



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 ING5955

**MODELO COMPUTACIONAL
DEL MÉTODO SIMPLIFICADO
PARA RESPUESTA ELÁSTICA
DE MUROS DE CORTE DE
CLT.**

Motivación

Chile es un gran productor de madera aserrada, disputando el primer lugar a nivel mundial de plantaciones de pino radiata de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadísticas (2008).

Un producto desarrollado a partir de la madera aserrada es la madera contralaminada o CLT, este consiste un sistema de al menos 3 capas, donde cada una se conforma por tabloncillos de madera cepillada unidas entre sí lateralmente mediante adhesivos. En general, las capas sucesivas se orientan en 90° una respecto a la otra como se muestra en la figura 1.

El CLT es ampliamente usado para la construcción de edificios de mediana altura en países desarrollados. Por ejemplo, la figura 2 muestra un edificio de 18 pisos ubicado en Noruega, construido enteramente con estructura de madera, donde todo el núcleo es de CLT y solo las losas de los 7 pisos superiores son de hormigón.

Por su parte, Chile, está en la etapa donde se busca impulsar el uso de la madera en la construcción de edificios y viviendas, por lo que cobra una gran relevancia proporcionar una herramienta de cálculo estructural con el fin de construir de manera óptima, impulsando el uso del CLT en la industria de la construcción. La figura 3 muestra el conjunto habitacional ubicado en Londres, Inglaterra está conformado por 121 unidades fabricadas completamente de CLT, desde las paredes externas a las principales.



Figura 1: Panel de CLT
Fuente: Elaboración propia



Figura 2: Edificio Mjøstårnet de 18 pisos. Brumunddal, Noruega.
Fuente: (www.Madera21.cl, 2019)



Figura 3: Conjunto habitacional en Londres, Inglaterra.
Fuente: (www.Madera21.cl, 2018)

Objetivos

General

Diseñar un programa computacional para calcular a través de distintos métodos simplificados la respuesta elástica de muros de corte de CLT bajo cargas verticales y horizontales simultaneas, centrándose en el movimiento de cuerpo rígido y la respuesta elástica de los elementos de sujeción; hold-down y ángulos.

Específicos

- Analizar distintos modelos simplificados que representan el comportamiento del muro de corte CLT.
- Crear un programa en Microsoft Excel, mediante el uso del lenguaje de programación *Visual Basic for applications* (VBA) para el cálculo de cada modelo simplificado elegido.
- Obtener resultados numéricos a través del programa para un ejemplo de muro de corte de CLT.
- Determinar y analizar las diferencias entre los resultados numéricos de cada modelo simplificado.

Comportamiento del muro de CLT

Debido a una fuerza lateral aplicada en un extremo superior de un muro de CLT, este puede tener 4 formas de movimiento de cuerpo rígido que definen el comportamiento del panel tipo muro de CLT

El mecanismo de corte se caracteriza por el desplazamiento lateral de la cara superior respecto a la inferior como describe en la figura 4.

El mecanismo de deslizamiento describe un desplazamiento lateral uniforme de todo el conjunto del muro de CLT (figura5).

El mecanismo de flexión se representa por la curvatura de las caras laterales del muro (figura 6). Por su parte el mecanismo de vuelco posee el centro rotación en el extremo inferior opuesto a la carga lateral (figura 7).

La capacidad del muro se ve limitada por el mecanismo de deformación más flexible y el mecanismo que suele dominar es el volcamiento, sobre todo en muros esbeltos en su plano predominante, esto se debe a que el momento de vuelco predomina sobre los momentos estabilizadores.



Figura 4: Mecanismo de Corte

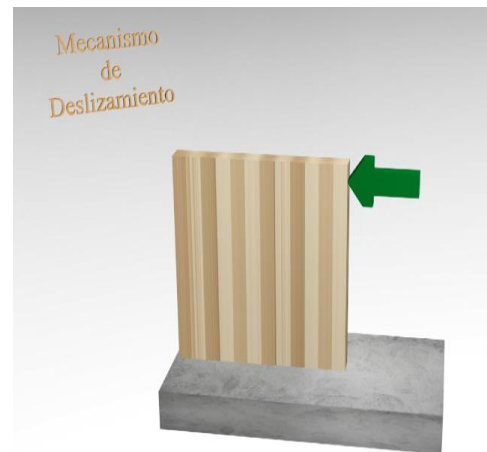


Figura 5: Mecanismo de Deslizamiento.



Figura 6: Mecanismo de Flexión

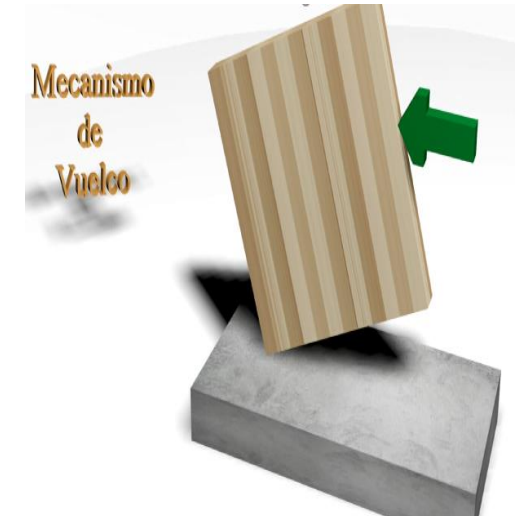


Figura 7: Mecanismo de Vuelco.

Sistema de muro de CLT

En general, los muros de CLT se conectan a los cimientos o losas de piso usando conectores metálicos. Uno de estos es el Hold-down cuya principal función es otorgar resistencia al vuelco debido a que estos se traccionan manteniendo el muro de CLT unido a la base inferior. Otro conector metálico es el ángulo, que tiene como principal función otorgar resistencia al corte.

En un sistema de muro de corte de CLT generalmente la ubicación de los conectores metálicos es de la forma que se muestra en la figura 8. Los diseñadores calculan la capacidad del muro de CLT mediante modelos simplificados, basando su análisis en la capacidad y rigidez de los Hold-Down y de los ángulos que son sometidos a tracción y corte respectivamente, como se muestra en esta representación.

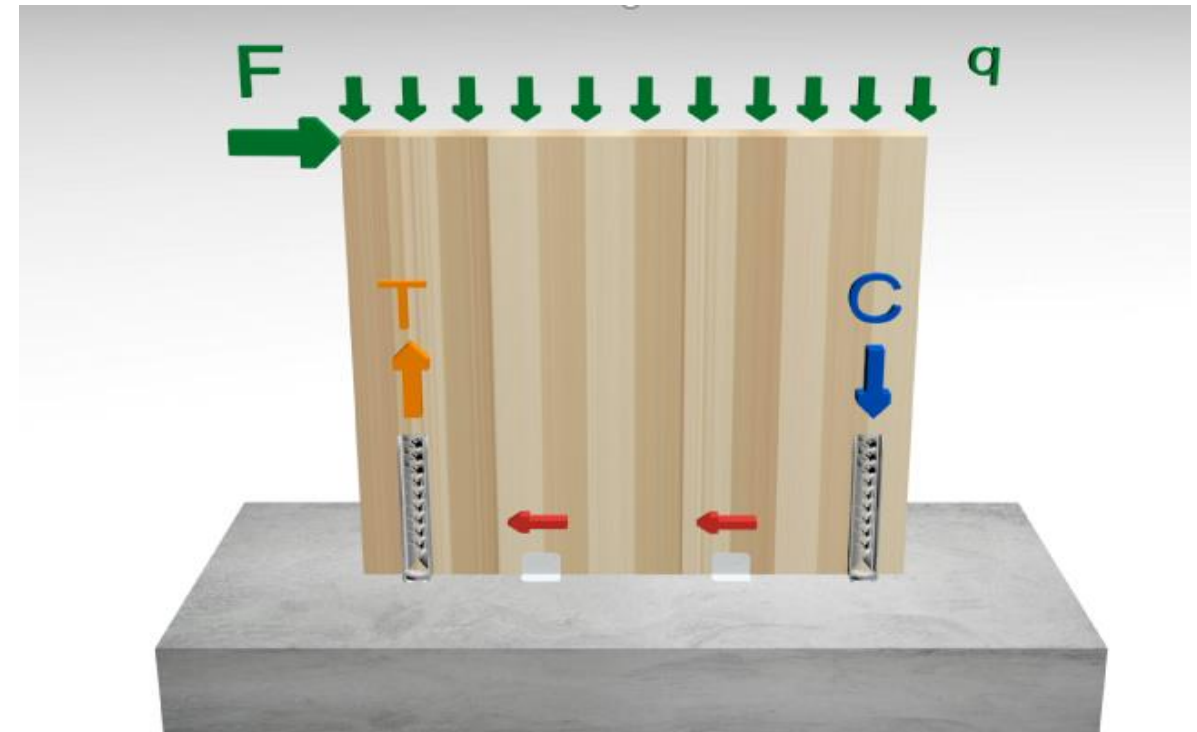


Figura 8: Sistema de muro CLT con sujeciones resistiendo solo la tracción (hold-down) y solo corte (ángulos).

Fuente: Elaboración Propia, basado en (Izzi, Polastri, & Fragiaco, 2018).

Modelos Simplificados

Se analizan 3 modelos simplificados para muros de CLT desacoplados (Casagrande, Pei y Tomasi), y 1 modelo simplificado para muros acoplados horizontalmente (Casagrande).

Modelo Simplificado de Casagrande (para muro desacoplado).

El modelo de Casagrande para muros desacoplados busca desarrollar un enfoque simplificado, por lo que las contribuciones de deformación como la compresión perpendicular a la fibra entre la base del CLT y la solera, la flexión y otras, no son consideradas, dado que son considerablemente menores en comparación al; volcamiento, deslizamiento y corte.

Este es un método iterativo donde se contempla la posibilidad de tracción o compresión del primer hold-down y el corte en los ángulos. En cuanto a la representación de la rigidez total del muro de CLT, será representada por un sistema de resortes como se muestra en la figura 10.

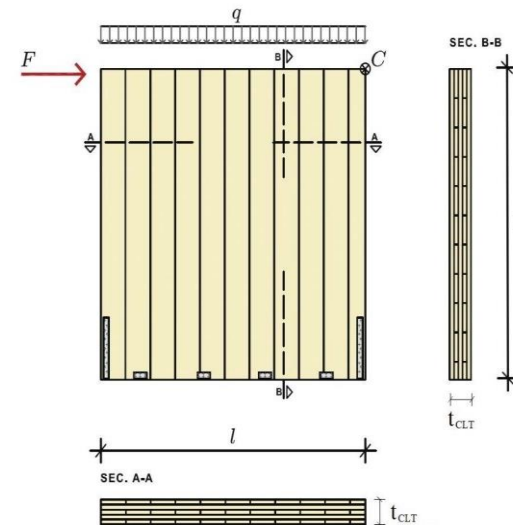


Figura 9: Modelo Simplificado de Casagrande para muro Desacoplado

Fuente: (Casagrande et al., 2016).

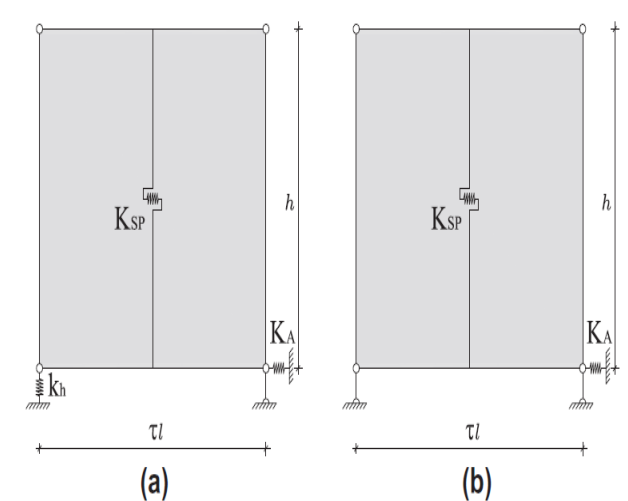


Figura 10: Modelo Simplificado de Casagrande para muro Desacoplado

Fuente: (Casagrande et al., 2016).

Modelos Simplificados

Modelo simplificado de Pei

El Modelo simplificado de Pei asume que el muro de CLT tiene un movimiento de cuerpo rígido de vuelco, cuyo centro de rotación se ubica en la esquina inferior de compresión, pero no contempla la deformación en las esquinas comprimidas. Por otra parte este modelo si considera la contribución en tracción de todas las conexiones metálicas, tanto de los hold-down como de los ángulos.

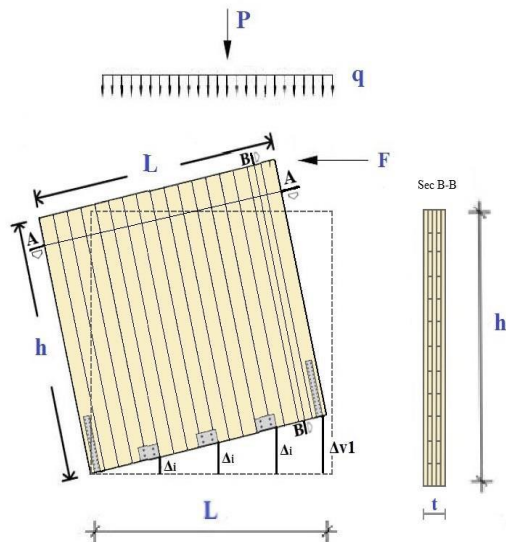


Figura 11: Modelo Simplificado de Pei para muros Desacoplados.

Fuente: Elaboración y modificación propia de figura perteneciente a Guindos, P. (2019).

Modelo simplificado de Tomasi

Para el Modelo simplificado de Tomasi se asume un desplazamiento del eje neutro hacia al costado comprimido debido a que aquí sí se contempla el aplastamiento de la solera. También se considera la contribución en tracción del primer hold-down.

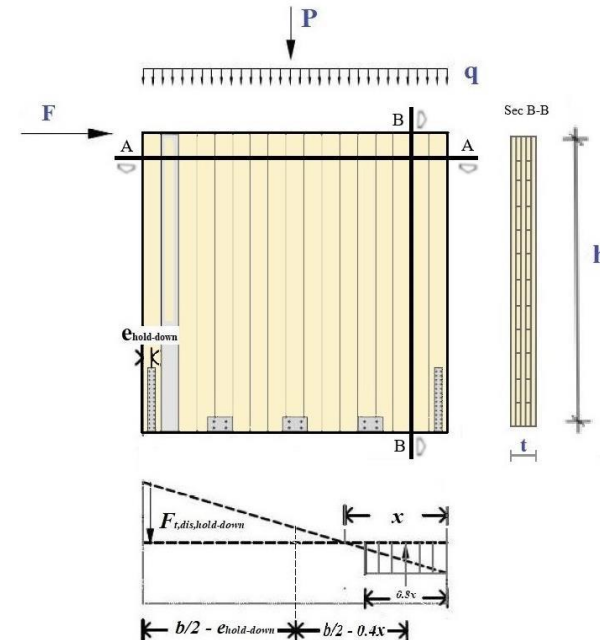


Figura 12: Modelo Simplificado de Tomasi para muros desacoplados

Fuente: Elaboración y modificación propia de figura perteneciente a Guindos, P. (2019).

Modelos Simplificados

Modelo simplificado de Casagrande (muros acoplados horizontalmente)

El modelo simplificado de Casagrande para muros acoplados horizontalmente es un procedimiento iterativo que permite calcular los mismos parámetros descritos en la modalidad de muro desacoplado. A su vez, el modelo permite calcular la fuerza lateral que se lleva cada muro de CLT.

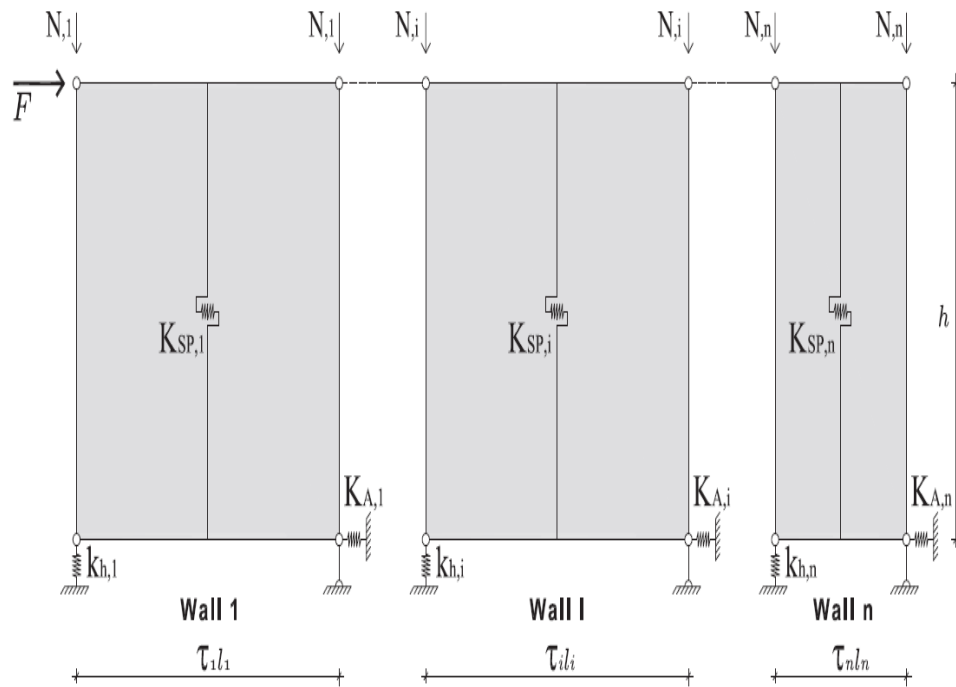


Figura 13: Modelo Simplificado de Casagrande para muros Acoplados
Fuente: (Casagrande et al., 2016).

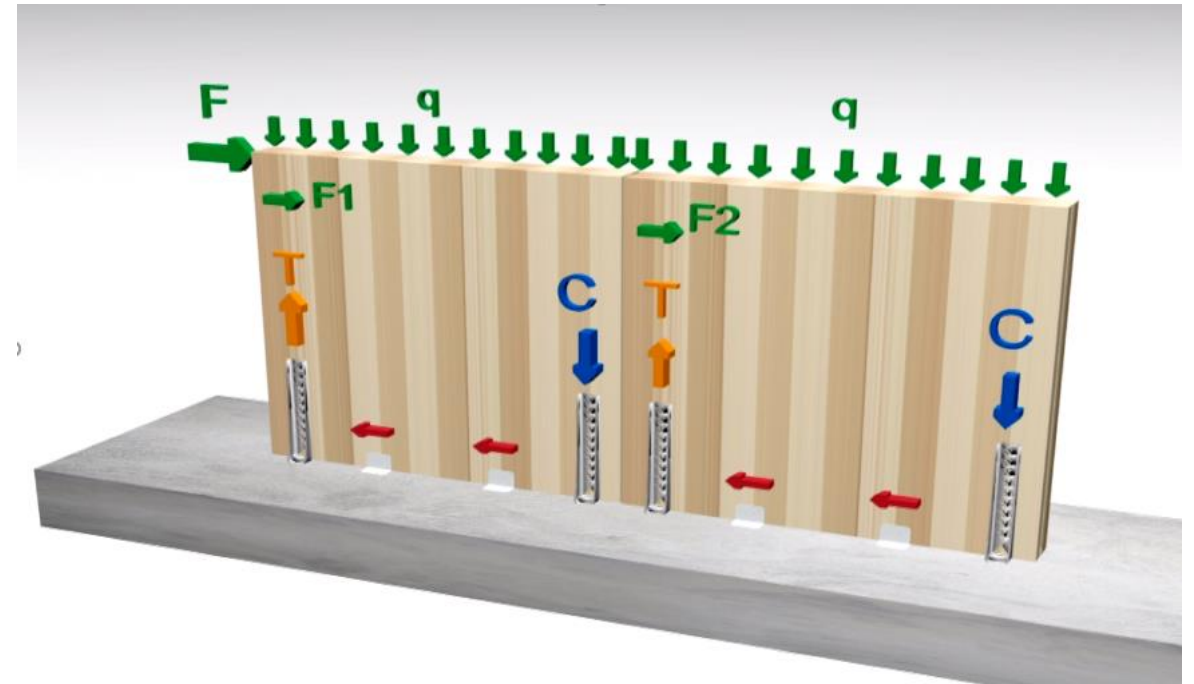


Figura 14: Modelo simplificado de Casagrande para muros Acoplados
Fuente: Elaboración propia.

Modelos constitutivo SAWS

El modelo constitutivo SAWS corresponde a simulaciones numéricas realizadas en el software de elementos finitos OpenSees, donde se representan las propiedades constitutivas de los ángulos y hold-downs mediante el modelo histerético SAWS. Este modelo numérico contempla el comportamiento No lineal de muros de CLT de escala real sometidos a carga monotónica, desarrollado por Villegas el (2019). se modela la unión del hold-down contemplando la resistencia a la tracción el ángulo se modela resistiendo fuerzas de corte. La rigidez inicial promedio de 7.4 y 1.51 kN/mm respectivamente.

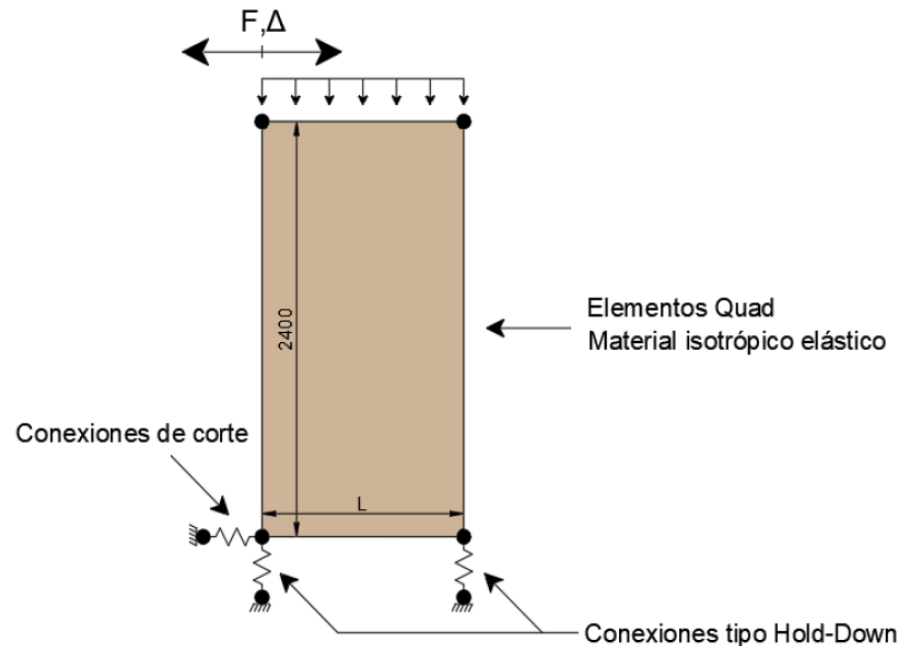


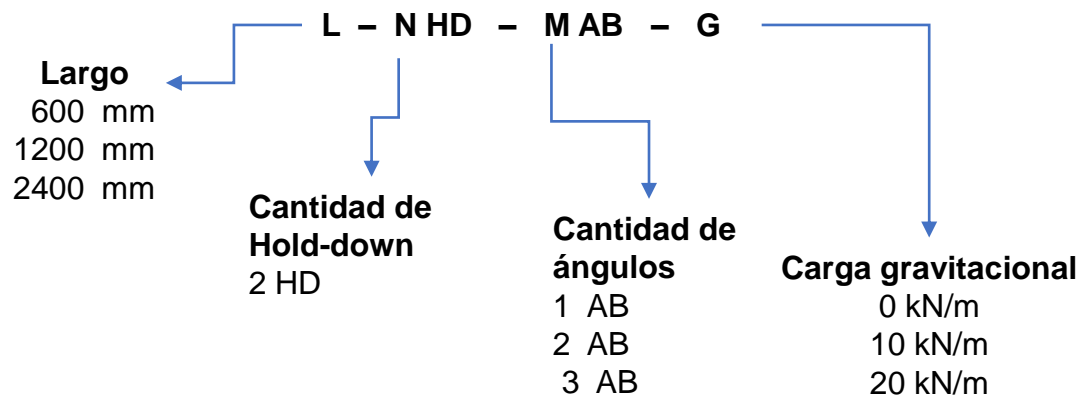
Figura 15: Esquema de la modelación de muros en modelo SAWS.

Fuente: José Villegas (2019).

Configuración de muros de prueba

En total se ensayaron 9 configuraciones de muro y a cada una se le designó una etiqueta definida de la forma que se indica en la lámina:

- Todos los muros poseen igual altura de 240 cm pero con largos variables
- Todos los muros tienen 2 hold-down, uno en cada extremo
- Algunos muros se le aplican cargas distribuidas verticalmente de 10 kN/m y 20 kN/m
- Los muros tienen diferentes cantidades de conectores tipo ángulo.
- Se considera las conexiones en una sola cara del panel.



De los resultados obtenidos, para el posterior análisis se considera el desplazamiento de Fluencia (V_y) y la carga de fluencia (F_y). Esto se debe a que el presente trabajo de investigación se aboca a muros con comportamiento en el rango Lineal elástico.

En el gráfico 1 se muestra el aporte de cada mecanismo de movimiento al desplazamiento de fluencia (V_y) para el modelo SAWS. En secciones siguientes, se compararán los resultados obtenidos con los 3 modelos simplificados.

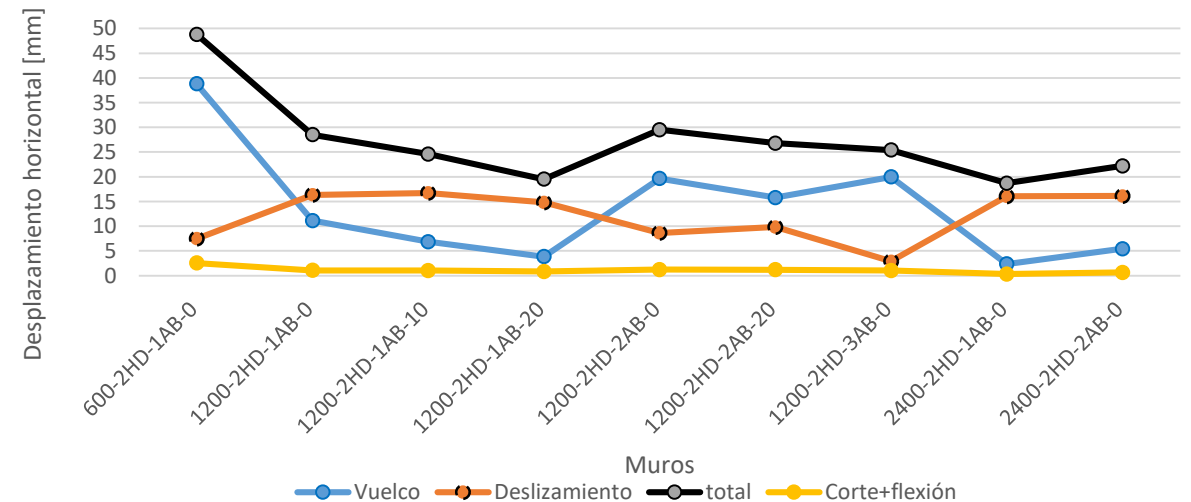


Gráfico 1: desplazamientos laterales de cada mecanismo de movimiento (modelo SAWS).
Fuente: José Villegas (2019).

Programa creado

El programa computacional propuesto se desarrolla en Microsoft Excel a través del lenguaje de Macros Visual Basic. Se elige este programa debido a su acceso masivo; es decir, existe una gran cantidad de usuarios que diariamente utilizan y están familiarizados con Microsoft Excel.

Cabe destacar que el programa desarrollado almacena los datos para 3 tipos de hold-down y 3 tipos de ángulos. Además el usuario tiene la posibilidad de ingresar los datos de otro ángulo o hold-down que estime conveniente. En este caso propuesto, los ángulos usados en el cálculo son modelo AG922 de Simpson Strong-Tie. Por su parte, los hold-down son también de Simpson Strong-Tie, modelo HHDQ11.



Microsoft Excel

Interfaz del programa creado

Se muestra la interfaz del programa creado con los datos que permiten calcular el comportamiento de un Muro de CLT propuesto de ejemplo. (figura 16 y 17, modelo de Casagrande y de Pei respectivamente).

Unidades:

Cargas externas

Fuerza Lateral (F) kN

Distribución de carga vertical (q) kN / m

Esquema de parámetros de entrada

Muro de CLT

Altura del muro (h) m

Largo del muro (L) m

Espesor de muro (t) m

τ

Módulo de corte equivalente de CLT (G) kN / m²

Elementos de Sujeción

Rigidez Hold-Down (kh) kN / m

Número de Hold-Down en el extremo (nhd)

Rigidez del Ángulo (ka) kN / m

Número de ángulos (na)

Calcular (Excel)

Calcular (PDF)

Atrás

Figura 16: Interfaz modelo simplificado de Casagrande para muros Desacoplados.

Método de Pei para muros

Nº de elementos disponer (nhd)

Unidades:

Carga Externa vertical

Fuerza lateral (F) kN

Distribución de carga vertical (q) kN / m

Muro de CLT

Altura del muro (h) m

Largo del muro (L) m

Espesor de muro (t) m

Densidad del CLT (Iclt): kN / m³

Hold-Downs

Hold-Down	Tipo	Rigidez kN / m	Elongación máxima		Ubicación	
			Admisible m	Ubicación m	Recomendada m	
1º	HHDO 11 de Simpson Strong-Tie	17242.29	0.0042672	2.375	2.375	
2º	AG922-B de Simpson Strong-Tie	2800	0.005464	1.8125	1.8125	
3º	AG922-B de Simpson Strong-Tie	2800	0.005464	1.25	1.25	
4º	AG922-B de Simpson Strong-Tie	2800	0.005464	0.6875	0.6875	
5º	HHDO 11 de Simpson Strong-Tie	17242.29	0.0042672	0.125	0.125	

Calcular (Excel)

Calcular (PDF)

Atrás

Figura 17: Interfaz modelo simplificado de Pei para muros Desacoplados.

Interfaz del programa creado

Método de Tomasi para Muros desacoplados

Unidades:

Cargas externas

Fuerza lateral (F): kN

Distribución de carga vertical (q): kN/m

Muro de CLT

Altura del muro (h): m

Largo del muro (L): m

Espesor de muro (t): m

Resistencia a la compresión perpendicular de la solera (Fc,90,solera,dis):

kN/m²

Densidad de CLT (yclt)

kN/m³

Elementos de Sujeción

Tipo de hold-down:

Fuerza de tracción diseño (Ft,dis): kN

Rigidez a tracción de diseño (Kt,dis): kN/m

Elongación máxima en tracción de diseño (def,dis): m

Distancia desde borde de CLT al eje de Hold-Down: m

Figura 18: Interfaz modelo simplificado de Tomasi para muros Desacoplados.

Cantidad de muros alineados horizontalmente:

Unidades:

Cargas Externas

Fuerza Lateral (F): kN

Muro 1 | Muro 2 | Muro 3 | Muro 4

Propiedades Muro 1 de CLT:

Distribución de carga

Vertical (q): kN/m

Altura de Muro (h): m

Largo de muro (L): m

Espesor de muro (t): m

tau:

Módulo de corte equivalente de CLT (G):

kN/m²

Rigidez de Hold-Down (kh):

kN/m

Nº de Hold-down en punto de Tracción (nhd):

Rigidez de ángulo (ka):

kN/m

Nº de ángulos a lo largo del CLT (na):

Figura 19: Interfaz modelo simplificado de Casagrande para muros Acoplados.

Interfaz del programa creado

En la presente lamina se muestra las hojas de calculo obtenidas para cada modelo simplificado propuesto a través del programa creado. A: modelo simplificado de Casagrande para muros desacoplados. B: modelo simplificado de Pei. C: modelo simplificado de Tomasi. D: modelo simplificado de Casagrande para muros acoplados

Tabla 2: Comportamiento de Muro de CLT desacoplado

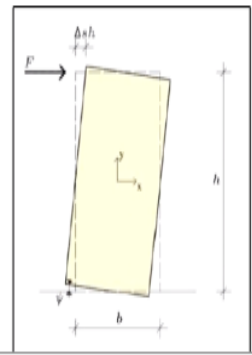
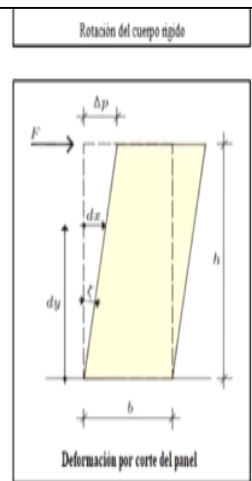
Parámetro	Símbolo	Valores Muro	Unidades
Rigidez de rotación del cuerpo rígido	KH	15561.16636	kN / m
Rigidez de traslación del cuerpo rígido	KA	9810	kN / m
Rigidez al corte del propio panel de CLT	Ksp	89832	kN / m
Rigidez de la conexión de revestimiento a enmarcado (para CLT)	kSH	0	kN / m
Rigidez total, cada muro de CLT	K TOT	5639.164811	kN / m
deformación debido a la traslación	def_a	0.008471662	m
deformación por corte del panel de revestimiento	def_p	0.000925138	m
desplazamiento horizontal de la pared debido a la carga vertical	dN	0.00126834	m
Fuerzas que actúan en cada muro	Fi	83.107	kN
desplazamiento total horizontal del panel tipo muro de CLT	du tot	0.013469127	m
fuerza de tracción Ti de cada hold-down	Ti	68.73105263	kN

Comportamiento del Hold-Down Tracción, Régimen 2

Tabla 3: Comportamiento del Hold-Down

Parámetro	Símbolo	Valores Muro	Unidades
Momento de volteo	M	207.7675018	kN ² m
Brazo palanca interno (longitud efectiva de rotación)	L ^{tau}	2.375	m
elongación del hold-down	v	0.003986191	m
ángulo de rotación rígido	j	0.001678396	-
Fuerza debido a la carga vertical	Fq	17.8125	kN
deformación de balanceo de cuerpo rígido	del_h	0.004195991	m
ángulo de rotación rígido	del_h h= j	0.001678396	-
Cantidad de Hold-Down	Nhd	1	-
Rigidez de rotación del cuerpo rígido	KH	15561.16636	kN / m

A



Método de Pei, para muros de CLT desacoplados

Tabla 1: Comportamiento de Muro de CLT

Parámetro	Símbolo	Valor Muro	Unidades
Fuerza lateral aplicada	F	83.10700226	kN
Carga Vertical distribuida	q	15	kN / m
Altura del muro	h	2.5	m
Longo del Muro	L	2.5	m
Espesor del muro	t	0.150000006	m
Densidad del muro de CLT	Jch	5	kN / m ³
Peso Propio del muro de CLT	P	4.6875	kN
Deformación horizontal debido al volteamiento	deba h	0.002047797	m

Tabla 2: Comportamiento del Hold-Down

Parámetro	Símbolo	1° Hold-Down	2° Hold-Down	3° Hold-Down	4° Hold-Down	5° Hold-Down	Unidades
Rigidez del Hold-Down (por fabricación)	kh	17242.29	2800	2800	2800	17242.29	kN / m
Ubicación desde el centro de rotación	Li	2.375	1.8125	1.25	0.6878	0.125	m
Elongación máxima admisible	E.M.A.	0.0042672	0.005464	0.005464	0.005464	0.0042672	m
Levantamiento de cada Hold-down	def_v	0.001945407	0.001484653	0.001023898	0.00056339	0.00010239	kN
Fuerza Vertical que experimenta cada hold-down	Ti	33.54327341	25.59881392	17.65435443	9.71413198	1.765435443	-
Criterio de cumplimiento de resistencia	Cumple/No Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	-
Recomendación	Mantener/Cambiar	Mantener	Mantener	Mantener	Mantener	Mantener	-

B

Tabla 2: Comportamiento de elementos del muro de CLT

Parámetro	Símbolo	Valores	Unidades
Posición del eje neutro (desde borde opuesto a hold-down izquierdo)	x	0.385878325	m
Esfuerzo a la compresión normal de la solera	fc.90,dis	2500	kN / m ²
Fuerza de resistencia a compresión que experimenta la solera	Fc	115.763502	kN
Rigidez de diseño a la tracción del hold-down	K_t,dis	17242.28906	kN / m
Fuerza de diseño a la tracción del hold-down	F_t,dis	73.576	kN
Elongación máxima admisible del hold-down	e.m.a.	0.0043	m
Comportamiento del hold-down		En Tracción	-
Elongación del hold-down debido al sistema de cargas	def_hd	0.004267066	m
criterio: cumplimiento del hold-down		Cumple	-
Capacidad Lateral de Diseño	Vdis	83.10789061	kN
Criterio: capacidad lateral Vdis sobrepasa a la fuerza lateral F		Cumple	-

C

Parámetro	Símbolo	Muro1	Muro2	Muro3	Muro4	Unidades
Rigidez de rotación del cuerpo rígido	KH	15561.16602	15561.16602	15561.16602	15561.16602	kN / m
Rigidez de traslación del cuerpo rígido	KA	9810	9810	9810	9810	kN / m
Rigidez al corte del panel de revestimiento	Kp	89832	89832	89832	89832	kN / m
Rigidez de la conexión de revestimiento a enmarcado (para CLT)	kSH	0	0	0	0	kN / m
Rigidez total, cada muro de CLT	K.TOT	5639.164531	5639.164531	5639.164531	5639.164531	kN / m
deformación por Volcamiento de cuerpo rígido	del_h	0.00419599	0.00419599	0.00419599	0.00419599	m
deformación debido a la traslación	def_a	0.008471662	0.008471662	0.008471662	0.008471662	m
deformación por corte del panel de revestimiento	def_p	0.000925138	0.000925138	0.000925138	0.000925138	m
desplazamiento horizontal de la pared debido a la carga vertical	dN	0.001144676	0.001144676	0.001144676	0.001144676	m
Fuerza que actúa en cada muro	Fi	20.73759396	20.73759396	20.73759396	20.73759396	kN
desplazamiento total horizontal del conjunto de muros de CLT	def_tot	0.00259969	0.00259969	0.00259969	0.00259969	m
fuerza de tracción Ti de cada hold-down	Ti	3.120594037	3.120594037	3.120594037	3.120594037	kN
Comportamiento del Hold-Down		Tracción, Régimen 2	Tracción, Régimen 2	Tracción, Régimen 2	Tracción, Régimen 2	-

Tabla 3: Volcamiento del cuerpo rígido

Parámetro	Símbolo	Muro1	Muro2	Muro3	Muro4	Unidades
Momento de volteo	M	51.94187841	51.94187841	51.94187841	51.94187841	kN ² m
Brazo palanca interno (longitud efectiva de rotación)	L ^{tau}	2.37499997	2.37499997	2.37499997	2.37499997	m
elongación del hold-down	v	0.000180966	0.000180966	0.000180966	0.000180966	m
ángulo de rotación rígido	j	7.61961E-05	7.61961E-05	7.61961E-05	7.61961E-05	-
Fuerza debido a la carga vertical	Fq	17.81249978	17.81249978	17.81249978	17.81249978	kN
deformación de balanceo de cuerpo rígido	del_h	0.00419599	0.00419599	0.00419599	0.00419599	m
Rigidez de rotación rígido	del_h h= j	0.001678396	0.001678396	0.001678396	0.001678396	-
Cantidad de Hold-Down	Nhd	1	1	1	1	-
Rigidez de rotación del cuerpo rígido	KH	15561.16602	15561.16602	15561.16602	15561.16602	kN / m

D



Resultados de modelos Simplificados y modelo SAWS para 9 configuraciones de muro

Gráfico 2: Desplazamiento horizontal por Volcamiento

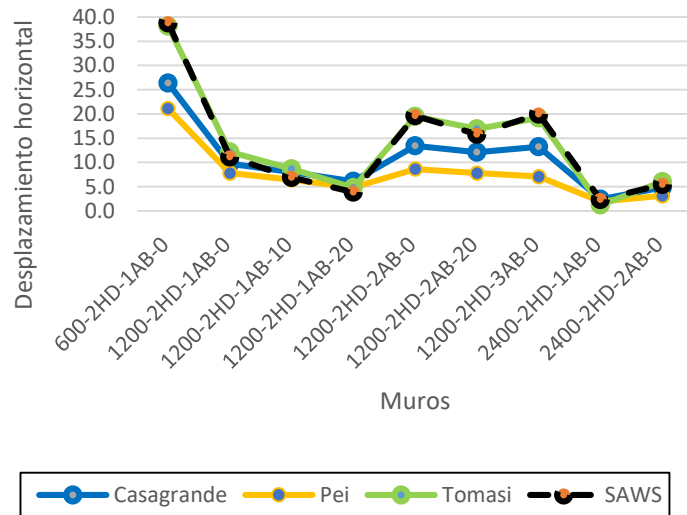


Gráfico 3: Desplazamiento horizontal debido al mecanismo de deslizamiento.

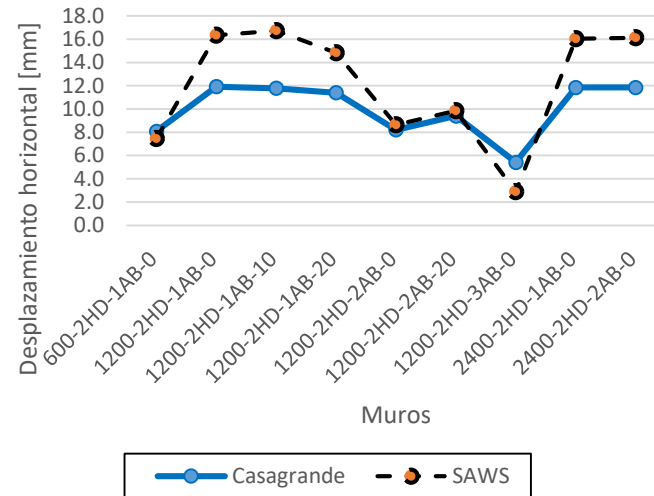
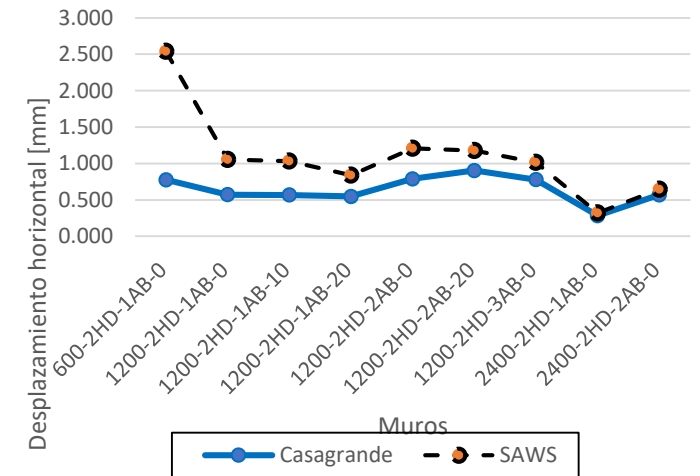
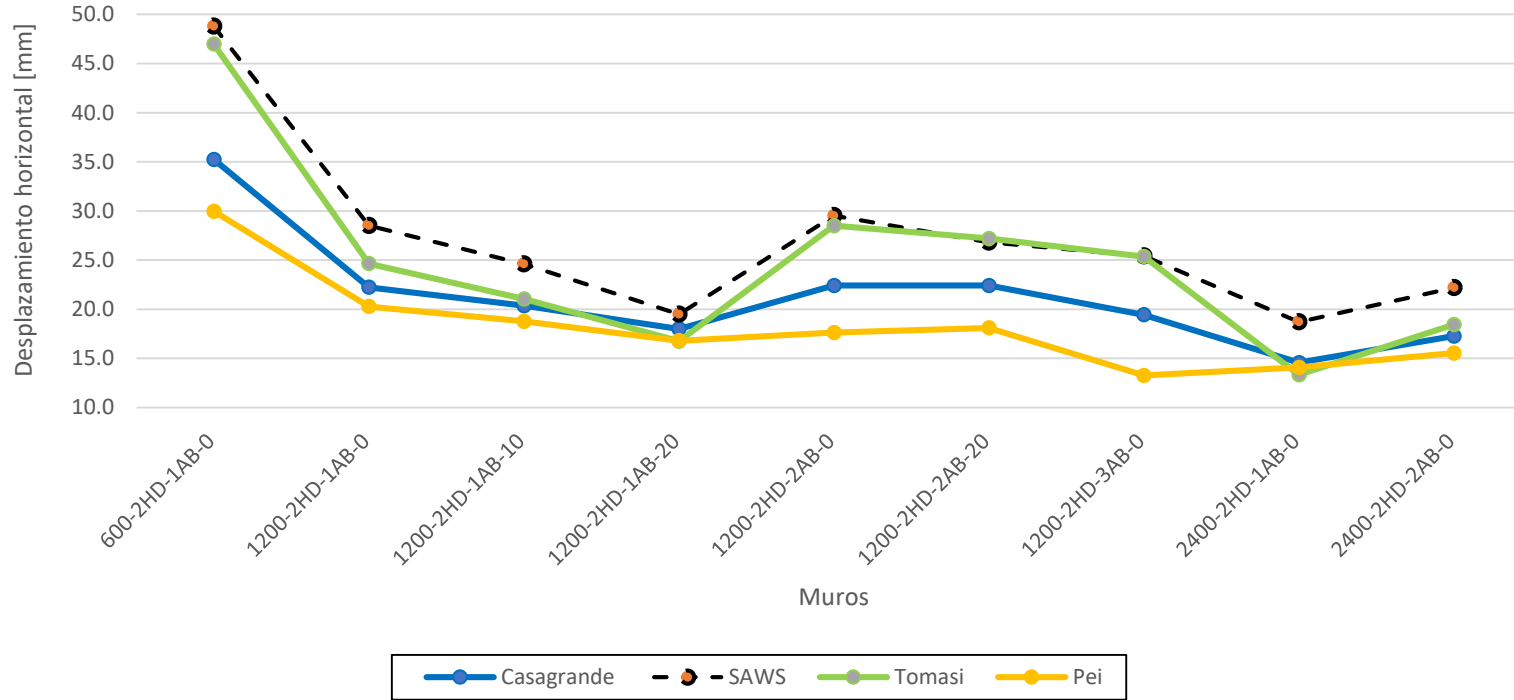


Gráfico 4: Desplazamiento horizontal por Corte y Flexión



En el gráfico 2 se muestra los resultados de los desplazamientos laterales debido al mecanismo de volcamiento para los modelos simplificados de Pei (en amarillo), Casagrande (en azul) y Tomasi (en Verde). Mientras que la línea negra punteada representa el modelo SAWS. Respecto al modelo SAWS, las diferencias promedio en milímetros y porcentaje se muestran en la tabla ordenadas de menor a mayor. Dejando a Tomasi, Casagrande y Pei en el orden respectivo. como se mencionó en secciones anteriores, de los 3 modelos simplificados solo el de Casagrande calcula el desplazamiento lateral debido al mecanismo de deslizamiento y Corte. el grafico 3 muestra los resultados para mecanismo de deslizamiento donde los datos obtenidos de Casagrande son de color azul y los datos del modelo SAWS se muestran de color negro en línea punteada. El gráfico 4 muestra los resultados de los desplazamientos laterales debido al mecanismo de corte para el modelo de Casagrande (en azul) y los desplazamientos laterales de corte más flexión para el modelo SAWS.

Gráfico 5: Desplazamiento horizontal Total



El gráfico 5 muestra los resultados de los desplazamientos laterales Totales, es decir la suma de los mecanismos de vuelco, deslizamiento y corte para el modelo de Casagrande (en azul), modelo de Tomasi en verde, modelo de Pei en naranja y el modelo SAWS representado en línea punteada.

Tabla 1: Diferencias promedios con respecto a modelo SAWS

Modelo Simplificado	Diferencia promedio mm	Diferencia promedio %
Tomasi	2.51	10.8
Casagrande	5.79	20.3
Pei	8.85	31.2

La tabla 1 muestra las diferencias promedios expresadas en milímetros y en porcentajes entre los métodos simplificados con respecto al modelo constitutivo SAWS.

Conclusiones

- Para el análisis en el rango lineal elástico de muros de corte de CLT bajo cargas verticales y horizontales simultaneas, se estudiaron tres modelos simplificados; Pei, Tomasi y Casagrande. centrándose en el movimiento de cuerpo rígido y la respuesta elástica de los elementos de sujeción; hold-down y ángulos. Con los tres modelos simplificados se puede calcular el desplazamiento lateral del muro debido al mecanismo de Volcamiento. Con el modelo Simplificado de Casagrande se puede calcular el desplazamiento lateral debido mecanismo de volcamiento, deslizamiento y Corte, que a su vez contribuyen al calculo del desplazamiento lateral Total del muro de CLT .
- Se crea un programa con interfaz de fácil manejo para el usuario en Microsoft Excel, mediante el uso del lenguaje de programación VBA obteniendo como resultados hojas de cálculo para cada modelo simplificado.
- Se obtienen resultados numéricos a través de las hojas de calculo entregadas por el programa para un ejemplo de muro de CLT. como resultados a destacar es que la elongación del hold-down traccionado que determina el desplazamiento lateral del muro de CLT debido al mecanismo de volcamiento, el modelo que calcula la mayor elongación es el modelo de Tomasi, en segundo lugar se ubica el modelo de Casagrande, mientras que modelo de Pei resultó ser el que calcula menos elongación ubicándose en el tercer lugar.
- Por otro lado, Es preciso mencionar que el modelo Simplificado de Casagrande es el único de los tres modelos que se puede usar para calcular el comportamiento de un sistema de N muros acoplados horizontalmente que por lo demás está implementado en el programa computacional desarrollado en esta investigación. Se debe destacar que se puede calcular hasta 20 muros acoplados, pero se puede expandir la capacidad de calculo. Para el ejemplo se calculó 4 muros acoplados.
- Por otro lado, a través del programa se obtienen resultados numéricos para 9 configuraciones de muros de CLT, estos se comparan con los resultados obtenidos del modelo constitutivo SAWS desarrollado en Opensees en el trabajo de investigación de José Villegas (2019). Los resultados a destacar es que los modelos simplificados entregan resultados de los desplazamientos laterales relativamente cercanos a los que entrega el modelo SAWS, presentando una diferencia promedio porcentual de 14.9 %, 20.3% y 37.8% para los modelos de Tomasi, Casagrande y Pei respectivamente.
- Finalmente, en base a los resultados obtenidos en los tres modelos simplificados que han sido analizados, se podría recomendar la utilización del modelo de Casagrande en proyectos estructurales que involucren el cálculo de la capacidad de muros de corte de CLT.
- Esta recomendación se basa en que el método simplificado de Casagrande calcula los desplazamientos laterales del muro de CLT para los tres mecanismos que más aportan al desplazamiento lateral de acuerdo con la literatura recopilada. Esto conlleva a tener un cálculo más detallado del comportamiento en el rango elástico del muro de CLT.