



CONCURSO

INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

MEMORIAS, INVESTIGACIONES PATENTES,
PROYECTOS DE TÍTULOS

La VII Versión del Concurso, tiene como objetivo destacar a aquellos alumnos de las carreras de ingeniería y construcción civil que hayan desarrollado o se encuentren desarrollando memorias de título, proyectos de título, investigaciones o patentes en torno a la madera.



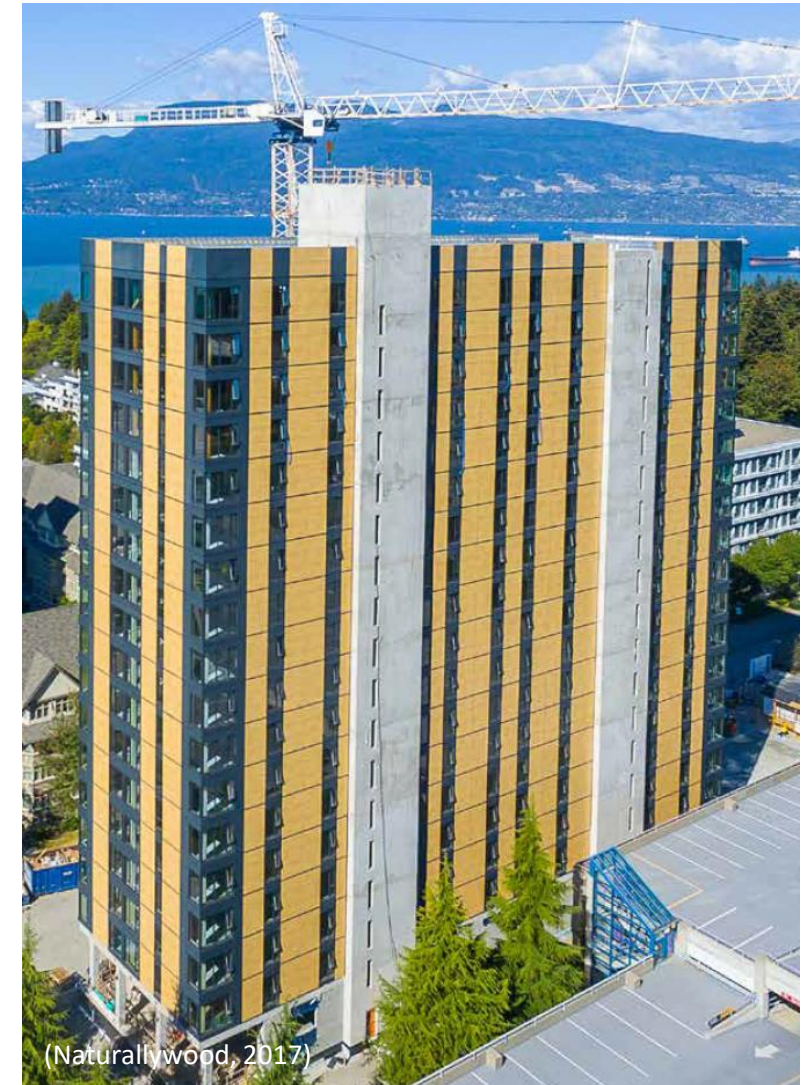


EQUIPO ING1184

**Evaluación del
comportamiento sísmico de
diafragmas horizontales de
madera contralaminada en
edificios híbridos con
muros de hormigón armado**

Índice

- › Contexto
- › Método de análisis
- › Análisis de resultados
- › Conclusiones



Edificio híbrido Brock Commons

- › En países sísmicos como Chile, la altura de los edificios de madera se encuentra limitada en la fase de diseño por el desplazamiento horizontal máximo de entrepiso
- › Un edificio híbrido (Figura 1) que combina muros de hormigón armado (HA) con losas (o diafragmas) de madera contralaminada (CLT) permite el uso de madera en edificios de mayor altura, pues los muros de HA reducen el desplazamiento horizontal de entrepiso mientras que los diafragmas de CLT reducen el peso sísmico del edificio
- › Con 18 pisos de altura, el edificio Brock Commons (Figura 2) es el edificio híbrido que combina muros de hormigón armado (HA) y losas de madera más alto del mundo
- › El tiempo empleado en el diseño y aprobación del edificio Brock Commons fue de 8 meses, mientras que su construcción empleó un tiempo de 18 meses
- › La construcción del edificio se dividió en tres etapas: fundaciones y núcleos de hormigón armado (7 meses), montaje de la estructura de madera (3 meses) y acabado no estructural (10 meses), donde las últimas dos etapas presentaron cierto grado de simultaneidad



Figura 1 Construcción edificio Brock Commons
(Naturally:Wood, 2017)

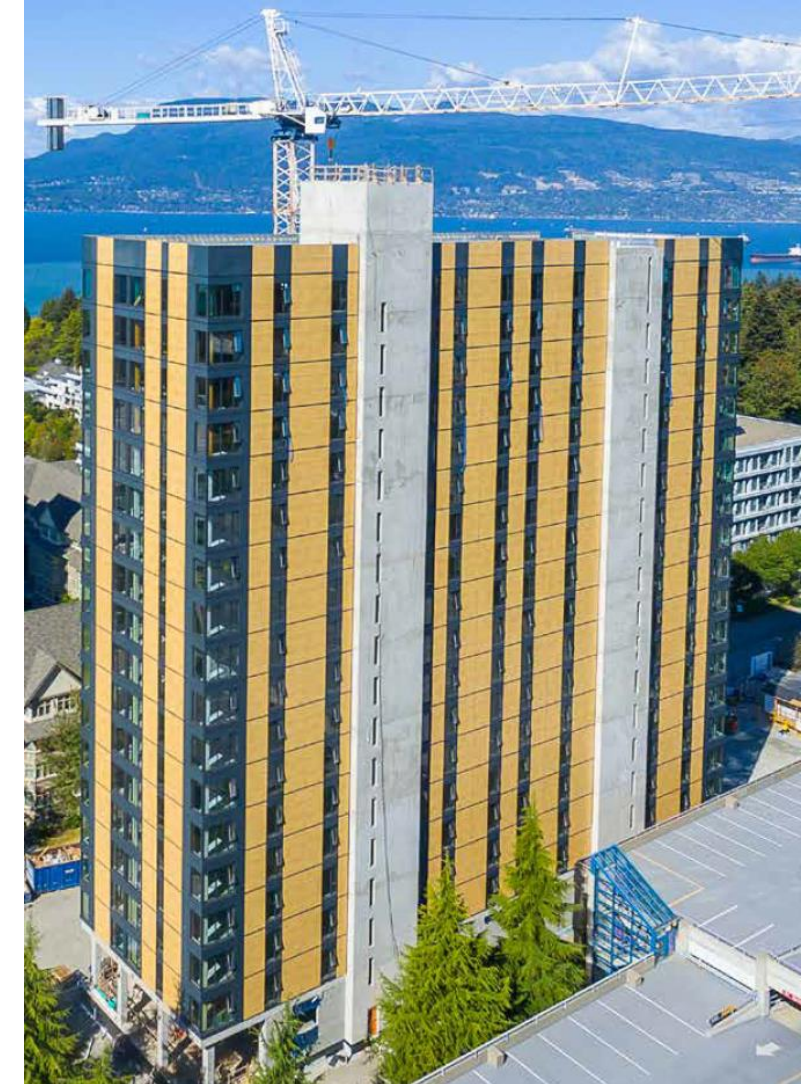


Figura 2 Edificio Brock Commons
(Naturally:Wood, 2017)

Diafragma del edificio Brock Commons

- › Paneles de madera contralaminada o CLT (*Cross-Laminated Timber*) compuesto de múltiples capas de madera aserrada (Figura 3)
- › Cuatro tipos de conexiones: panel-panel, losa-muro, cuerda y colector (Figura 4)

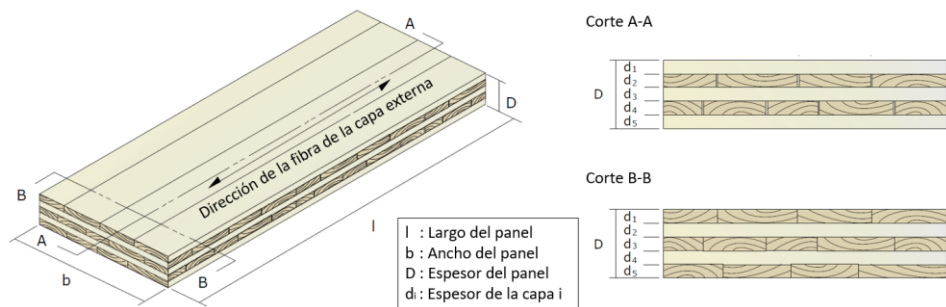
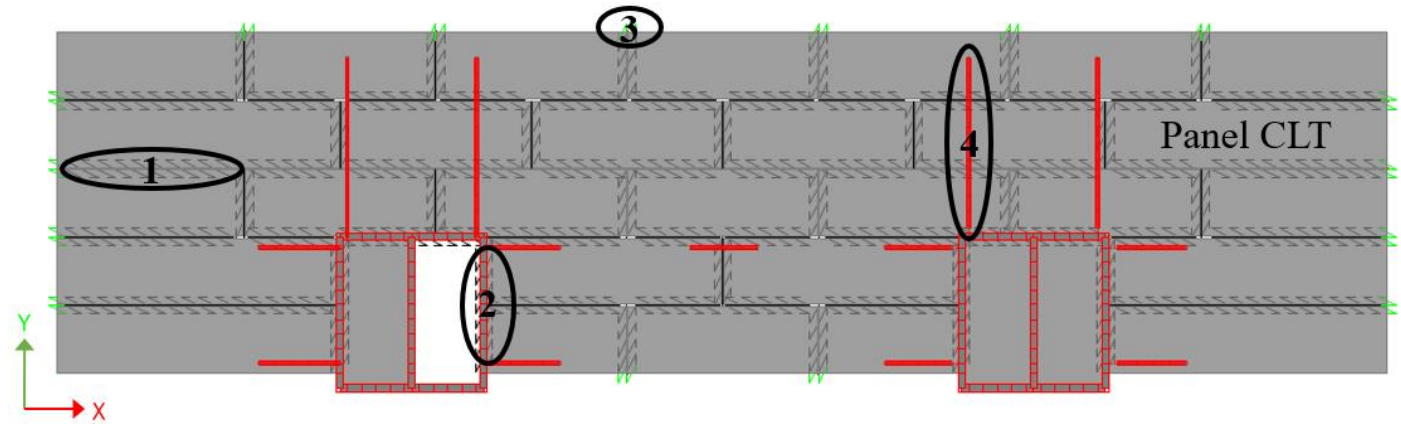


Figura 3 Panel de CLT de 5 capas (CLT Handbook 2013)



Conexión	1) Panel-Panel	2) Losa-Muro	3) Cuerda	4) Colector
Figura	 (Jackson, 2016)	 (Bergen, 2016)	 (Jackson, 2016)	 (Jackson, 2016)

Figura 4 Conexiones del diafragma en edificio Brock Commons

Comportamiento sísmico del diafragma

- › En los edificios híbridos HA-CLT no existen estudios que identifiquen el tipo de comportamiento de sus diafragmas, los cuales distribuyen las fuerzas horizontales sobre los muros. Esta identificación es necesaria en la fase de diseño, ya que la demanda sobre los muros y diafragmas varía según el comportamiento analizado (rígido, semirrígido o flexible)
- › El comportamiento sísmico del diafragma puede ser clasificado según el índice de flexibilidad del diafragma (IF), parámetro adimensional definido como la razón entre el desplazamiento máximo del diafragma respecto a los muros y el desplazamiento promedio de entrepiso de los muros (Figura 5)

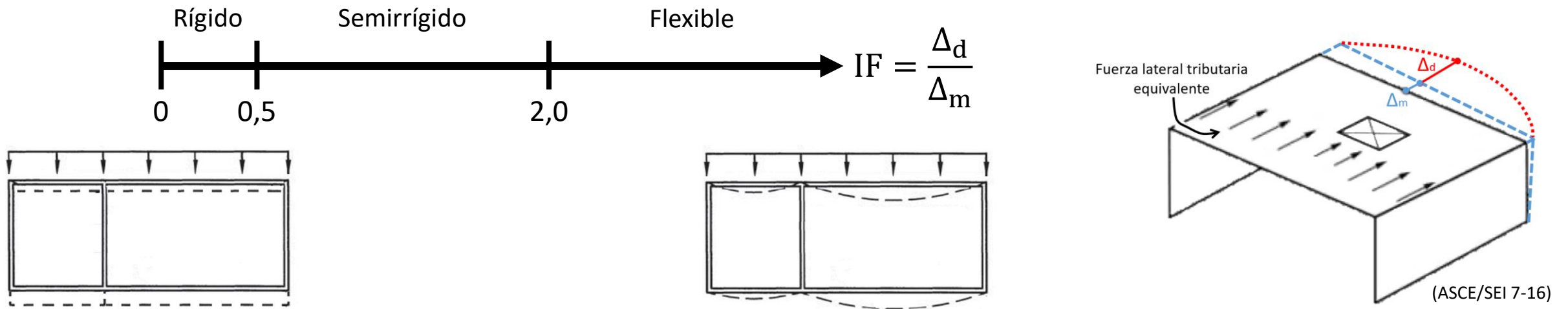


Figura 5 Clasificación del comportamiento del diafragma

Objetivos de la investigación

Objetivo principal:

- › **Identificar** el tipo de comportamiento que presentan los diafragmas horizontales de edificios híbridos conformados por losas de madera contralaminada y muros de hormigón armado

Objetivos específicos:

- › Mediante la revisión del estado del arte, **identificar** las variables que determinan el patrón de desplazamiento horizontal del diafragma de CLT
- › Mediante modelos computacionales, **evaluar** la influencia de la flexibilidad de los diafragmas horizontales de CLT sobre la respuesta dinámica de una estructura conformada por muros de HA y losas de CLT
- › Mediante modelos computacionales, **evaluar** el índice de flexibilidad del diafragma para cada diafragma horizontal de CLT en la estructura con muros de HA

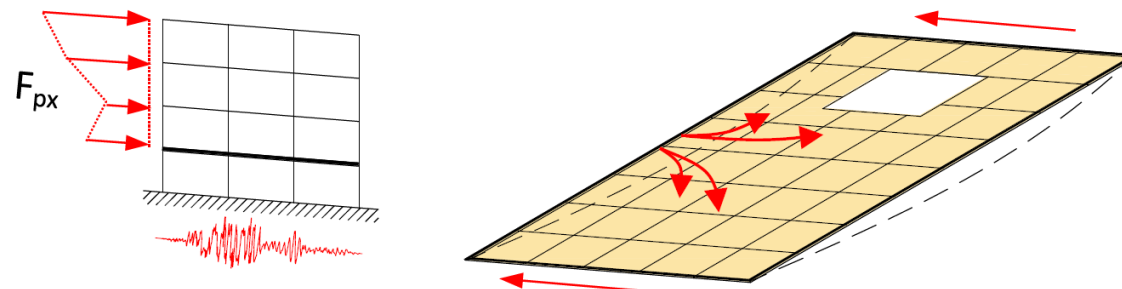


Figura 6 Sollicitación sobre el diafragma horizontal
(Moroder, 2016)

Edificios estudiados

- El desarrollo de la presente investigación fue acotado a **cuatro edificios** híbridos con diferente planta estructural
- La planta del edificio U8 se basó en la planta desarrollada por Goycoolea (2017), mientras que la planta del edificio B20 se basó en la planta del edificio Brock Commons. Las plantas de los edificios B12 y B28 se basaron en la planta del edificio B20 variando la separación entre núcleos de hormigón armado (L) con el fin de analizar la influencia de esta separación en el comportamiento del diafragma
- Los cuatro edificios estudiados tienen ocho pisos, uso de oficinas y se encuentran emplazados en una zona de alta sismicidad (zona sísmica 3, suelo E y categoría III según NCh433). Además, debido a la presencia del ascensor, todos los edificios cuentan con el núcleo izquierdo un piso más alto que el núcleo derecho

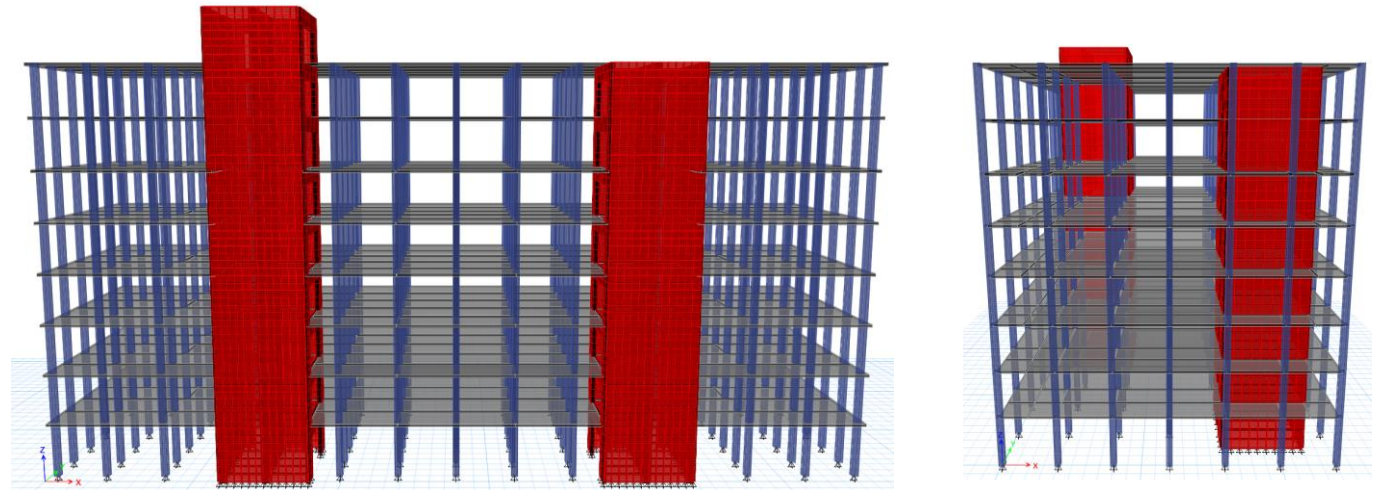
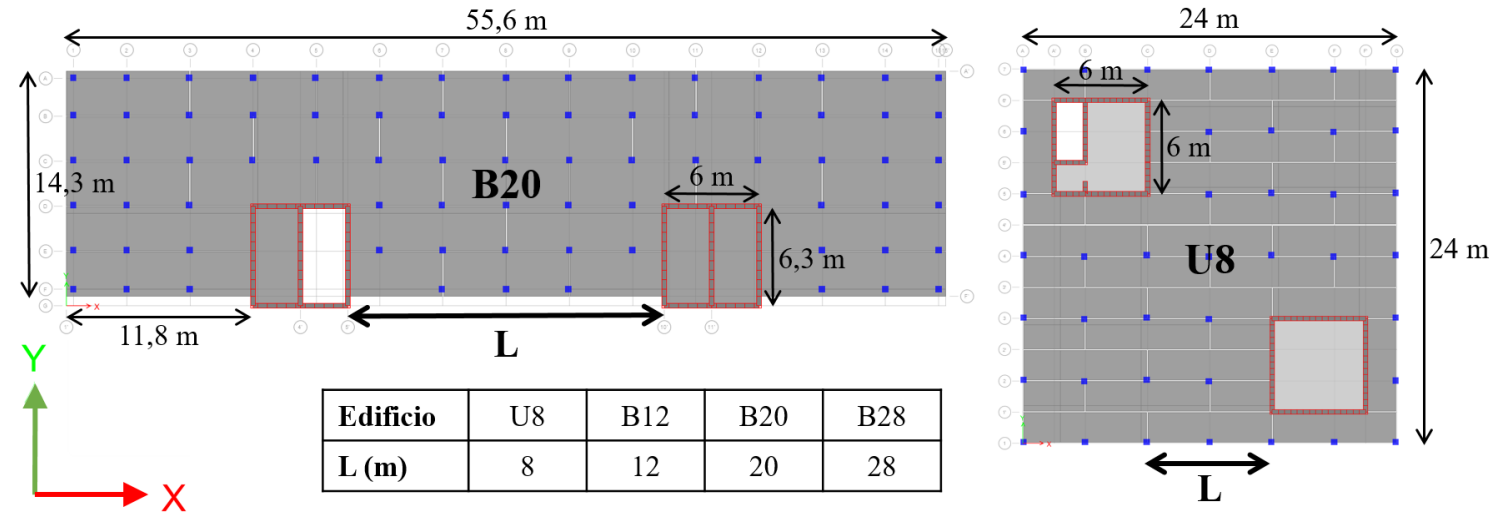


Figura 7 Edificios estudiados

Etapas de análisis

- › Para cumplir los objetivos asociados a la investigación, el análisis de cada edificio fue dividido en **cuatro etapas** (Figura 8)
- › Si bien la primera etapa no tuvo asociada un objetivo específico, esta etapa fue necesaria ya que consideró el diseño sísmico de los elementos analizados en las etapas posteriores (muros y diafragmas)
- › Cada una de las cuatro etapas requirió de un modelo bidimensional o tridimensional sometido a un análisis modal espectral (AME), estático no lineal (AENL) o tiempo-historia (ATH) realizado en el programa computacional ETABS

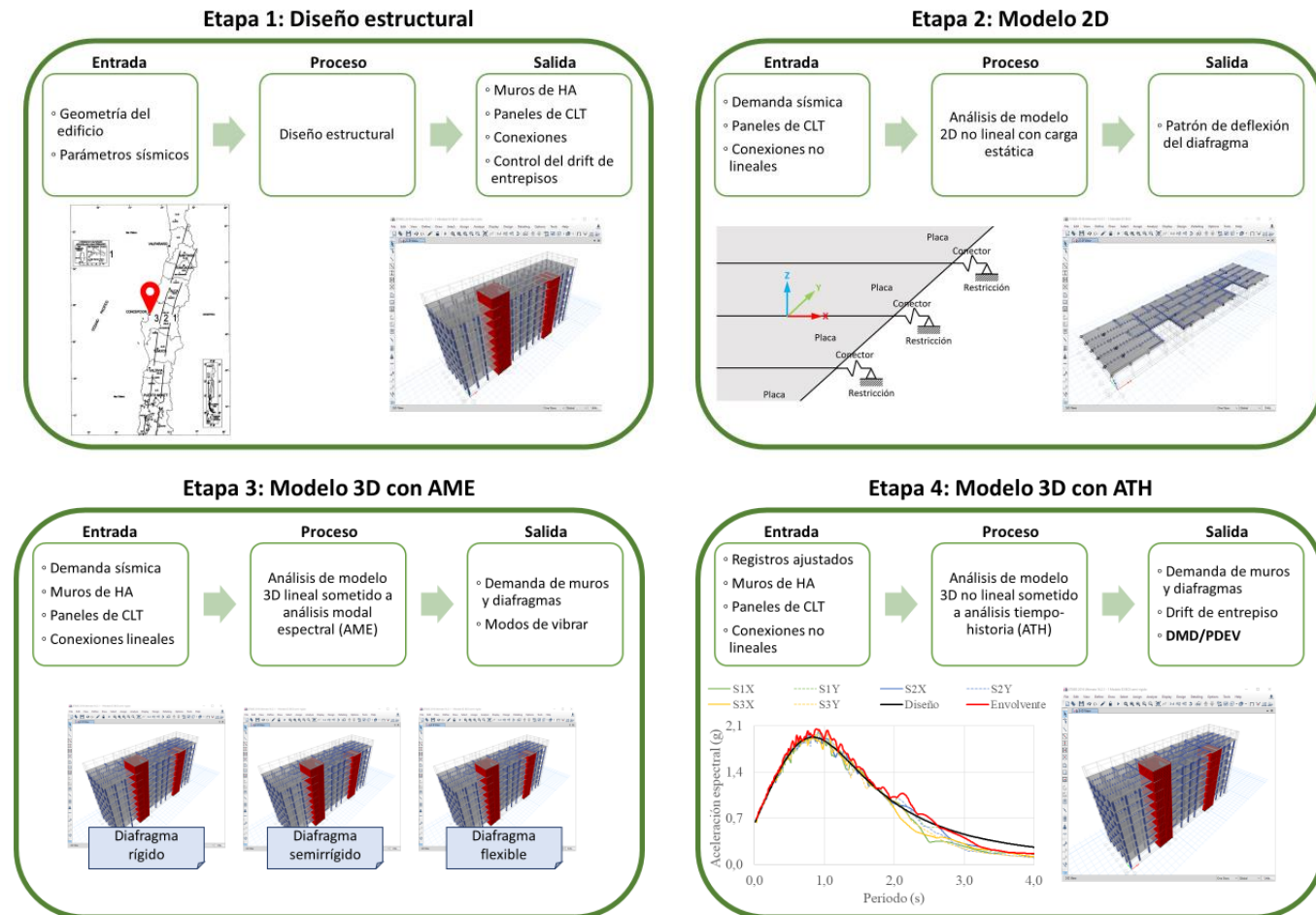


Figura 8 Componentes del análisis de cuatro etapas

Desplazamiento del diafragma

- › En el arquetipo de edificio analizado la disposición entrecruzada de paneles, así como la presencia de colectores y cuerdas controló el patrón de desplazamiento del diafragma (Figura 9). En ausencia de colectores o cuerdas, tanto el desplazamiento máximo del diafragma (DMD) como los esfuerzos locales aumentaron.
- › Tanto el modelo 2D como el modelo 3D exhiben patrones de viga simplemente apoyada y empotrada (Figura 10)
- › El modelo 3D capturó el efecto de la torsión natural y la interacción diafragma-muro
- › El efecto de torsión natural fue observado en la Figura 10, pues la zona izquierda presentó un mayor desplazamiento que la zona derecha. Esto se debió a las diferencias entre masa y rigidez del par de núcleos, siendo el núcleo izquierdo un piso más alto que el núcleo derecho

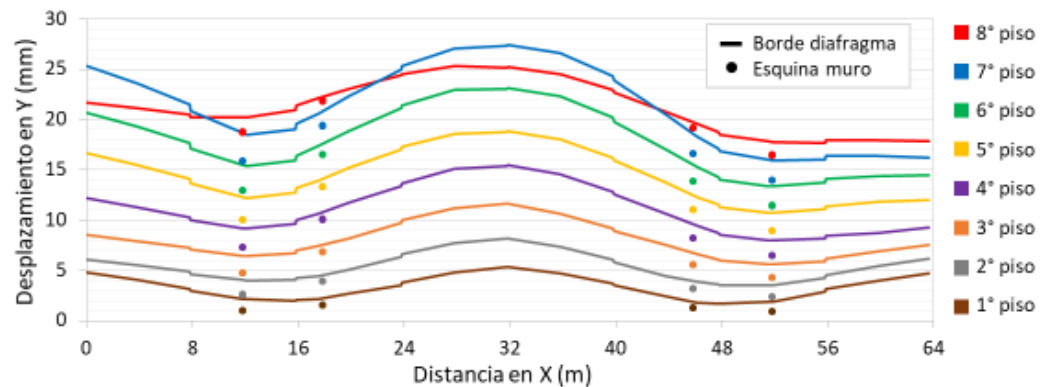


Figura 10 Desplazamiento del diafragma modelo 3D

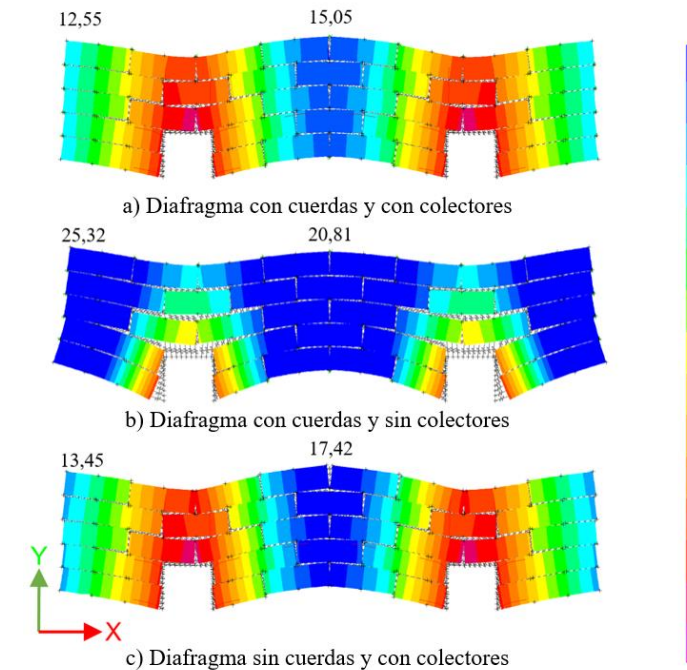


Figura 9 Diafragma con y sin cuerdas o colectores

Influencia de la flexibilidad del diafragma

› **Respuesta modal:** Al aumentar la flexibilidad del diafragma...

- ↑ valor del período fundamental de la estructura
- ↑ número de modos

› **Demanda:** Al aumentar la flexibilidad del diafragma...

- ↑ demanda sobre los diafragmas
- ↓ demanda sobre los muros
- ↓ drift de entrepiso

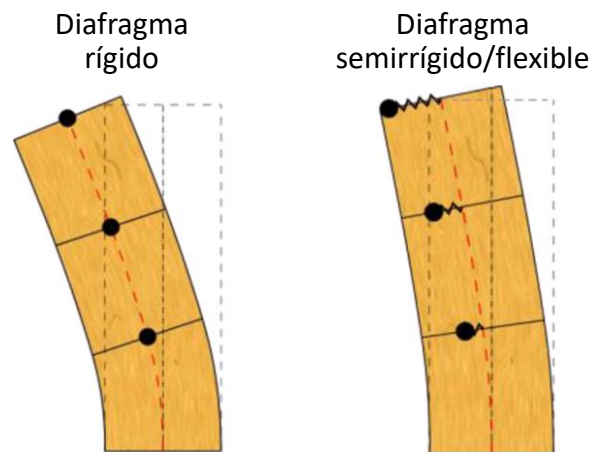


Figura 12 Interacción muro-diafragma

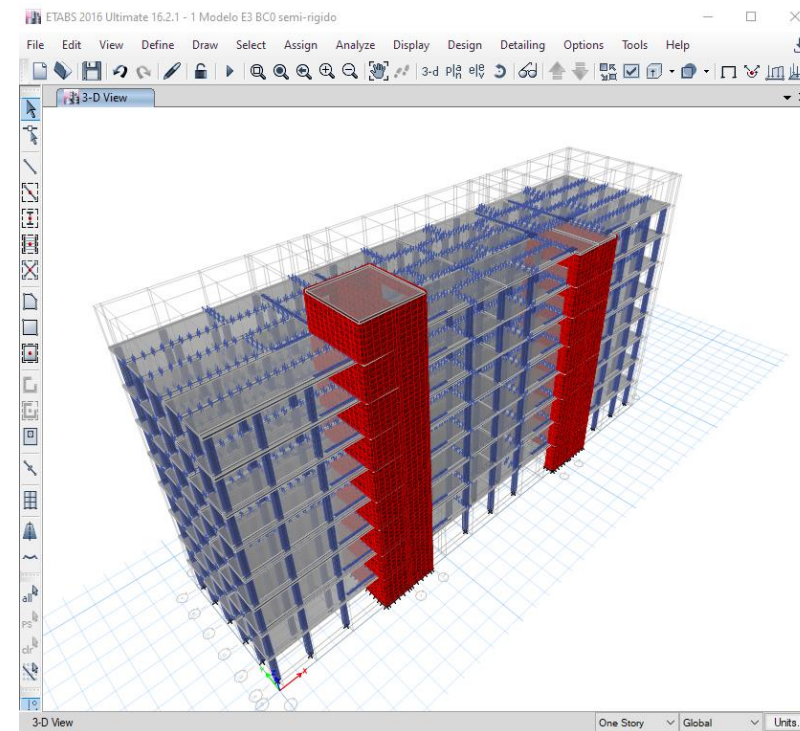


Figura 11 Modelo 3D analizado

Tipo de comportamiento del diafragma

- › En el edificio **U8** fue identificado un comportamiento **semirrígido** (Figura 13)
- › En los edificios **B12, B20 y B28** el comportamiento osciló entre **semirrígido y flexible** (Figura 13)
- › En los **cuatro edificios** predominó el comportamiento **semirrígido** (Figura 14)

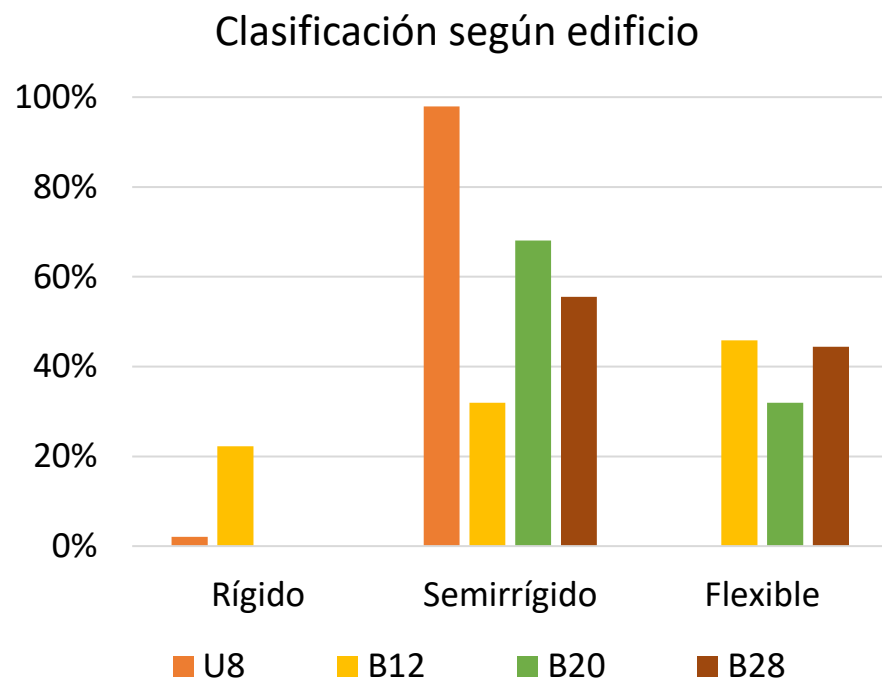


Figura 13 Comportamiento del diafragma por edificio

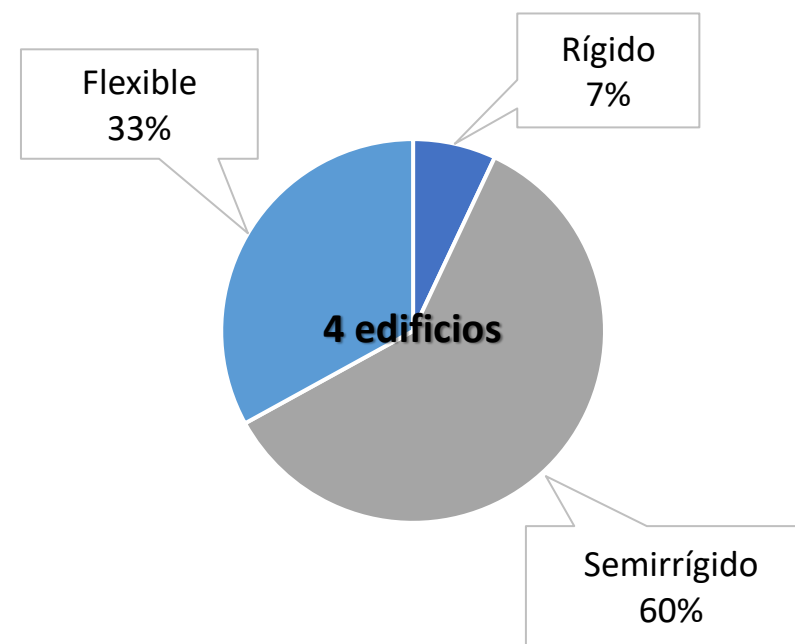


Figura 14 Comportamiento del diafragma en los cuatro edificios

Conclusiones

- › Los diafragmas de los edificios híbridos HA-CLT oscilan entre la clasificación semirrígida y flexible
- › Las variables que determinaron en patrón de desplazamiento del diafragma fueron la disposición entrecruzada de paneles, las conexiones del diafragma y la torsión natural
- › A **mayor** flexibilidad del diafragma **mayor** demanda sobre los diafragmas y **menor** demanda sobre los muros
- › Debido a que los diafragmas estudiados oscilan entre la clasificación semirrígida y flexible, se recomienda que los muros sean diseñados considerando un modelo rígido, mientras que los diafragmas sean diseñados considerando un modelo flexible

Líneas de investigación futuras:

- › Realizar ensayos a escala de los cuatro tipos de conexiones analizadas en esta investigación
- › Evaluar la influencia de la degradación de los muros de HA sobre la demanda de los diafragmas de CLT
- › Identificar en un mayor número de edificios híbridos con variación en planta el tipo de comportamiento presente en sus diafragmas

