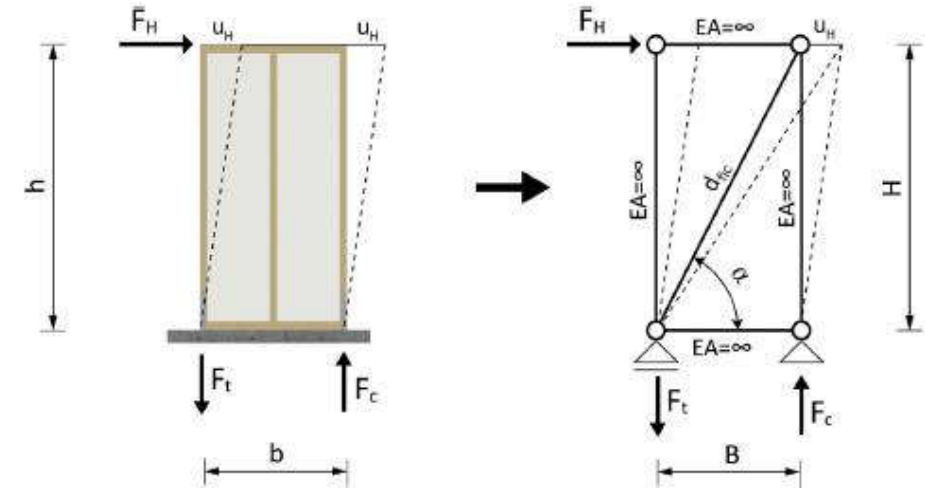
13. Principios básicos para la modelación no lineal de muros y diafragmas de madera.

14. Normativas de referencia y recursos adicionales.

15. Anexos (desarrollos futuros).

15.1. Principios para el análisis y diseño de estructuras híbridas (Madera-Hormigón o Madera-Acero).

15.2. Consideraciones especiales para el retrofit de estructuras de madera existente.



### RESUMEN

1. Consideraciones preliminares.
2. Aspectos generales del material y los elementos que conforman el sistema estructural.
3. Principios fundamentales de diseño sísmico de estructuras de madera.
4. Rigidez y tipos de fallo en elementos estructurales de madera.
5. Rigidez y tipos de fallo en uniones.
6. Fundamentos del sistema plataforma de entramado ligero.
7. Fundamentos del sistema plataforma de CLT
8. Daño en elementos no estructurales.
9. Principios básicos de diseño por capacidad en estructuras de madera.