

# MODELACIÓN DE MUROS DE ENTRAMADO LIGERO MEDIANTE ELEMENTOS LINK Y FRAME EN SOFTWARE ETABS

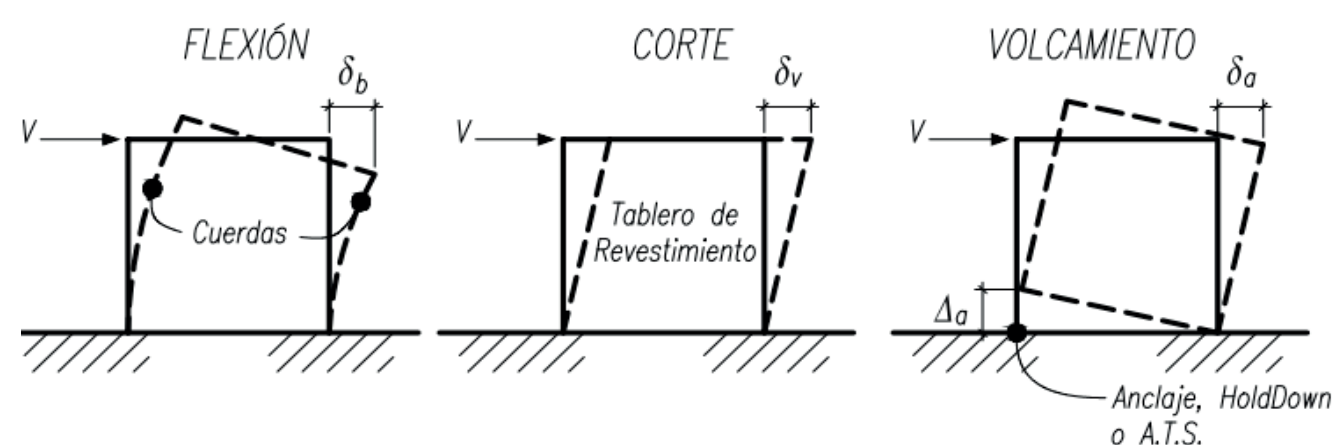
El buen desempeño de los sistemas estructurales de madera y la creciente necesidad de la industria de la construcción de incorporar materiales más sostenibles, ha convertido a la madera en un material de interés en países sísmicos. Es importante contar con una modelación adecuada que permita caracterizar el comportamiento de muros de madera a partir de las normativas y estudios vigentes. El objetivo de este trabajo es proponer un modelo de muros de entramado ligero aplicable en softwares de uso común en las oficinas de cálculo de Chile.

Palabras claves: Modelación muros entramado ligero, Elementos frame y link, Edificios de madera.

## Antecedentes

Actualmente, en Chile se debe recurrir a normas internacionales para llevar a cabo el diseño tanto de muros de entramado ligero como de otros sistemas constructivos. Entre las normas internacionales se encuentra el Eurocódigo 8, Special Design Provisions for Wind and Seismic (SDPWS), Canadian Standards Association (CSA O86), entre otras.

La norma SDPWS presenta la deflexión lateral de un muro individual de entramado ligero de 1 piso mediante la ecuación (1).



$$\delta = \left( \frac{2 \cdot v \cdot H^3}{3 \cdot E \cdot A_{ext} \cdot L} \right)_{Flexión} + \left( \frac{v \cdot H}{G_a} \right)_{Corte} + \left( \frac{H \cdot \Delta_{anclaje}}{L} \right)_{Volcamiento} \quad Ec.1$$

L: longitud de muro, H: altura de muro, E: módulo de elasticidad, A<sub>ext</sub>: área de PPDD de borde, G<sub>a</sub>: rigidez de corte aparante, Δ<sub>a</sub>: levantamiento del anclaje, v: corte por unidad de largo.

La norma CSA O86 presenta una la deflexión de un muro individual de varios pisos con efectos acumulativos por flexión y volcamiento, ecuación (2). Bagheri concluyó que la flexión acumulada no es apreciable, a diferencia del giro acumulado. Rossi determina que el volcamiento es relevante para muros de varios pisos y depende del estado de los anclajes.

$$\Delta_{a,i}^{storey} = H_i \left( \sum_{j=1}^i a_j \right) = H_i \cdot a_i + H_i \left( \sum_{j=1}^{i-1} a_j \right) \quad a_j = \frac{(d_a)_j}{L_s} \quad Ec.2$$

da,i: elongación vertical del anclaje en el piso j



Softwares especializados en madera



Softwares utilizados en Chile

Existen modelos simples que no incorporan levantamiento, efectos acumulados, no se estudiaron a nivel de edificio, etc. Los modelos detallados requieren un gran costo computacional.

## Descripción del modelo Link Frame

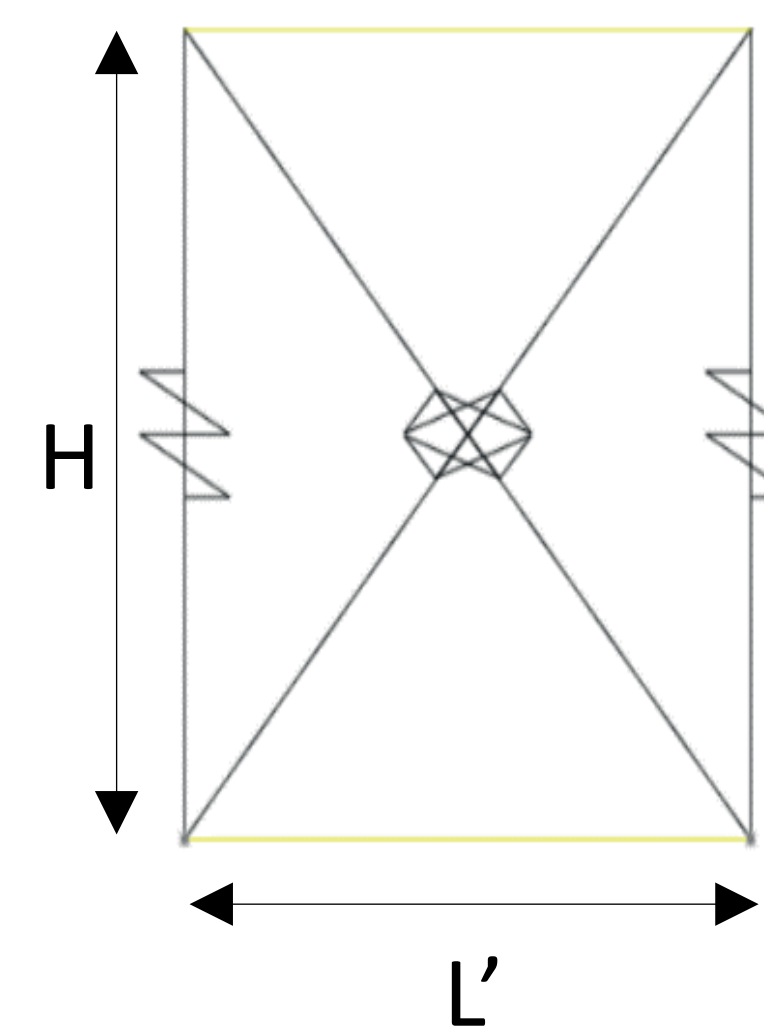
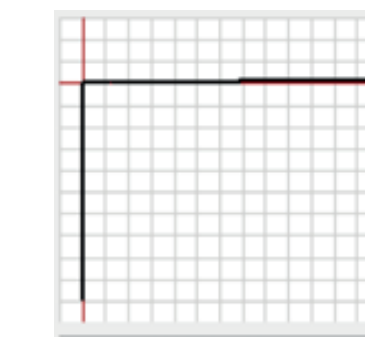
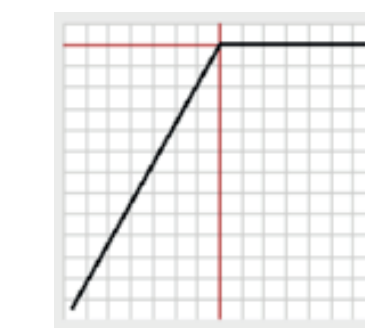


Figura 1: Modelo Link-Frame en un muro de 1 piso. H: altura muro L': distancia entre anclajes

**Link Multilineal Elástico**  
Pies derechos, tablero, patrón de clavado



**Link Multilineal Elástico**  
Anclaje



**Frame Rígido**  
Soleras

### Flexión y corte

**Rigidez Efectiva:**  
Corte + Flexión / 2  
**Rigidez Bilineal Axial:**  
Compresión: Corte+Flexión  
Tracción:  $10^9 \frac{kgf}{cm}$

### Volcamiento

**Rigidez Efectiva:**  
 $10^9 \frac{kgf}{cm}$   
**Rigidez Bilineal Axial:**  
Tracción: Anclaje  
Compresión:  $10^9 \frac{kgf}{cm}$

**Módulo de Elasticidad:**  
 $E=10^{14} \frac{tonf}{cm^2}$

El Modelo Link-Frame, implementado en el software ETABS, representa la ecuación (3) que incluye la flexión, corte y volcamiento acumulado. Los links diagonales representan la rigidez a flexión y corte, la cual divide por cos<sup>2</sup> para llevarla a una diagonal. La rigidez efectiva es la mitad de la calculada, ya que se modelan 2 diagonales por la bidireccionalidad del sismo. La rigidez a tracción de los link verticales corresponde a la rigidez de los anclajes, ya sea del tipo A.T.S. o hold-down. Los elementos frame son rígidos para que no existan deformaciones axiales de las soleras y no contribuyan al desplazamiento lateral.

$$\delta = \left( \frac{2 \cdot v \cdot H^3}{3 \cdot E \cdot A_{ext} \cdot L} \right)_{Flexión} + \left( \frac{v \cdot H}{G_a} \right)_{Corte} + H_i \left( \sum_{j=1}^i a_j \right)_{Volcamiento} \quad Ec.3$$

Análisis a nivel de Sub-sistema:  
Muro aislado

+

Condiciones de borde:  
-Muros perpendiculares  
-Diafragma de piso

=

Análisis a nivel de Sistema:  
Edificio



### Análisis a nivel de muro

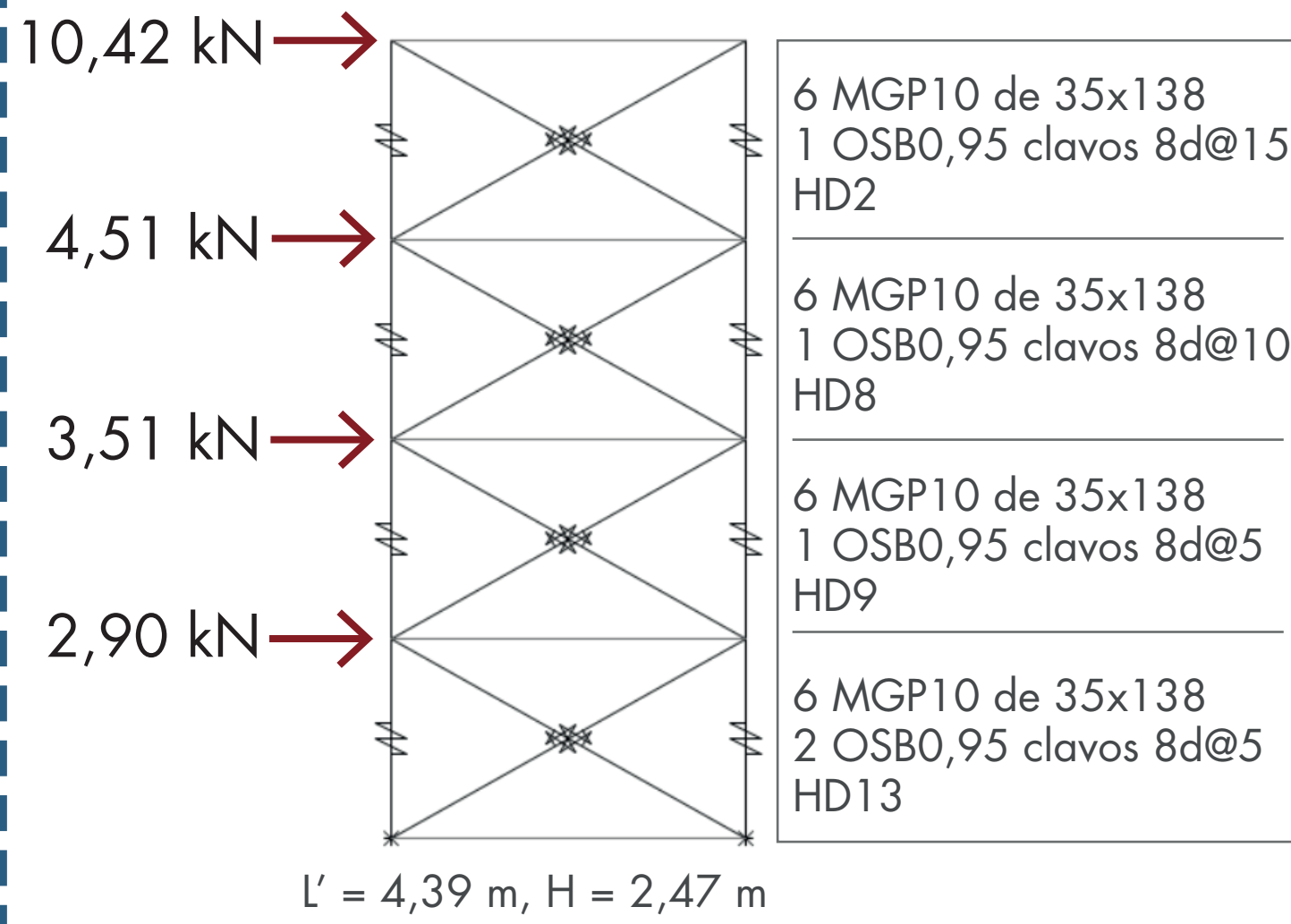


Tabla 2. Esfuerzos en muro

N° Piso	Tracción [kN]		Corte [kN/m]	
	Cálculo analítico	Modelo	Cálculo analítico	Modelo
1	36,66	36,66	4,51	4,50
2	24,65	24,65	3,89	3,89
3	14,27	14,27	3,15	3,15
4	5,87	5,86	2,20	2,20

Tabla 1. Períodos de Muro [s]

Método	Período
Valores y vectores propios	0,097
Modelo Link-Frame	0,097

Estado inactivo de anclajes

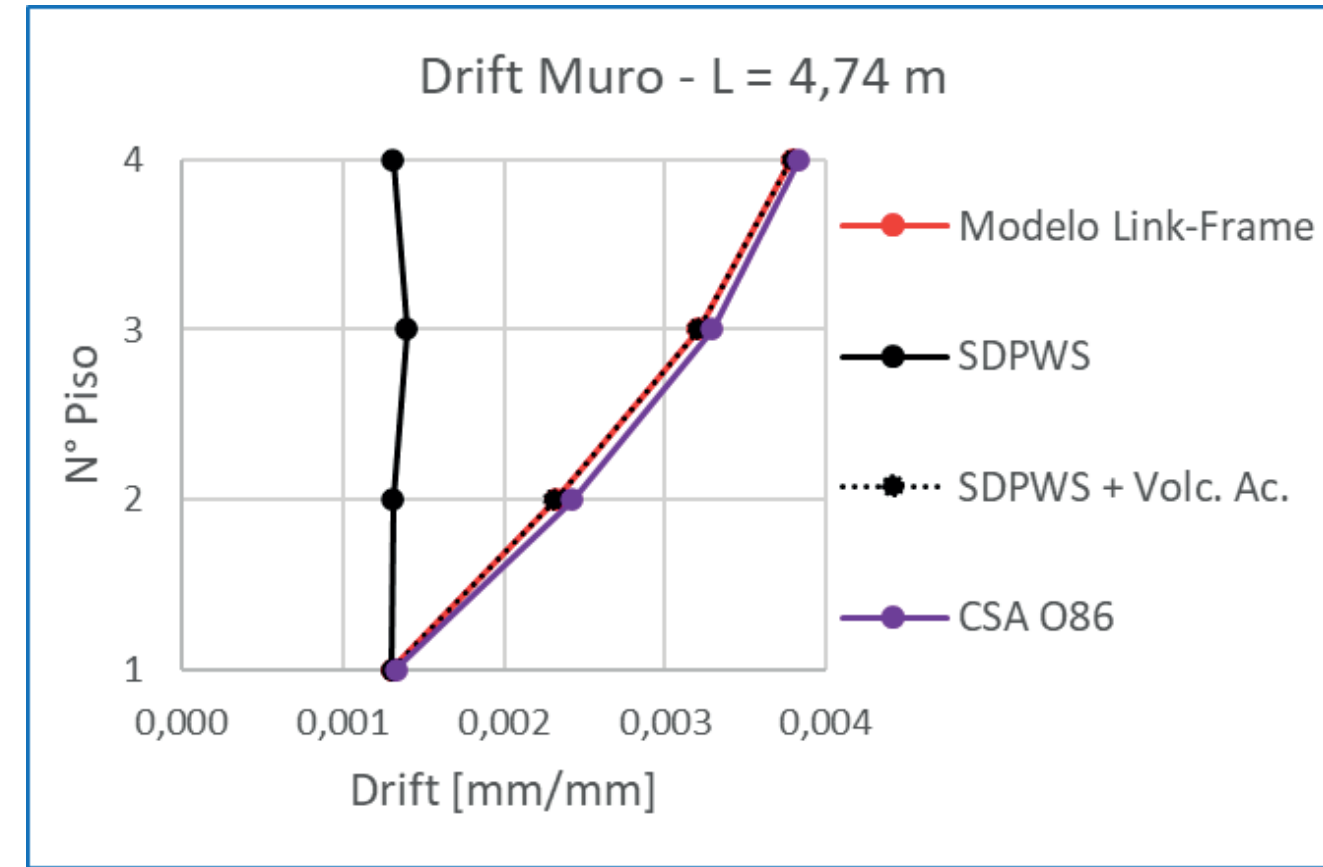
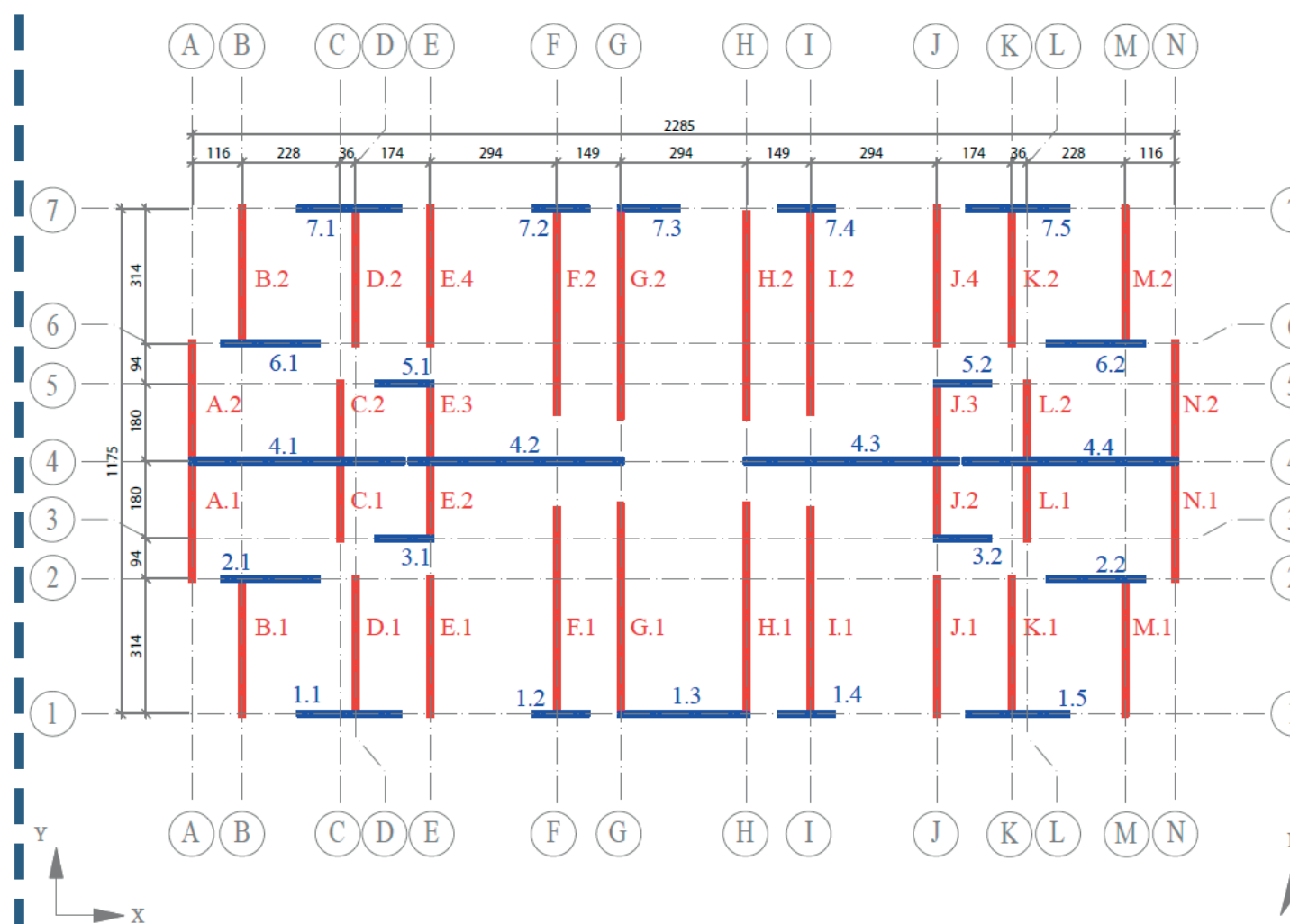


Figura 2. Drift Muro

A nivel de muro se evaluó el período, drift y esfuerzos. Los resultados del Modelo Link-Frame implementado en ETABS tienen una diferencia del 0% con respecto al cálculo teórico. El modelo permite capturar el volcamiento acumulado, efecto importante a nivel de muro aislado. Así, se demuestra una correcta modelación de muros de entramado ligero para representar el comportamiento lateral.

### Análisis a nivel de edificio



#### Parámetros:

Uso: Residencial  
N° pisos: 4  
Altura libre por piso: 2,47 m  
Zona sísmica: 2  
Tipo de suelo: C  
R: 5,5  
Peso sísmico: 2914 kN  
Corte basal:  $Q_x = Q_y = 367 \text{ kN}$

#### Aspectos de modelación:

Análisis no lineal estático por plano XZ e YZ

#### Losa:

-Viguetas: frame isotrópicos articulados, material C16 de 41x185@300  
-Vigas entre muros: viguetas empotradas  
-Tablero OSB: elemento membrana

#### Muros:

-Modelo Link-Frame

Tabla 3. Fuerzas sísmicas

N° Piso	Fuerza X e Y [kN]
1	50,21
2	60,31
3	76,10
4	180,54

### Análisis a nivel de edificio

Tabla 4. Períodos del Edificio [s]

Método	$T_x$ [s]	$T_y$ [s]
Valores y vectores propios	0,30	0,29
Modelo Link-Frame	0,29	0,28

Estado inactivo de anclajes

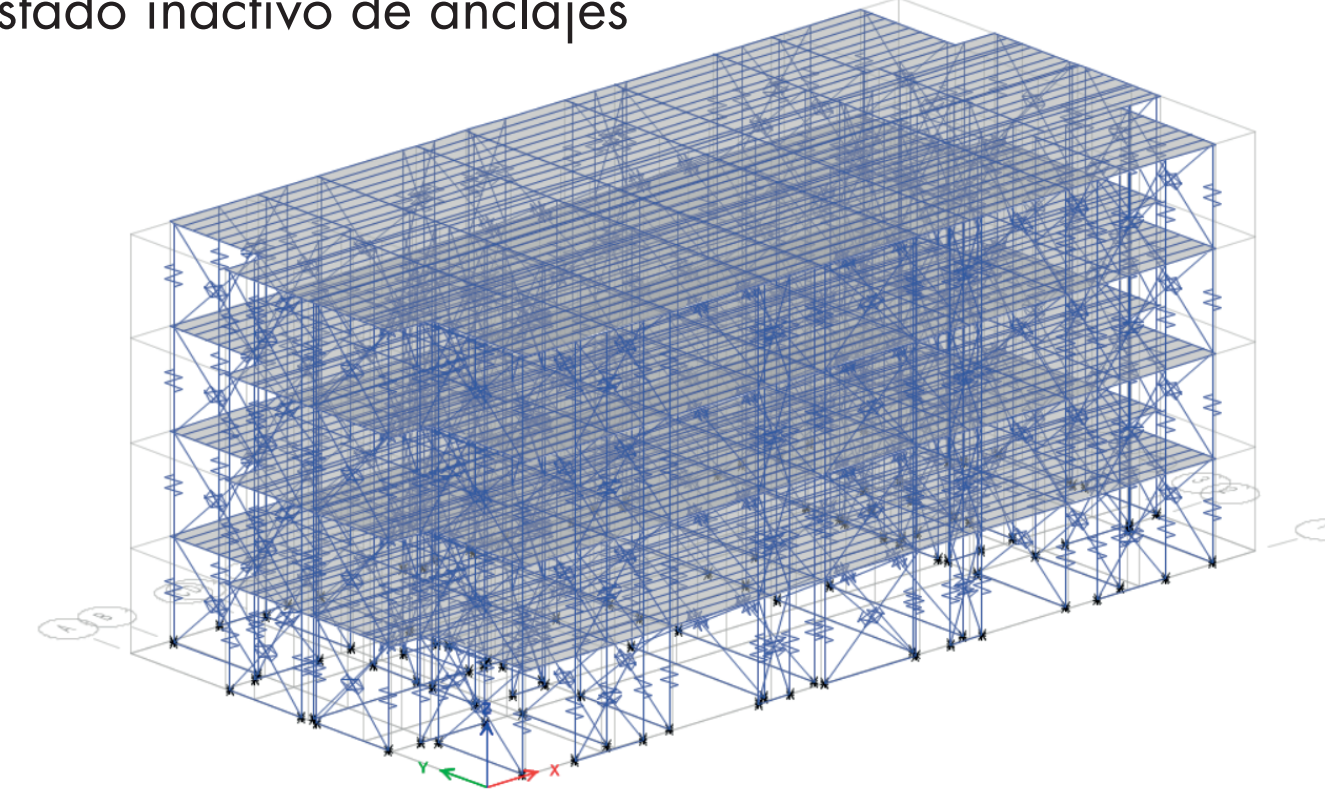


Figura 4. Modelo ETABS del Edificio

A nivel de edificio, se obtuvo una diferencia del 3% entre período teórico y del modelo. Con respecto al drift, se observa que cuando el diafragma es flexible fuera del plano, representado por las vigas de entrepiso, se presenta volcamiento acumulado. El diafragma con la flexibilidad real tiene un comportamiento más cercano a un diafragma rígido fuera del plano. En relación al corte, si bien la distribución es levemente distinta, el corte total por piso es el mismo. Las tracciones en los anclajes se reducen hasta en un 80% y los anclajes de los muros perpendiculares también se traccionan.

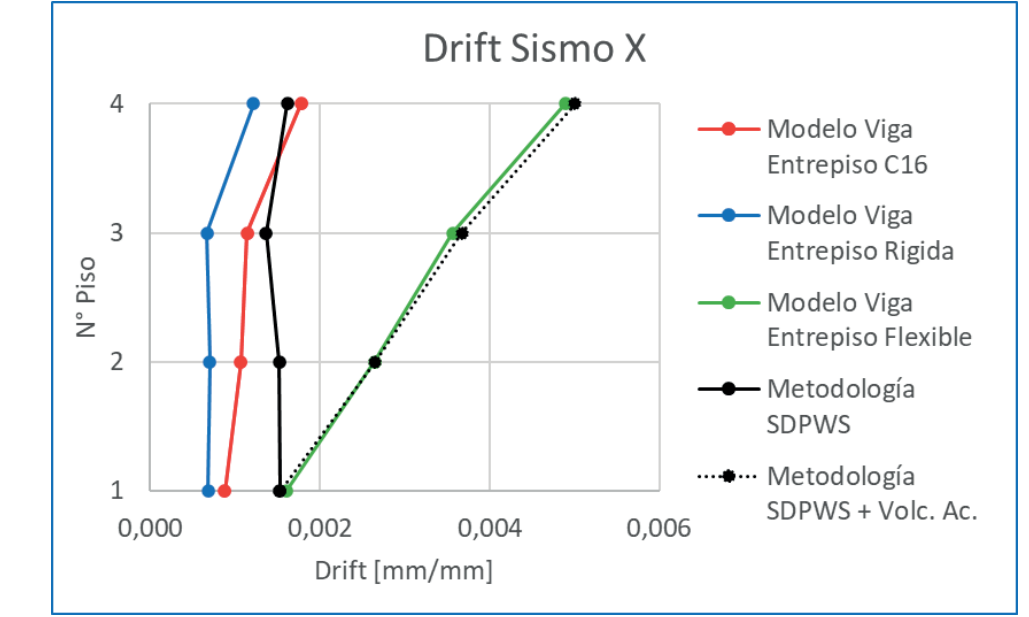


Figura 5. Drift Sismo X del Edificio

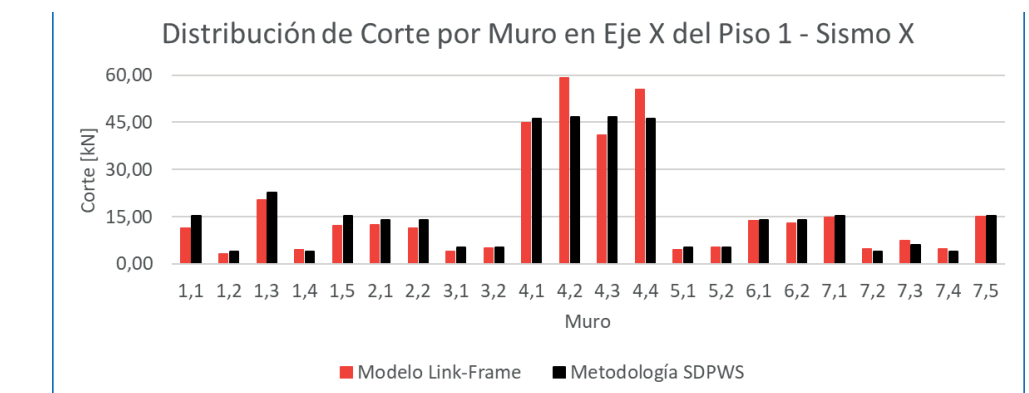


Figura 6. Distribución de Corte en Eje X Piso 1 por Sismo X

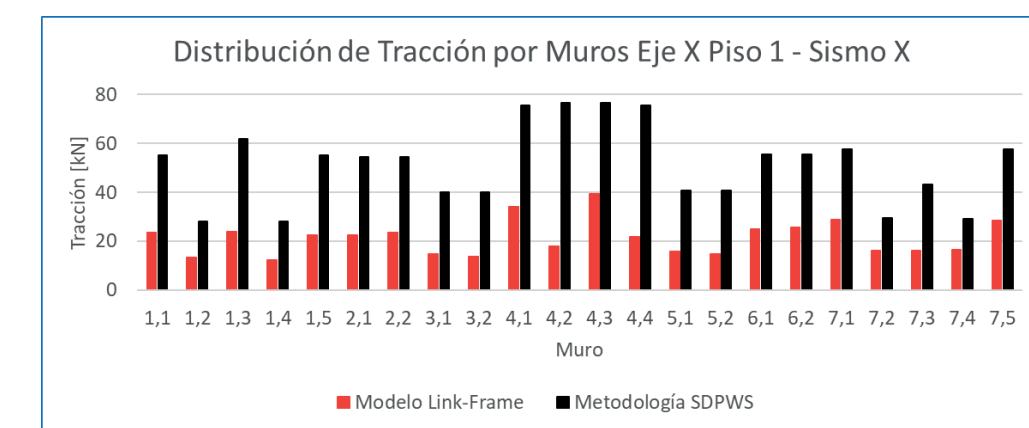


Figura 7. Distribución de Tracción en Eje X Piso 1 por Sismo X

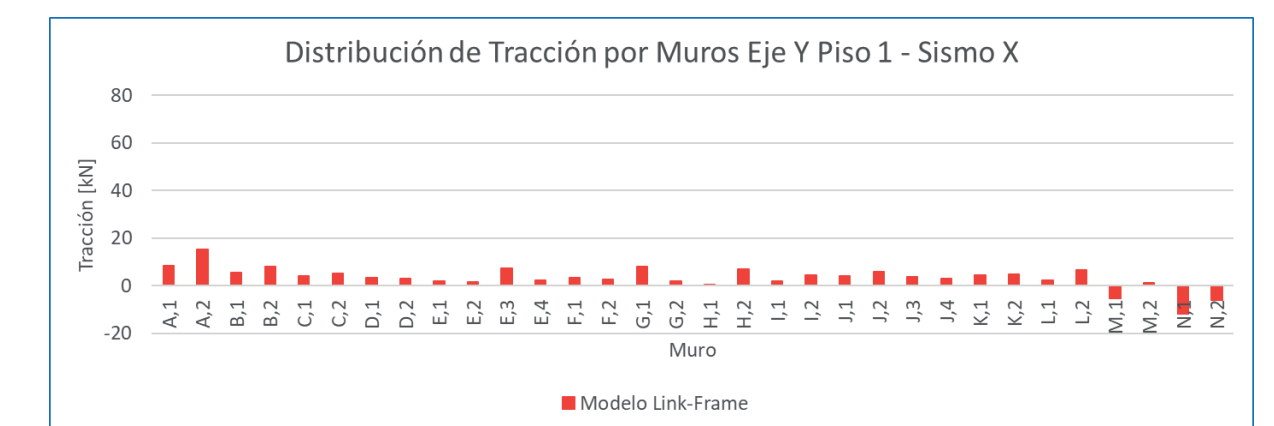


Figura 8. Distribución de Tracción en Eje Y Piso 1 por Sismo X

### Conclusiones

Existen metodologías para modelar **muros de entramado ligero**, enfocadas principalmente a investigación debido a que son modelos no lineales complejos de utilizar en la práctica. Hay softwares especializados, pero no están familiarizados en Chile. Los modelos simplificados no representan de forma adecuada la respuesta lateral según las normativas y estudios vigentes. El **Modelo Link-Frame** representa el comportamiento según la **SDPWS incluyendo el giro acumulado a nivel de muro**. Este modelo se presenta como una herramienta de modelación y diseño para **edificios de entramado ligero**, el cual considera los **efectos de acoplamiento producto de muros transversales y diafragma de piso**. Si bien el diseño queda controlado por drift, existe una reducción de hasta un 80% en las tracciones. También, se debe considerar el diseño de las vigas de entrepiso dada una carga sísmica. Se destaca la posibilidad de incluir otras fuentes de rigidez, como el desplazamiento debido a los conectores de corte y compresión perpendicular de la solera. Es importante estudiar la modelación del diafragma y su efecto en la distribución de fuerzas y desplazamientos del edificio