

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

Profesor Patrocinante: Mg. Alexander Opazo Vega

Profesores Comisión: Mg. Ángela Salinas Barrera

Mg. Franco Benedetti Leonelli

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA MODELACIÓN DE LAS CONEXIONES EN UNA VIVIENDA CLT

Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de Ingeniero
Civil

GAMALIER ADÁN HERNÁNDEZ CARVAJAL

Concepción, Octubre 2016.

*Dedicado a mis padres, hermanas y familiares que siempre
me brindaron su apoyo incondicional.*

*También a mis amigos y personas que conocí y compartí
increíbles experiencias durante mi vida universitaria.*

*Me voy muy agradecido de todo lo aprendido, me siento muy
orgulloso de lo que ahora soy y de todo lo que llevo en mi
mente y alma.*

*Somos instantes de tiempo, haces de luz, donde el paso del
tiempo es rápido, es por esto que soy un convencido de que
tenemos que dar lo mejor de uno siempre, sin importar la
recompensa, donde cada acción repercute en el infinito.*

NOMENCLATURA

CLT: Cross laminated Timber.

E_0 : Módulo de elasticidad en fibras paralelas al eje fuerte.

E_{90} : Módulo de elasticidad en fibras perpendicular al eje fuerte.

G_0 : Módulo de corte en fibras paralelas al eje fuerte.

G_{90} : Módulo de corte en fibras perpendicular al eje fuerte.

K_0 : Factor de reducción del módulo de elasticidad en fibras paralelas al eje fuerte, Blass 2004.

K_{90} : Factor de reducción del módulo de elasticidad en fibras perpendicular al eje fuerte, Blass 2004.

Fc, Slow: Coeficiente de fricción, SAP v16.

Fc, Fast: Coeficiente de fricción, SAP v16.

NPR: Net pendulum radium, SAP v16.

FI: Friction Isolator (KN/mm^2), SAP v16.

HD: Hold Down (KN/mm^2).

BR: Brackets (KN/mm^2).

Mesh: División de un elemento en pequeños pedazos similares, análisis de elementos finitos.

ρ : Densidad.

R: Factor de modificación de la respuesta estructural (análisis estático).

C: coeficiente sísmico.

HD: Abreviación del conector Hold-Down.

BR: Abreviación del conector Bracket.

Drift: Desplazamiento relativo entrepisos. NCH433.

1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Justificación.....	4
1.3. Objetivos	4
1.3.1. Objetivo General.....	4
1.3.2. Objetivo Especifico.....	4
1.4. Metodología de Trabajo	5
2. ASPECTOS CLAVES PARA LA CALIBRACION DE LOS MUROS CLT	6
2.1. Método analítico para la obtención de características mecánicas del panel.....	7
2.2. Propuesta de modelación de otros autores.	10
2.3. Modelo simplificado de paneles CLT	11
2.5. Influencia de las aberturas en muros CLT.....	13
3. MATERIALES Y METODOS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN	14
3.1. Calibración de los muros CLT.	15
3.1.1. Calibración a través de la tesis de Igor Gavric.....	15
3.2. Factores e ingreso de cargas a la vivienda CLT.....	20
3.2.1. Factor de modificación de la respuesta.	20
3.2.2. Tipos de suelos.....	21
3.2.3. Ingreso de las cargas de peso propio y sobrecarga.	21
4. RESULTADOS DE LA CALIBRACION PARA LA VIVIENDA CLT.	23
4.1. Obtención de los valores de rigidez calibrada por piso y elevación.....	23
4.2. Propuesta de vivienda CLT en 3D.	24
4.2.1. Modelación avanzada de vivienda CLT en 3D.....	27
4.2.2. Modelación de muros simplificado en vivienda CLT.....	28
4.2.3. Modelación de conexiones simplificadas en vivienda CLT.....	29
4.2.4. Modelación simplificada de vivienda CLT.....	30
4.3. Comparación modelos.....	31
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	34
5.1. Conclusiones	34
5.2. Recomendaciones y futuras líneas de investigación.	36
6. BIBLIOGRAFÍA.....	37
7. ANEXOS.....	38

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Metodología de trabajo.....	5
Figura 2. Ejemplo de diferentes configuraciones de láminas CLT cruzadas.....	7
Figura 3. Ejemplificación de las capas para $m=5$	9
Figura 4. Procedimiento de calibración del muro CLT.....	10
Figura 5. Influencia de la modelación de las conexiones bajo cargas sísmicas.	11
Figura 6. Diferentes configuraciones de muros CLT.....	12
Figura 7. Modelos matemáticos analizados.....	13
Figura 8. Vivienda CLT estudiada.....	14
Figura 9. Planta vivienda CLT.....	14
Figura 10. Muro 1.1 Utilizado para la calibración (Gavric, 2014).....	15
Figura 11. Modelo no lineal con elementos finitos.....	16
Figura 12. Calibración de muro vivienda CLT.....	18
Figura 13. Conectores tipo Hold-Down.....	19
Figura 14. Conectores tipo Brackets.....	19
Figura 15. Cantidad de modelos a realizar.....	24
Figura 16. Modelo en SAP2000 de la vivienda CLT.....	26
Figura 17. Grafica del Drift modelo avanzado.	27
Figura 18. Grafica del Drift de muro simplificado vivienda CLT.	28
Figura 19. Grafica del Drift de conexión simplificado vivienda CLT.....	29
Figura 20. Grafica del Drift de vivienda CLT simplificada.....	30
Figura 21. Suelo A, Zona sísmica 3 (eje A).....	31
Figura 22. Suelo D, Zona sísmica 3 (eje A).....	32
Figura 23. Suelo A, Zona sísmica 3 (eje H).....	32
Figura 24. Suelo D, Zona sísmica 3 (eje H).....	33

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factores de composición K para paneles CLT (Blass, 2004).8

Tabla 2. Valores efectivos de capacidad y módulo de elasticidad para paneles CLT (Adaptado Blass, 2004).9

Tabla 3. Parámetros característicos del suelo. DS61.21

Tabla 4. Sobrecarga de uso.21

Tabla 5. Cargas de peso propio.....22

Tabla 6. Combinaciones de carga.22

Tabla 7. Valores calibrados de los conectores HD y BR.23

Tabla 8. Tabla de periodos de los distintos enfoques de modelos25

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Coeficiente sísmico.....20

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA MODELACIÓN DE LAS CONEXIONES EN UNA VIVIENDA CLT

Autor:

Gamaliel Hernández Carvajal

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío
gbernandez.ing@gmail.com

Mg. Ing, Alexander Opazo Vega

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío
aopazove@ubiobio.cl

RESUMEN

En esta investigación se estudia la influencia de distintas técnicas de modelación de conexiones en una vivienda CLT construida en San Pedro de la Paz, Octava región de Chile.

Para la vivienda se realizaron calibraciones mediante un análisis no lineal de cada muro aislado con sus diferentes configuraciones, utilizando el programa SAP2000 v.16. con la finalidad de poder pasar de un modelo no lineal aislado a un modelo lineal en tres dimensiones 3D . Esto es para simplificar la modelación de estos tipos de paneles y conectores, ya que se requiere de mucho costo computacional para poder realizar este tipo de análisis no lineales a estructuras en 3D.

Ingresando las cargas normativas al modelo 3D lineal, se estudian las posibles combinaciones que se pueden llevar a cabo, variando las rigideces de las conexiones y/o cambiando propiedades mecánicas de la madera compuesta CLT y manteniendo las condiciones de entorno.

En este estudio se encontraron grandes diferencias en cuanto a la modelación de las conexiones de forma avanzada y simplificada. Este último método provoca que la estructura sea rígida, aumentando el corte en la base, además de disminuir sus periodos y desplazamientos.

Del análisis de los desplazamientos relativos entre piso, se observó que con las modelaciones simplificadas se obtenían desplazamientos del orden del 25% de los estimados con modelaciones más avanzadas. Lo anterior, demuestra la importancia de modelar correctamente las conexiones en este tipo de viviendas.

Palabras claves: CLT, calibración, conectores.

7510 Palabras Texto + 25 Figuras/Tablas*250 + 4 Figuras/Tablas*500 = 15760 Palabras Totales

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE MODELING OF CONNECTIONS IN A CLT-BASED HOUSE

Author:

Gamaliel Hernández Carvajal

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bío-Bío
ghernandez.ing@gmail.com

Mg. Ing. Alexander Opazo Vega

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bío-Bío
aopazove@ubiobio.cl

ABSTRACT

In this research the influence of different connections Modeling Techniques is studying in a CLT housing built in San Pedro de la Paz, Eighth Region of Chile.

Housing calibrations were performed using the UN Nonlinear Analysis of Each wall Isolated with its different configurations, using the same program SAP2000 v.16. With the purpose to move from a nonlinear Isolated UN a linear model in three dimensions 3D MODEL. This is to simplify the modeling of these types of panels and connectors, as it requires a lot of computational cost to perform this type of nonlinear analysis in a 3D STRUCTURES.

Entering Regulations linear loads to the 3D model, the possible combinations that can be studied Wear Cape varying rigidities of the connections and / or changing mechanical properties of the composite wood CLT and maintaining the conditions of environment.

In this study Large differences in the modeling and simplified connections Advanced found. The latter method causes the rigid structure sea, increasing the cut at the base ,; In addition to reducing their periods and Displacements.

Analysis of the relative displacements mezzanine, which was observed with simplified modeling Displacements of about 25% of estimated modellations More Advanced were obtained. This demonstrates the importance of correctly model the connections in this type of housing.

Keywords: CLT, calibration, Connectors.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

En nuestro siglo XXI, la producción es cada vez más eficiente y rápida a costos no menores tales como la emisión de gases contaminantes. Estudios muestran aumentos considerables en la temperatura global del planeta, que están ocurriendo desde ya hace unos años, teniendo consecuencias graves para el ecosistema y medioambiente. Es por esto que el ser humano está tomando conciencia en el actuar del día a día, ayudando a disminuir su huella de carbono, como por ejemplo a través de la selección de nuevos materiales más amigables con el medio ambiente.

La madera es un recurso renovable y orgánico, que se encuentra en la mayor parte del mundo en grandes cantidades, el cual es de fácil producción y trabajabilidad. Existen diversos tipos de madera, de diferentes tamaños, colores, olores, durezas, texturas etc. La calidez de la madera, su brillo y vinculación con el entorno natural son muy bien apreciados y trabajados en la arquitectura, quizás no así tanto en la ingeniería.

Dentro de los materiales más utilizados en construcción, está el hormigón, acero y madera, aunque este último es el material que menos se utiliza en construcciones como edificios. Parte de esto es por el poco conocimiento que se tiene acerca de la madera, como elemento estructural compuesto para la elaboración de muros, losas, vigas etc. Por lo anterior, es que con nuevos elementos estructurales de madera, como lo es el Cross Laminated Timber CLT, se pretende cambiar un poco la visión acerca de que las estructuras medianas y de gran tamaño también pueden ser de madera, prestando una excelente resistencia, durabilidad y cercanía con el medioambiente.

Exitosas experiencias se tienen en Europa y Norteamérica pudiendo construir medianas y grandes edificaciones en CLT en países que se encuentran en zonas sísmicas. (Gagnon y Pirvu, 2011), motivo por el cual en Chile se está investigando el tema bajo nuestras condiciones, para que también se pueda emplear como un método de construcción válida y competente.

Lo que se pretende en un futuro próximo es de tener claridad de como modelar los paneles CLT y sus conexiones de forma precisa y un poco más sencilla, por lo cual esta investigación pretende simplificar la modelación, entregando recomendaciones que ayuden a los ingenieros que necesiten modelar estos tipos de estructuras CLT.

1.2. Justificación

Las exigentes normativas chilenas en cuanto a los efectos sísmicos en las estructuras, requieren que todos los elementos estructurales se encuentren verificados y dentro de norma.

Dado que existen elementos estructurales compuestos relativamente nuevos, como lo es el Cross Laminated Timber, para la construcción de viviendas o estructuras de mayor tamaño, se requiere tener claridad acerca de cómo modelar las conexiones y paneles que conforman la estructura. Esto se debe a que los muros CLT poseen mucha mayor rigidez que sus conexiones, cosa que evidencia un problema que en Chile aún no se tiene claro cómo resolver en su totalidad.

El estudio pretende entregar información relevante al usuario acerca de la modelación de estructuras lo más simple y precisa que se pueda, tomando en cuenta todas las variables tanto descritas en la investigación, así como variables del entorno mismo para cada caso requerido.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

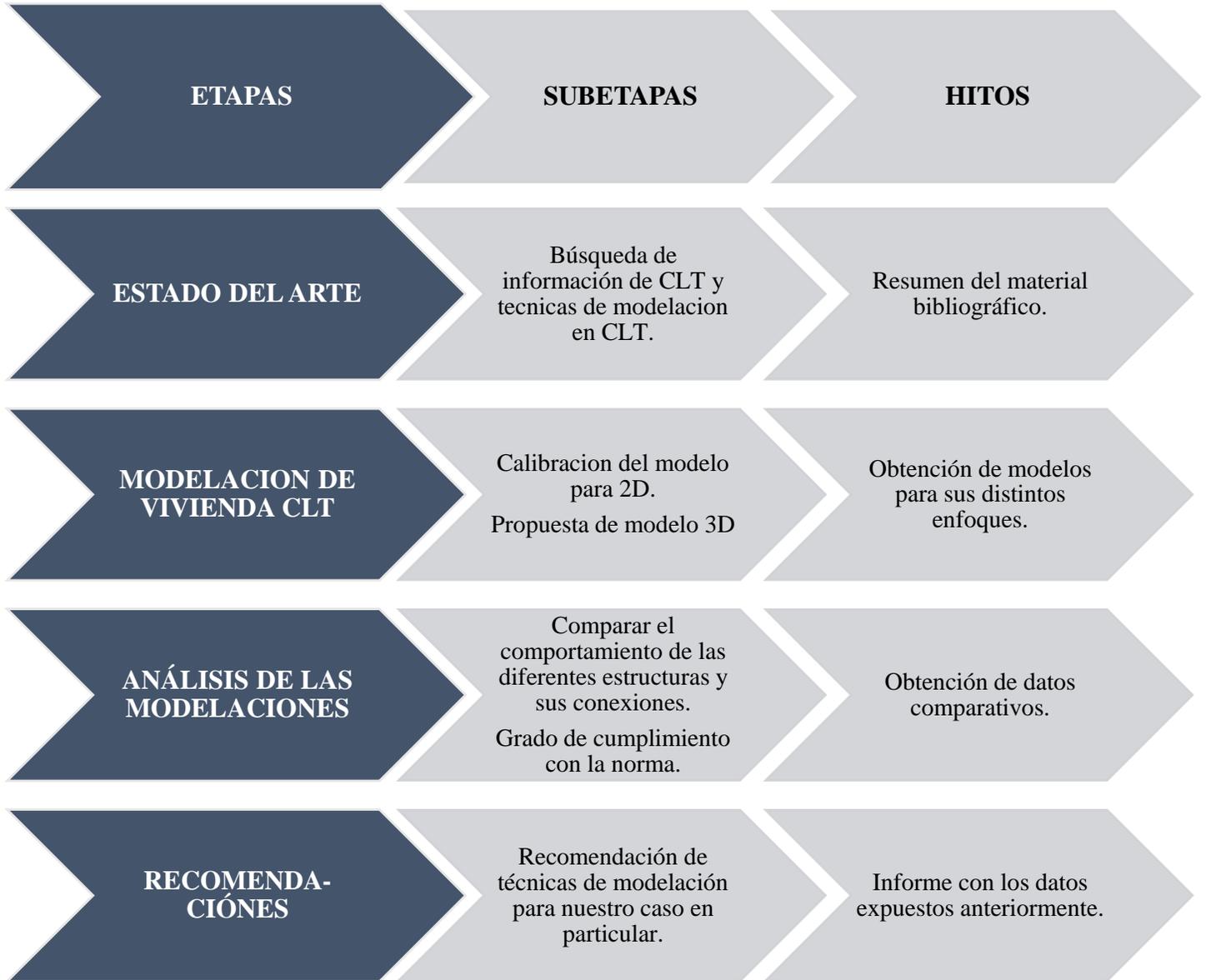
Analizar la influencia de la modelación de diferentes tipos de conexiones en una vivienda Cross Laminated Timber de acuerdo a la normativa vigente.

1.3.2. Objetivo Especifico

- Sintetizar la bibliografía asociada a modelación de estructuras en CLT.
- Proponer una técnica de modelación compatible con una vivienda de CLT.
- Modelar una vivienda CLT, utilizando distintos enfoques de conexiones.
- Comparar el comportamiento de la estructura y sus conexiones.
- Recomendar técnicas de modelación adecuadas para futura implementación ingenieril.

1.4. Metodología de Trabajo

En la figura 1, se muestra esquemáticamente la metodología de trabajo utilizada.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1. Metodología de trabajo.

En la figura anterior se muestra el trabajo en 4 etapas, ubicadas a la izquierda de la figura, a las cuales se asocia un hito de término, ubicado a la derecha de la figura. En la parte central se señalan las actividades que se llevan a cabo durante el desarrollo de estas.

2. ASPECTOS CLAVES PARA LA CALIBRACION DE LOS MUROS CLT

Para la modelación de una estructura en CLT lo primero que hay que conocer es que no es una estructura simple de modelar, ya que influyen factores como la no linealidad de las propiedades de la madera para sus ejes principales y que las conexiones tienen un comportamiento no lineal.

Tanto como muro CLT como conexión tienen sus propias limitantes, dado esto a que en conjunto se provoca un cambio de rigidez muy grande que podría llevar a que la estructura se deforme o desplace más de lo requerido. Este cambio de rigidez que se provoca es en parte porque los bloques de madera pueden ser de grandes dimensiones. Dependiendo del equipo que las fabrique pueden tener hasta largos de 14 metros, 3,8 metros de alto y 33 cm de espesor.

La fabricación de estos tipos de paneles consiste en pegar láminas delgadas de madera aserrada encolada en ángulo recto unas con otras en números impares y posteriormente se prensan para formar paneles CLT. (Ejemplo Figura 2). El módulo de elasticidad se puede calcular por medio de dos métodos analíticos, el primero es en base a lo expuesto en la norma (Nch1198 of2014) y el segundo es por el método-K propuesto por Blass y Fellmoser en 2004.

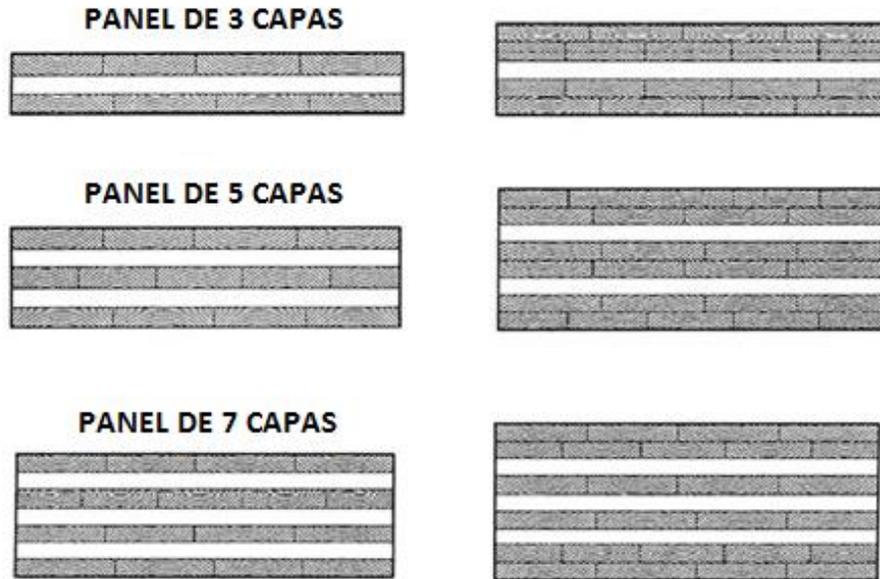
En los dos métodos antes mencionados, se deben estimar dos valores de módulo de elasticidad y dos módulos de corte. Para dos módulo de elasticidad se tiene que el primer valor está dirigido a las fibras paralelas al eje fuerte del panel denominado como E_0 , el segundo está dirigido perpendicularmente en dirección del eje débil del panel denominado como E_{90} . Algo similar sucede con los módulos de corte, debido a que el módulo de corte para la dirección de eje fuerte es G_0 y para la dirección del eje débil G_{90} respectivamente.

La norma NCH1198 of2014, establece ciertas relaciones analíticas entre los módulos de elasticidad.

$$E_{90} = 0.05 * E_0$$

$$G_0 = 0.065 * E_0$$

$$G_{90} = 0.006 * E_0$$



Fuente adaptada: Igor Gravric. 2012

Figura 2. Ejemplo de diferentes configuraciones de láminas CLT cruzadas.

Estos parámetros mostrados anteriormente, son de mucha importancia, ya que influyen directamente en el cálculo y deformaciones de la estructura CLT. Aún se desconoce el efecto de deformación por corte, es por esto que se recomienda que la razón entre el largo del panel y su espesor sea como mínimo 30 (Gagnon y Pirvu, 2011).

2.1. Método analítico para la obtención de características mecánicas del panel.

El método de la teoría compuesta (método-K) es bastante utilizada en la industria de la madera laminada, esta teoría presenta factores para la reducción de los módulos de elasticidad para su eje débil así como fuerte.

Para poder aplicar el método a los paneles CLT primero se debe considerar las siguientes hipótesis:

- Relación tensión-deformación lineal, se cumple la hipótesis de Bernoulli (asumiendo las secciones transversales del panel permanecen planas).

- La rigidez de las capas perpendiculares al eje de mayor resistencia son asumidas como 1/30 de las capas paralelas al eje de mayor resistencia ($E_0/30=E_{90}$)
- No se toma en cuenta la deformación por corte, por lo que no se recomienda utilizar este método para paneles con razón largo/espesor menor a 30.
- Los factores de composición (factores K) son determinados para ciertas configuraciones de carga (véase tabla 1). (véase figura 3).

La tabla 1 presenta las formulas necesarias para determinar los factores de composición K requeridos para diferentes cargas actuando en el panel mostrado.

Tabla 1. Factores de composición K para paneles CLT (Blass, 2004).

	k_i
	$k_1 = 1 - \left(1 - \frac{E_{90}}{E_0} \right) \cdot \frac{a_{m-2}^3 - a_{m-4}^3 + \dots \pm a_1^3}{a_m^3}$
	$k_2 = \frac{E_{90}}{E_0} + \left(1 - \frac{E_{90}}{E_0} \right) \cdot \frac{a_{m-2}^3 - a_{m-4}^3 + \dots \pm a_1^3}{a_m^3}$
	$k_3 = 1 - \left(1 - \frac{E_{90}}{E_0} \right) \cdot \frac{a_{m-2} - a_{m-4} + \dots \pm a_1}{a_m}$
	$k_4 = \frac{E_{90}}{E_0} + \left(1 - \frac{E_{90}}{E_0} \right) \cdot \frac{a_{m-2} - a_{m-4} + \dots \pm a_1}{a_m}$

Obtenidos los parámetros k, se procede a calcular el nuevo módulo de elasticidad E_0 y E_{90} con la ayuda de la tabla 2.

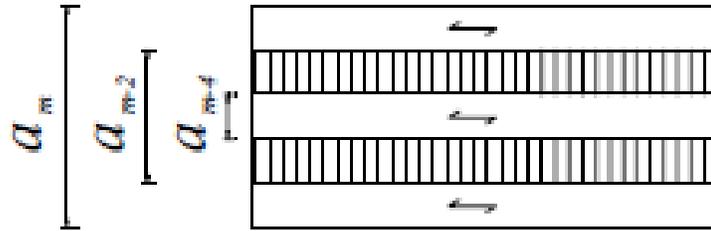


Figura 3. Ejemplificación de las capas para $m=5$.

Descripción de la tabla número 1.

- k_1 : La carga esta aplicada de forma perpendicular al plano del muro. Esta condición es para eje fuerte.
- k_2 : La carga esta aplicada de forma perpendicular al plano del muro, pero esta condición es para eje débil.
- k_3 : La carga esta aplicada sobre el eje longitudinal en el plano del muro. Esta condición es para eje fuerte.
- k_4 : La carga esta aplicada sobre el eje longitudinal en el plano del muro, pero esta condición es para eje débil.

Tabla 2. Valores efectivos de capacidad y módulo de elasticidad para paneles CLT (Adaptado Blass, 2004).

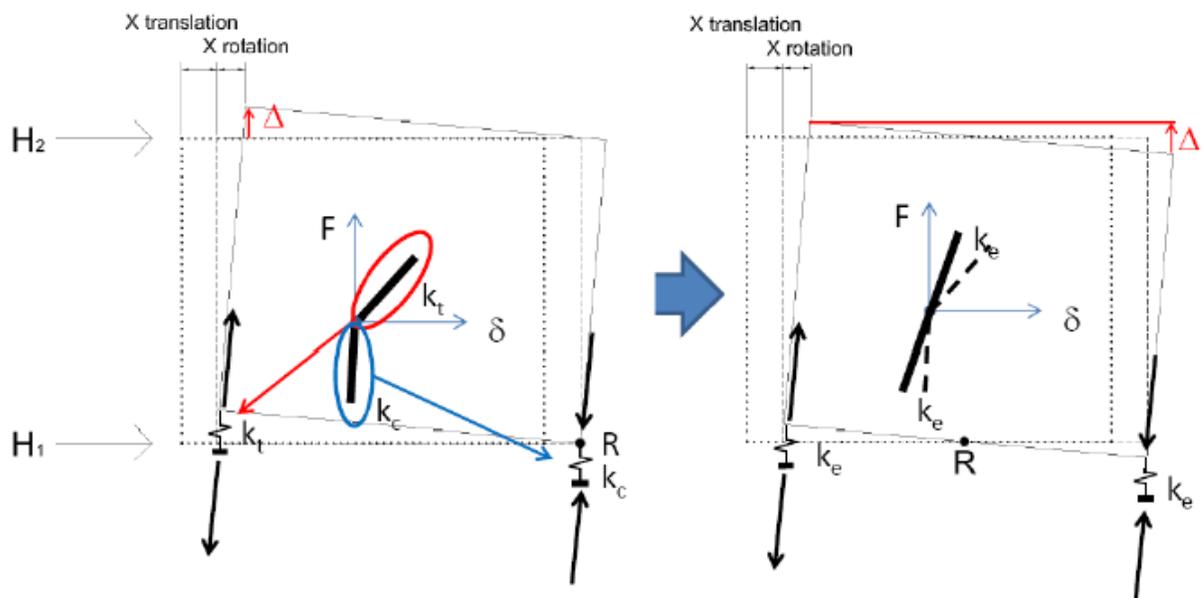
Carga	Dirección respecto a capa exterior	Capacidad efectiva	Módulo de elasticidad efectivo
Carga perpendicular al plano			
Flexión	Paralelo	$f_{b,0,ef} = f_{m,0} * k_1$	$E_{b,0,ef} = E_0 * k_1$
	Perpendicular	$f_{b,90,ef} = f_{m,0} * k_2 * \frac{a_m}{a_{m-2}}$	$E_{b,90,ef} = E_0 * k_2$
Carga en el plano			
Flexión	Paralelo	$f_{b,0,ef} = f_{m,0} * k_3$	$E_{b,0,ef} = E_0 * k_3$
	Perpendicular	$f_{b,90,ef} = f_{m,0} * k_4$	$E_{b,90,ef} = E_0 * k_4$
Tracción	Paralelo	$f_{t,0,ef} = f_{t,0} * k_3$	$E_{t,0,ef} = E_0 * k_3$
	Perpendicular	$f_{t,90,ef} = f_{t,0} * k_4$	$E_{t,90,ef} = E_0 * k_4$
Compresión	Paralelo	$f_{c,0,ef} = f_{c,0} * k_3$	$E_{c,0,ef} = E_0 * k_3$
	Perpendicular	$f_{c,90,ef} = f_{c,0} * k_4$	$E_{c,90,ef} = E_0 * k_4$

2.2. Propuesta de modelación de otros autores.

En el año 2014 Sustersic, Dujic y Fragiacom, realizaron el estudio sobre la influencia de la modelación de conexiones para un edificio de varios pisos. Estos investigadores tomaron datos y variables publicadas por otros autores, y datos propuestos por ellos para realizar la modelación no lineal de los muros.

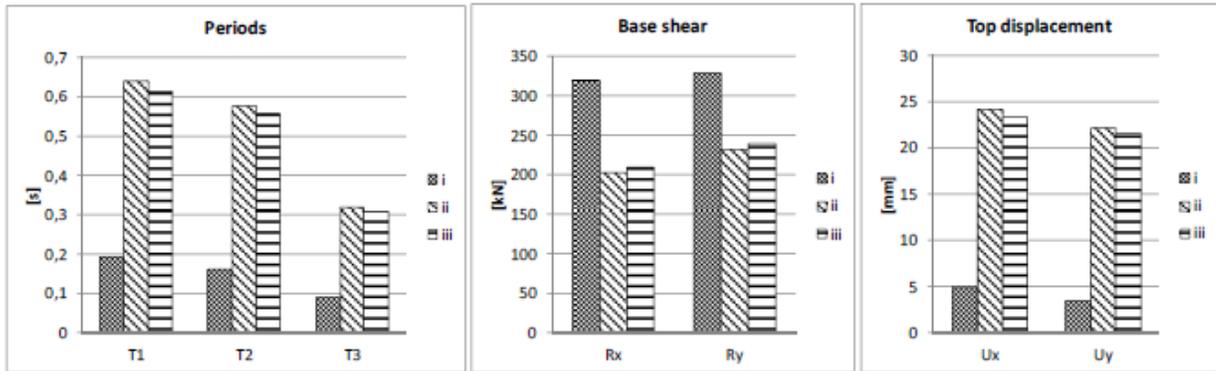
Los supuestos válidos para realizar la modelación de esta estructura fueron los siguientes:

- Utilización del programa SAP 2000, para la modelación de la estructura.
- Elementos de muro modelados como Shell elements.
- Factores de reducción del módulo de elasticidad propuestos por Blass. (Blass 2004).
- Diafragmas de piso modelados como rígidos.
- Friction Isolator Elements usado para modelar los efectos de la fricción, valor de 0.4 para caso estático y dinámico.
- Link como conexiones para simular las condiciones de contorno exactos de contacto, rígido en compresión y flexible en tensión y cizallamiento.
- Calibración del muro a través de conexiones no lineales a lineales. (figura N4).
- Variaciones de las rigideces de las conexiones (figura N5).



Fuente: I.Sustersic et. al. 2014.

Figura 4. Procedimiento de calibración del muro CLT.



Fuente: I.Sustersic et. al. 2014.

Figura 5. Influencia de la modelación de las conexiones bajo cargas sísmicas.

2.3. Modelo simplificado de paneles CLT

Un criterio importante al momento de modelar nuestro muro de CLT es como se realizara, si será conveniente una discretización de elementos finitos, mediano o grande, ¿o si serán necesarios todos los conectores? Esta pregunta se realizaron los autores de esta investigación, la cual es ayudar al usuario a modelar los muros de forma correcta. (I.Sustersic. 2012).

Las distintas variaciones de modelación de muros, pueden llevar a errores en los desplazamientos y/o deformaciones, por lo cual es de mucha importancia decidir que simplificación de muros se utilizará.

La siguiente imagen 6, muestra las diferentes configuraciones posibles:

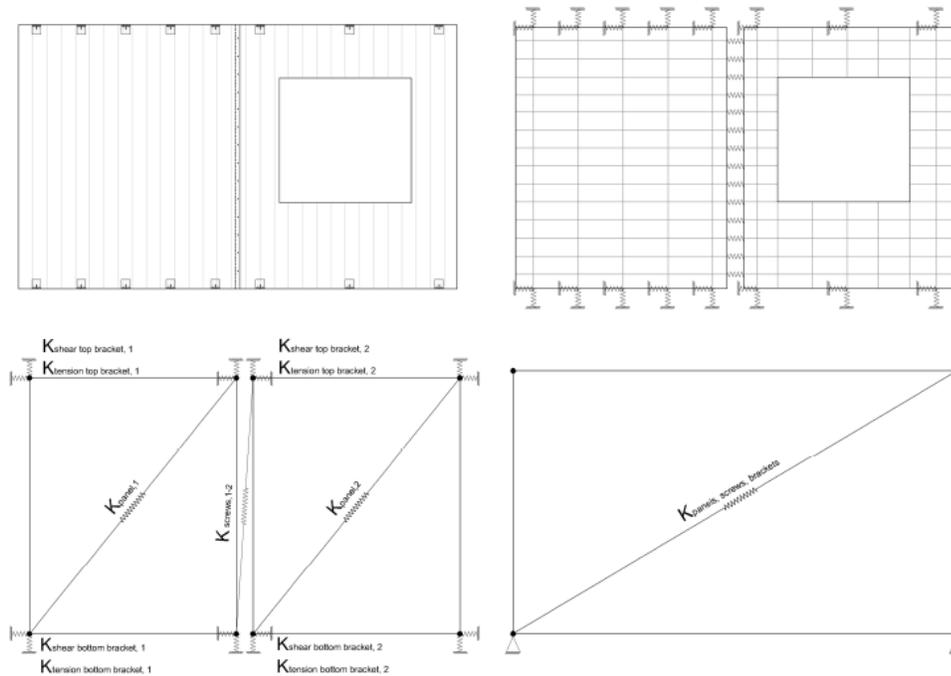


Figura 5: (i) el montaje de muro real crosslam (arriba a la izquierda), (ii) un elemento finito detallado (FE.) Modelo (arriba a la derecha), (iii) un modelo FE parcialmente simplificado (parte inferior izquierda) y (iv) la plena modelo simplificado FE

Fuente: I.Sustersic et. al. 2012.

Figura 6. Diferentes configuraciones de muros CLT

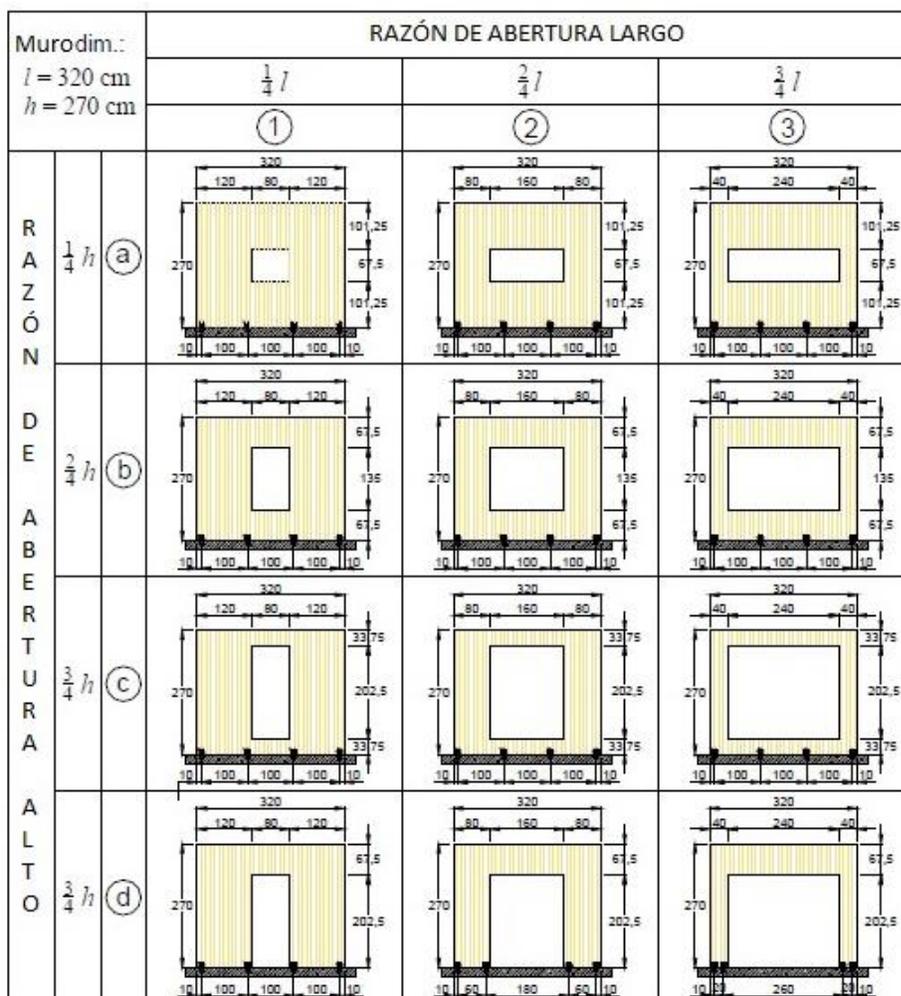
Los diferentes tipos de modelos vistos en la figura número 6, de los cuales se pueden observar diferentes configuraciones para un mismo panel. El autor evidencia que existe más de un método de modelar el panel que debe ser estudiado para ver si existen grandes diferencias entre el modelo avanzado (ii), pasando por los niveles intermedios, hasta llegar al método simplificado (iv) para el cálculo de la rigidez del panel.

Para la realización de un modelo, hay que tener en cuenta que cada conexión es de vital importancia para el control de las deformaciones y desplazamientos de la estructura, por lo cual ninguna conexión se debe dejar fuera de la discretización de elementos finitos (mesh) correspondiente, ya que si esto no llega a ser así, la conexión quedaría sin conectar nada. Siendo consecuente con lo anteriormente dicho la letra (ii), es el caso más acorde para análisis más exigentes.

2.5. Influencia de las aberturas en muros CLT

Otra condición a tomar en cuenta al momento de modelar las estructuras es la abertura provocada por la disposición de vanos en estas, los cuales dependiendo del tamaño pueden llegar a tener real relevancia en el cálculo de la rigidez de los paneles CLT.

Se realizaron variados ensayos con diferentes configuraciones (figura 7) para determinar una ecuación que los ayudaran a predecir la rigidez cortante de estos tipos de paneles.



Fuente: B.Dujic et. al. 2007.

Figura 7. Modelos matemáticos analizados.

El estudio realizado (Dujic et. al,2007) ha llegado a la conclusión de que las aberturas con una superficie total de hasta el 30% de toda la superficie de la pared no influyen de manera significativa la capacidad de carga de la pared. La rigidez en tales casos se reduce aproximadamente al 50%.

3. MATERIALES Y METODOS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN

La estructura ocupada para el desarrollo de esta investigación se encuentra en la comuna de San Pedro de la Paz. Esta es una casa estructurada en base a paneles CLT de dos niveles. (Figura 8). La cual tiene un área de 60m² aproximados por piso.



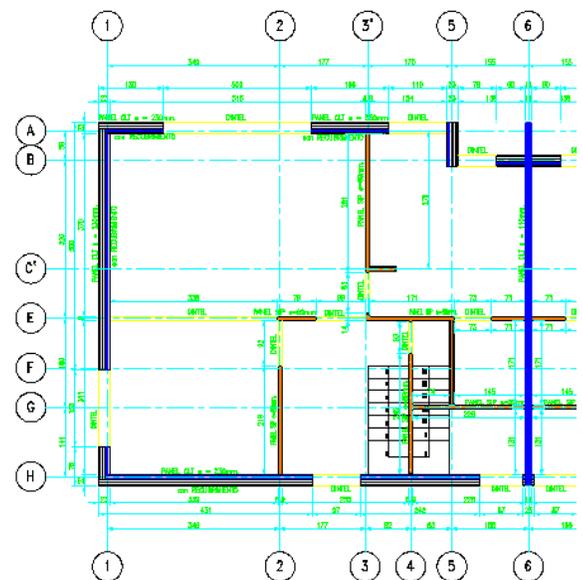
Fuente: Propia

Figura 8. Vivienda CLT estudiada.

En la figura 9 se puede apreciar que los muros perimetrales de la estructura son en base a CLT (color azul) de espesor 90mm revestidos por placas de fibrocemento de 10mm por ambas caras y lana mineral por la cara interior del panel.

Por la parte interna, posee paneles SIP, los cuales están conformados por placas de OSB de 10mm por ambas caras y poliestireno expandido.

Las losas son de CLT de 120mm con una loseta de hormigón liviano de 60mm, van ubicadas paralelas a los ejes numéricos de la grilla.



Fuente: Propia.

Figura 9. Planta vivienda CLT.

3.1. Calibración de los muros CLT.

3.1.1. Calibración a través de la tesis de Igor Gavric.

a. Validación de la rigidez elástica del modelo.

La calibración propuesta por Gavric ya fue tomada para ser estudiada por los Ingenieros Ignacio Salazar y Nicolás Sáez. Dada la igualdad del mismo procedimiento en exactitud, por lo que los párrafos siguientes, específicamente ítem (a) son de su elaboración. (I.Salazar et. Al, 2016).

Para la validación del modelo se procedió a simular numéricamente un muro ensayado bajo efecto de cargas cíclicas, cuyos desplazamientos horizontales y verticales fueron medidos mediante sensores.

Dentro de la tesis de Igor Gavric (2014) se encuentran los resultados de datos experimentales de diversos muros con distintas configuraciones.

Se escogió un muro sin aberturas que cuenta con 2 conectores de tipo hold down en sus extremos y 2 conectores de tipo bracket angular a lo largo de su borde inferior. Las dimensiones del muro y la posición de los sensores de desplazamiento (CH1, CH2, etc.) se presentan en la figura 10.

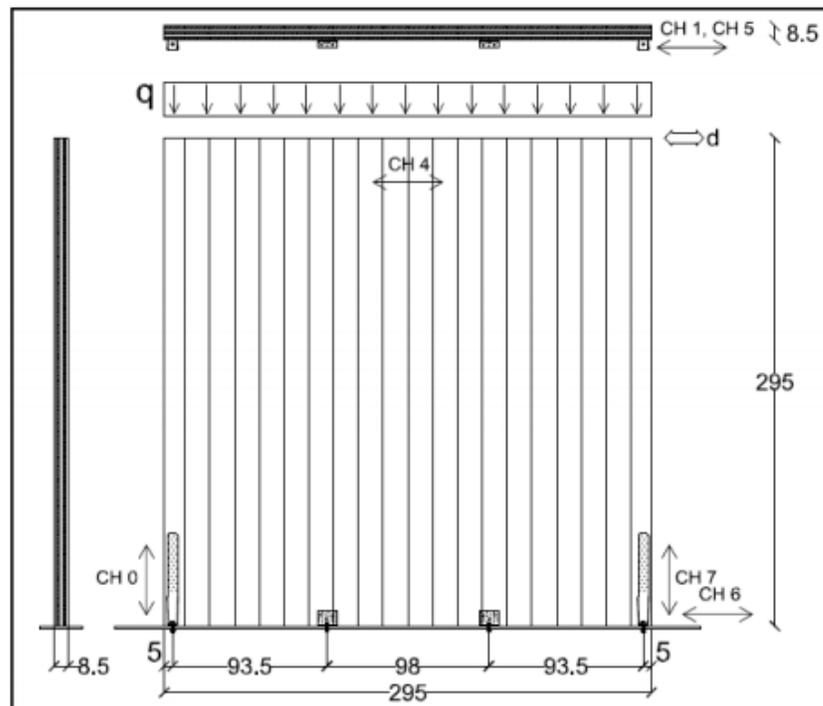


Figura 10. Muro 1.1 Utilizado para la calibración (Gavric, 2014).

Los conectores utilizados son dos placas de tipo hold down (Simpson HTT22) con 12 clavos en los extremos y dos brackets angulares (BMF 90x48x3x116) con 11 clavos. Las rigideces elásticas de los conectores tipo hold down son 4,82 kN/mm para tracción y 0,99 kN/mm para corte, mientras que para los conectores tipo bracket angular son 2,76 kN/mm y 1,78 kN/mm a tracción y corte respectivamente.

En cuanto a la rigidez a compresión se estimó un valor de 39000 (kN/mm), derivado de la resistencia al aplastamiento de la base de acero y la carga vertical aplicada en el muro fue de 18,5 kN/m.

El modelo del muro consistió en un elemento de tipo membrana que conlleva todos los parámetros y características mecánicas del CLT tipo pino Spruce como material, según lo expuesto en la tesis de Igor Gavric.

Los conectores, hold down y bracket angular, fueron modelados como elementos de tipo “1 joint link”, ingresando las rigideces correspondientes a cada tipo de conector.

El efecto de la fricción fue modelado mediante elementos “Friction Isolator” ingresando los correspondientes coeficientes de roce estático (F_c , Fast 0.5) y dinámico (F_c , Slow 0.25) respectivamente, entre la interfaz muro-base, además de considerar una rigidez inicial de 5kN/mm y un NPR de 0 ya que necesitamos representar la rigidez de forma plana. Estos parámetros se encuentran disponibles en “Properties Used For Nonlinear Analisis Cases”, en SAP2000.v.16.

La figura número 11, ejemplifica la ubicación de estos conectores y fricción.

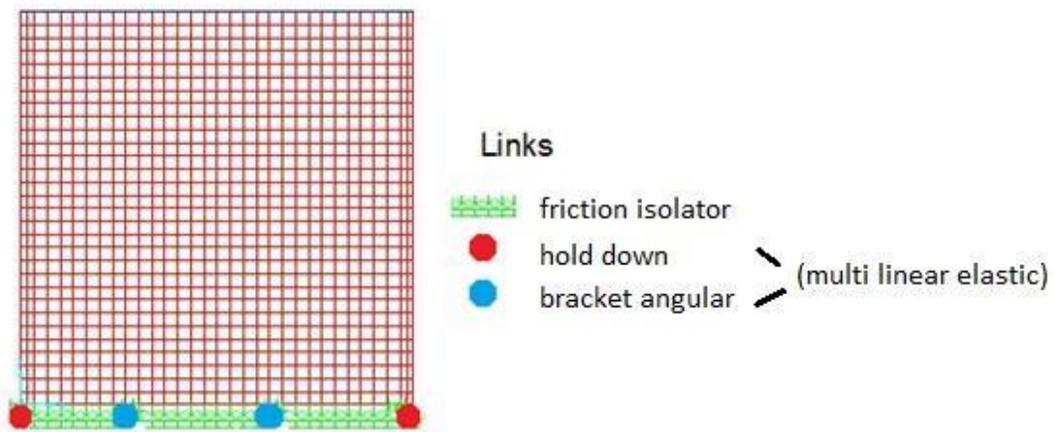


Figura 11. Modelo no lineal con elementos finitos.

Se realizó un análisis pushover controlado por un desplazamiento de 5 milímetros en el borde superior cargado del muro.

Se hicieron variar los valores de fricción utilizados en los elementos “Friction Isolator” hasta lograr la semejanza requerida entre lo modelado y los datos experimentales (Gavric, 2014; Anexo B), y por lo tanto, la validación del modelo no lineal.

Una vez validado el modelo no lineal, se procedió a llevar a cabo la calibración del modelo lineal. El modelo lineal consiste en la adaptación de una misma rigidez tanto a tracción como a compresión para los elementos hold down y bracket angular como muestra la figura 3 vista anteriormente.

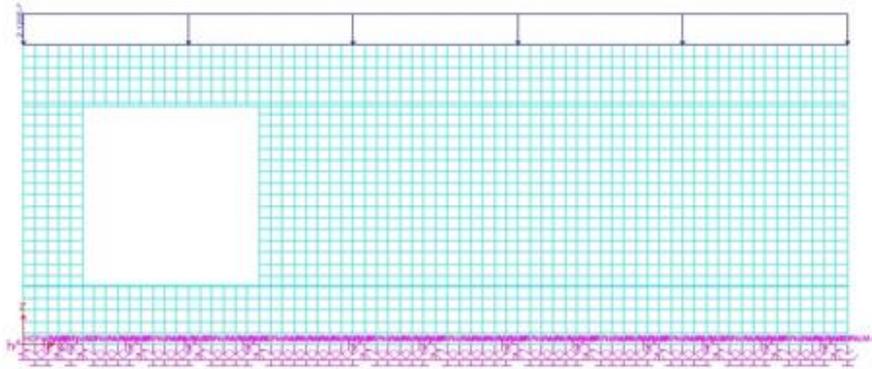
Se incorporaron a las rigideces al corte de los elementos hold down y bracket angular, el aporte generado por la fricción entre la interfaz muro-base, ya que los elementos “Friction Isolator” no son considerados en el modelo lineal.

La calibración se consideró finalizada al obtener para un mismo valor de carga para el desplazamiento de control requerido, tanto en el modelo no lineal como en el lineal (Anexo B).

b. Aplicación a la vivienda CLT de dos pisos.

Todo lo expuesto en el ítem (a) visto anteriormente es el proceso de calibración para la validación del modelo de estudio. Para nuestra vivienda CLT se ocuparon los mismos parámetros provenientes de la fricción, los parámetros que cambian para nuestro estudio son:

- Distinta configuración de aberturas de panel.
- Distinta configuración de las conexiones y valores de estos.
- Distinta carga aplicada sobre el muro.
- Distintas propiedades mecánicas del muro (Pino Radiata).
- Mesh de acuerdo a los requerimientos de las conexiones. (figura 12).



Fuente: Propia.

Figura 12. Calibración de muro vivienda CLT.

Dicho esto se procedió a calibrar cada muro de nuestra vivienda de forma aislada para los ejes 1, 6, A y B del primer y segundo piso respectivamente. Diferencias se encuentran entre modelar conexiones para el primer piso como tanto para el segundo, puesto que la conexión en la fundación típicamente es hormigón – madera, representada en SAP2000 como “Draw 1 join link” y para el segundo piso ya no es así, ya que existe conexión de los elementos del tipo madera – madera, representado a través del comando de SAP2000 , “Draw 2 join link”, ya que une 3 puntos con dos conectores (muro – losa – muro).

Los conectores usados son del modelo WHT540 de la empresa Rothoblass, con valores a la tracción de 4.18 KN/mm y 0.33KN/mm al corte para el conector tipo Hold-Down (especiales para resistir esfuerzos de tracción, figura 13). Para los conectores tipo Bracket (especiales de resistir esfuerzos de corte, figura 14) se poseen valores de 2.09KN/mm y 1.35KN/mm a la tracción y al corte respectivamente. (I. Salazar et al, 2016).

La diferencia Hormigón – Madera y Madera - Madera, influyen directamente en la rigidez de la conexión. La rigidez de los conectores del segundo piso es solo un 75% de la rigidez del primer piso, además de poseer una menor fricción.

Obtenidos cada uno de los modelos lineales, se procede a modelar la estructura en tres dimensiones con la ayuda de SAP2000, en donde cada conexión de los muros CLT posee una rigidez distinta para cada piso.

Los paneles SIP son modelados solo en su primer piso, debido a que de alguna manera ayudan a controlar los desplazamientos verticales y soportar la losa que contribuye por encima de ellos. Para el segundo piso los paneles SIP solo se ingresaron como carga distribuida ya que generan problemas con el mesh tan exhaustivo, pudiendo quedar puntos sueltos.



[Fuente: Rothoblass.

Figura 13. Conectores tipo Hold-Down.



Fuente: Rothoblass.

Figura 14. Conectores tipo Brackets.

3.2. Factores e ingreso de cargas a la vivienda CLT.

3.2.1. Factor de modificación de la respuesta.

Uno de los principales problemas evidenciados, es que no existe el conocimiento suficiente para categorizar a los paneles CLT dentro de la norma NCH433of96, específicamente en el capítulo 5 que trata sobre los valores de modificación de la respuesta estructural.

En la tabla número 5.1 de la NCH433of96, se presentan los parámetros R categorizando automáticamente a los muros CLT en: “cualquier tipo de estructuración o material que no pueda ser clasificado en alguna de las categorías anteriores”, valor igual a dos.

Esto significa que la estructura no está diseñada para disipar energía y se aumentan las cargas sísmicas a través del coeficiente sísmico (véase ecuación 1). R y C (coeficiente sísmico) son inversamente proporcionales.

$$C = \frac{2.75 * S * A_o}{g * R} * \left(\frac{T'}{T^*}\right)^n$$

Fuente: D.S. N°61 of 2011.

Ecuación 1. Coeficiente sísmico.

3.2.2. Tipos de suelos

La norma NCH433of96 en conjunto con el DS61, presentan diferentes tipos de suelos (tabla 3), con los cuales se trabajó con todos los suelos exceptuando el suelo F, ya que es un suelo de muy mala calidad. Además se combinaron estos tipos de suelo con las diferentes zonas sísmicas expuestas en nuestra norma NCH433of96, para la obtención del coeficiente sísmico visto anteriormente para una variedad de combinaciones.

Tabla 3. Parámetros característicos del suelo. DS61.

Tipo de suelo	S	To	T'	n	p
A	0.9	0.15	0.2	1	2
B	1	0.3	0.35	1.33	1.5
C	1.05	0.4	0.45	1.4	1.6
D	1.2	0.75	0.85	1.8	1
E	1.3	1.2	1.35	1.8	1
F	*	*	*	*	*

3.2.3. Ingreso de las cargas de peso propio y sobrecarga.

Como todas las estructuras se le deben agregar los valores de peso propio (carga muerta) si es que algún elemento estructural no se encuentra modelado y necesariamente agregarle el peso de la sobrecarga de uso (carga viva), usando las normativas NCH433 y NCH1537.

Las tablas 4 y 5 muestran los valores de las cargas por metro cuadrado de la sobrecarga de uso y carga de peso propio respectivamente.

Tabla 4. Sobrecarga de uso.

Peso de Sobrecarga de piso (SCP)	Peso SCP
	Kg/m ²
	200
Peso de Sobrecarga de techo (SCTECH)	Peso SCTECH
	Kg/m ²
	53

Nota: la obtención de las cargas de las tablas 4 y 5 se encuentran en el anexo F.

Tabla 5. Cargas de peso propio.

Peso propio Techumbre (PPTCH)	Peso PPTCH
	kg/m ²
M: Cerchas; Cubierta;	58
Peso propio sobre losa (PPSL)	Peso PPSL
	kg/m ²
	120
Peso propio tabiquería (PPTAB)	Peso PPTAB
	Kg/m ²
M: M2x2"; Poliestireno; Clavos; OSB	30
Peso Propio de entramado de cielo (PPETCH)	Peso PPETCH
	Kg/m ²
M: M2x3" ; Poliestireno; Clavos; OSB	40

Nota: Cabe mencionar que no se incluyó la fuerza provocada por el viento, al ser bastante menor a la fuerza que provoca el sismo.

Una vez ingresadas todas las cargas necesarias, se realizan las combinaciones de carga exigidas por la NCH3171, utilizando diseño por tensiones admisibles. La tabla 6 resume las combinaciones comentadas.

Tabla 6. Combinaciones de carga.

N	Dead	Live	Lr	Sx	Sy
1	1	-	-	-	-
2	1	1	-	-	-
3	1	-	1	-	-
4	1	0.75	0.75	-	-
5	1	-	-	1	-
6	1	-	-	-1	-
7	1	-	-	-	1
8	1	-	-	-	-1
9	1	0.75	-	0.75	-
10	1	0.75	-	-0.75	-
11	1	0.75	-	-	0.75
12	1	0.75	-	-	-0.75
13	0.6	-	-	1	-
14	0.6	-	-	-1	-
15	0.6	-	-	-	1
16	0.6	-	-	-	-1

4. RESULTADOS DE LA CALIBRACION PARA LA VIVIENDA CLT.

4.1. Obtención de los valores de rigidez calibrada por piso y elevación.

Un aspecto clave para la calibración de los muros fue la distribución de las fuerzas según el tipo de conexión como se explicó anteriormente. Las conexiones del tipo Hold-down trabajan a tracción y muy poco a compresión es por este motivo que se decidió trabajar con el valor del conector solo en tracción dejando fijo el valor al corte. De forma inversa se realiza el mismo procedimiento para el conector del tipo Bracket, este está fabricado para resistir de mejor forma los esfuerzos provocados por el corte, es por esta razón que solo se trabajara con el valor al corte de la conexión dejando el valor a la tracción constante. En la tabla número 7 se terminara de completar la idea. Se presentan los resultados de la calibración de los muros por nivel y elevación de cada eje, considerando los siguientes aspectos.

- Carga vertical del muro: Carga de peso propio sobre el mismo (KN/m).
- Abertura del muro: Porcentaje de vanos del muro.
- Fuerza de calibración: Fuerza necesaria para igualar el modelo lineal y no lineal en los desplazamientos en SAP2000. (KN).

Tabla 7. Valores calibrados de los conectores HD y BR.

ELEVACION		F. de calibración	Carga del muro	Abertura del muro	HD		BR	
					Tracción	Corte	Tracción	Corte
		KN	KN/m	%	kN/mm	kN/mm	kN/mm	kN/mm
1	1er piso	69	2.12	13%	15.00	0.33	2.09	2.00
	2do piso	31	0.44	20%	6.00	0.24	1.52	1.50
6	1er piso	69	2.12	0%	9.00	0.33	2.09	1.89
	2do piso	48	0.44	0%	9.00	0.24	1.52	1.20
A	1er piso	30	3.99	39%	35.00	0.33	2.09	18.00
	2do piso	46	0.9	29%	13.00	0.24	1.52	1.40
H	1er piso	73	3.99	16%	15.00	0.33	2.09	3.00
	2do piso	53	0.9	7%	8.00	0.24	1.52	1.25
B	1er piso	1.7	12.6	0%	22.00	0.33	2.09	1.70
	-					-	-	

Nota1: Los valores para el primer piso, como para el segundo en Hold-Down y Brackets que permanecen constantes varían según lo expuesto en el ítem 3.11. apartado b).

Nota2: El muro B, por arquitectura solo existe en el primer piso.

4.2. Propuesta de vivienda CLT en 3D.

Para lograr entender al máximo lo que ocurre en profundidad cuando se llevan conexiones del tipo Hold-Down, Brackets y paneles tipo CLT a tres dimensiones (véase figura 16), es que se realiza un estudio que contempla diferentes casos, variando la calidad del suelo, así como las aceleraciones basales del suelo donde está fundada la estructura (zonas sísmicas).

De esta variación de parámetros del suelo (5 suelos diferentes) y aceleraciones basales (3 aceleraciones basales) surgen 15 combinaciones para x e y respectivamente, con el factor de modificación de la respuesta estructural (R) constante e igual a 2.

Estas 15 combinaciones se deben estudiar con las cuatro propuestas de modelos diferentes, estos son:

- Panel ortotrópico de conexiones flexibles.
- Panel isotrópico de conexiones flexibles.
- Panel ortotrópico de conexiones rígidas.
- Panel isotrópico de conexiones rígidas.

La figura 15, ejemplifica la cantidad de modelos a realizar.



Figura 15. Cantidad de modelos a realizar.

Dado que el valor de modificación de respuesta estructural es el menor valor de la tabla 5.1 de la NCH433, esto es porque la estructura se cataloga como una estructura que no puede ser clasificada, adquiriendo el valor de 2. Este valor el cual es inversamente proporcional al coeficiente sísmico, provoca que este último aumente.

Independiente del valor del periodo tanto como para eje x como para eje y el valor de C (coeficiente sísmico) queda condicionado por el máximo valor propuesto por la NCH433, incluso para el caso más favorable, que sería encontrarse en un suelo de muy buena calidad y en zona segura de menor peligro sísmico.

La siguiente tabla muestra los periodos de vibración para cada enfoque de modelo respectivamente.

Tabla 8. Tabla de periodos de los distintos enfoques de modelos

Modelos / Periodos	x (s)	y (s)
Ortotrópico Flexible	0.29	0.32
Ortotrópico Rígido	0.13	0.13
Isotrópico Flexible	0.26	0.3
Isotrópico Rígido	0.09	0.08

Para la obtención de las fuerzas sísmicas se empleó el método estático, ya que se considera más apropiado para estructuras pequeñas.

Como se explicó anteriormente existen 15 combinaciones diferentes, las cuales aún se deben volver a combinar con las diferentes variaciones de rigideces de conexión y panel CLT.

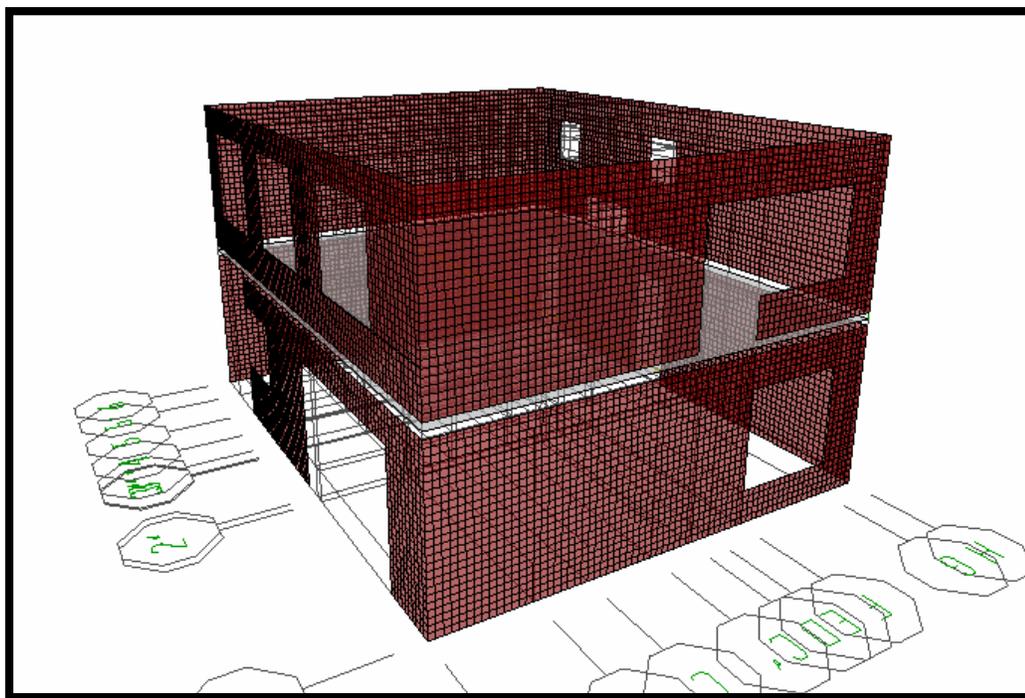


Figura 16. Modelo en SAP2000 de la vivienda CLT.

Para la calibración de los paneles CLT en modo no lineal, se utilizaron valores de módulo de elasticidad de 8400 Mpa obtenidos de la investigación propuesta por los Ingenieros Ignacio Salazar y Nicolás Sáez, (I.Salazar. et al, 2016), que multiplicados por los factores de composición “K” (Blass, 2004), se obtienen los siguientes valores de:

$$E_0 = E * K_3 = 8400 \text{ Mpa} * 0.68 = 5700 \text{ Mpa (vertical)}$$

$$E_{90} = E * K_4 = 8400 \text{ Mpa} * 0.36 = 3000 \text{ Mpa (horizontal)}$$

Los valores obtenidos E_0 y E_{90} son de las fibras paralelas y perpendiculares al eje fuerte respectivamente.

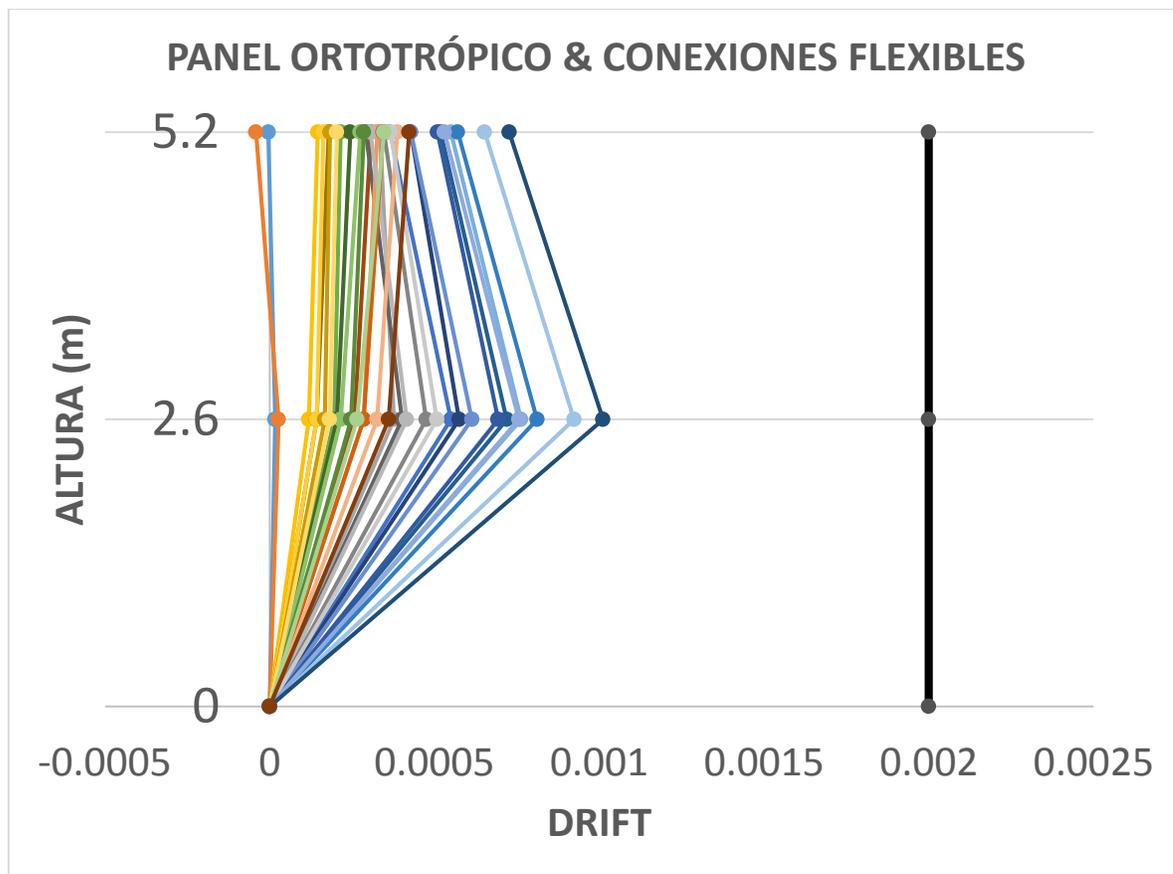
4.2.1. Modelación avanzada de vivienda CLT en 3D.

Este tipo consiste como su nombre lo dice en una modelación avanzada, que consiste en modelar a los paneles CLT de manera ortotrópica y que cada conexión cuente con su rigidez calibrada (flexible) de acuerdo a lo expuesto en la tabla número 7 de esta investigación.

La modelación ortotrópica consiste en darle al panel de madera CLT su condición más cercana a la realidad, considerando que sus propiedades mecánicas varían en torno a sus ejes direccionales principales.

La mejor manera de poder analizar y poder comparar las diferentes estructuras, fue a través del cálculo del Drift, del cual plantea que la diferencia de altura entre piso dividido por la diferencia de desplazamiento de un punto en ambos niveles, no puede ser mayor que 0.002.

El gráfico siguiente muestra el resumen de los análisis para más de 15 estructuras diferentes, medidos en diferentes puntos de la estructura.



Fuente: Propia

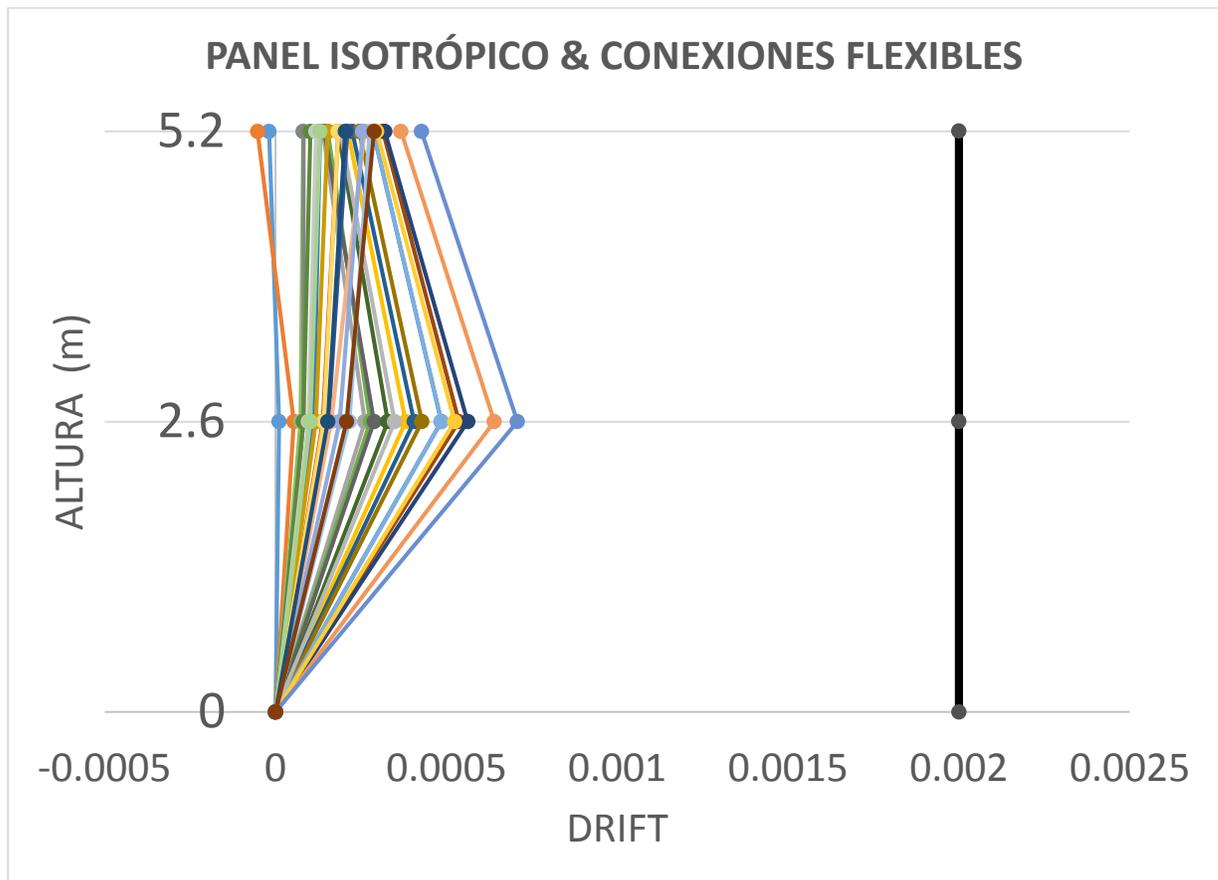
Figura 17. Grafica del Drift modelo avanzado.

4.2.2. Modelación de muros simplificado en vivienda CLT.

Para este tipo de modelación se realizó a diferencia del modelo avanzado, una simplificación del panel CLT cambiando sus propiedades mecánicas de ortotrópicas a isotrópicas, esta simplificación consiste en fusionar los tres módulos de elasticidad obtenidos del método K, por solo un valor obtenido del promedio ponderado de los tres módulos de elasticidad (4.7KN/mm²).

Las conexiones siguen siendo las mismas del modelo avanzado (flexibles).

El grafico siguiente muestra el resumen de los análisis para más de 15 estructuras diferentes, medidos en diferentes puntos de la estructura.



Fuente: Propia

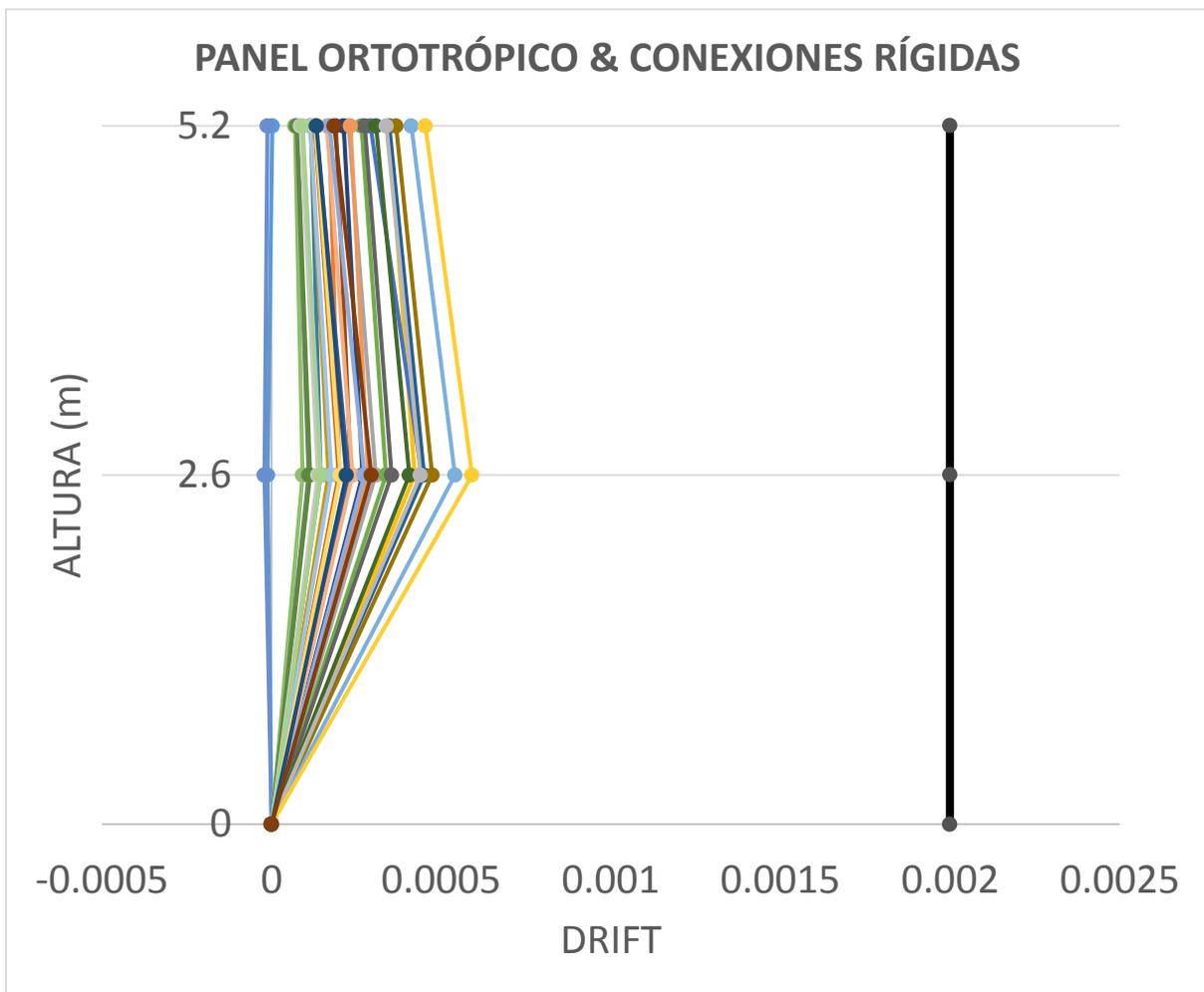
Figura 18. Grafica del Drift de muro simplificado vivienda CLT.

4.2.3. Modelación de conexiones simplificadas en vivienda CLT.

Para este modelo la variación se produce en la rigidez de la conexión, las cuales pasan de tener un valor de calibración obtenido para las condiciones dadas, a tener un valor mil veces más alto en todas sus direcciones principales. Esta condición fue pensada para representar las conexiones rígidas, de la misma forma que se hace modelando las conexiones como apoyadas en la mayoría de los casos.

Las propiedades del panel CLT siguen siendo las mismas del modelo avanzado, ortotrópicas.

El grafico siguiente muestra el resumen de los análisis para más de 15 estructuras diferentes, medidos en diferentes puntos de la estructura.



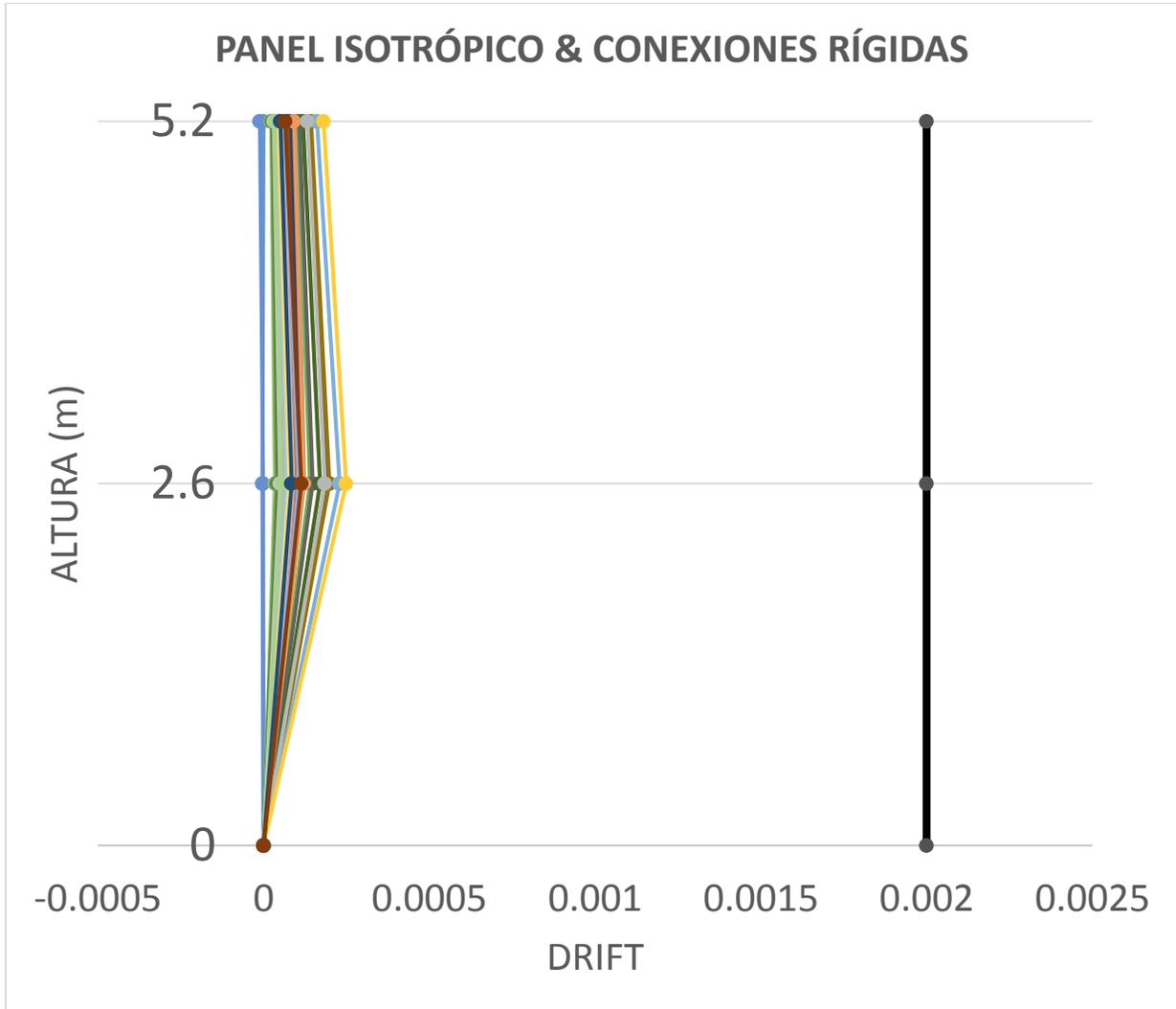
Fuente: Propia

Figura 19. Grafica del Drift de conexión simplificado vivienda CLT.

4.2.4. Modelación simplificada de vivienda CLT.

Para el ultimo y final modelo, se tienen tanto como los paneles CLT modelados de forma simplificada (isotrópicas), como para las conexiones (Rígidas).

Ese modelo tiene algo en común con la modelación 4.22 y 4.23, pero no tiene nada en común con la modelación del apartado 4.21, ya que es su versión simplificada



Fuente: Propia

Figura 20. Grafica del Drift de vivienda CLT simplificada.

Nota1: Para la representación de los gráficos se utilizó la misma escala.

Nota2: La combinación de carga predominante para los modelos es: Dead+0.75Sismo+0.75Live.

4.3. Comparación modelos

Se realizaron comparaciones de diferentes tipos de modelos y suelos para una misma zona sísmica y mismo eje de nuestro caso de estudio. Las figuras 20, 21, 22 y 23. Resumen el trabajo realizado.

Las combinaciones de carga que predominaban

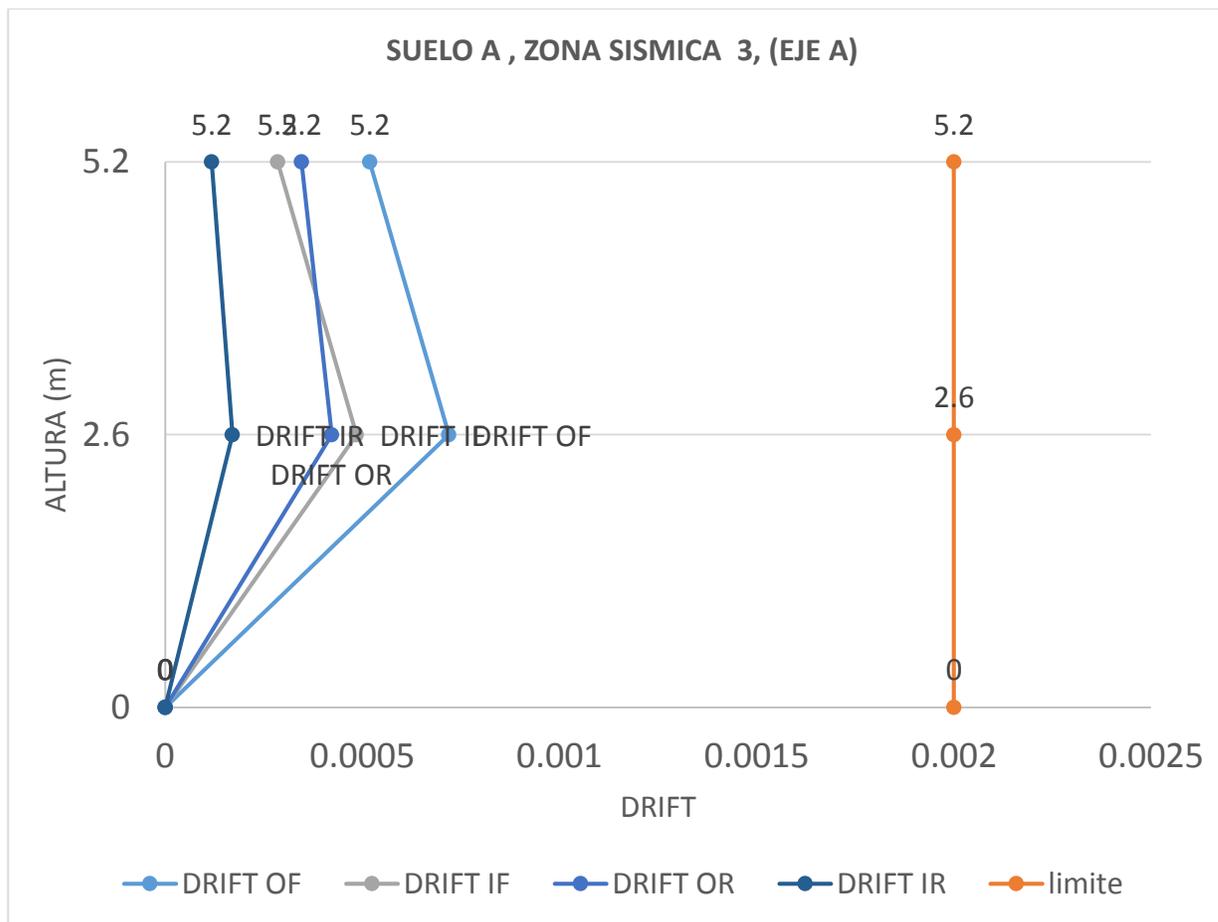


Figura 21. Suelo A, Zona sísmica 3 (eje A).

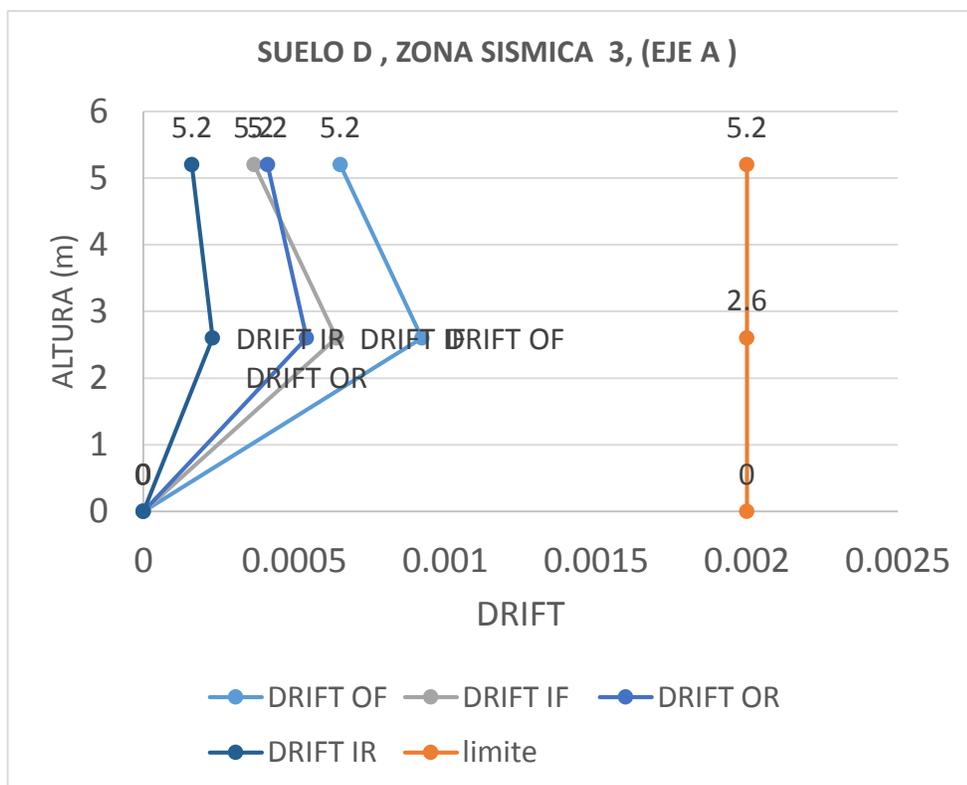


Figura 22. Suelo D, Zona sísmica 3 (eje A).

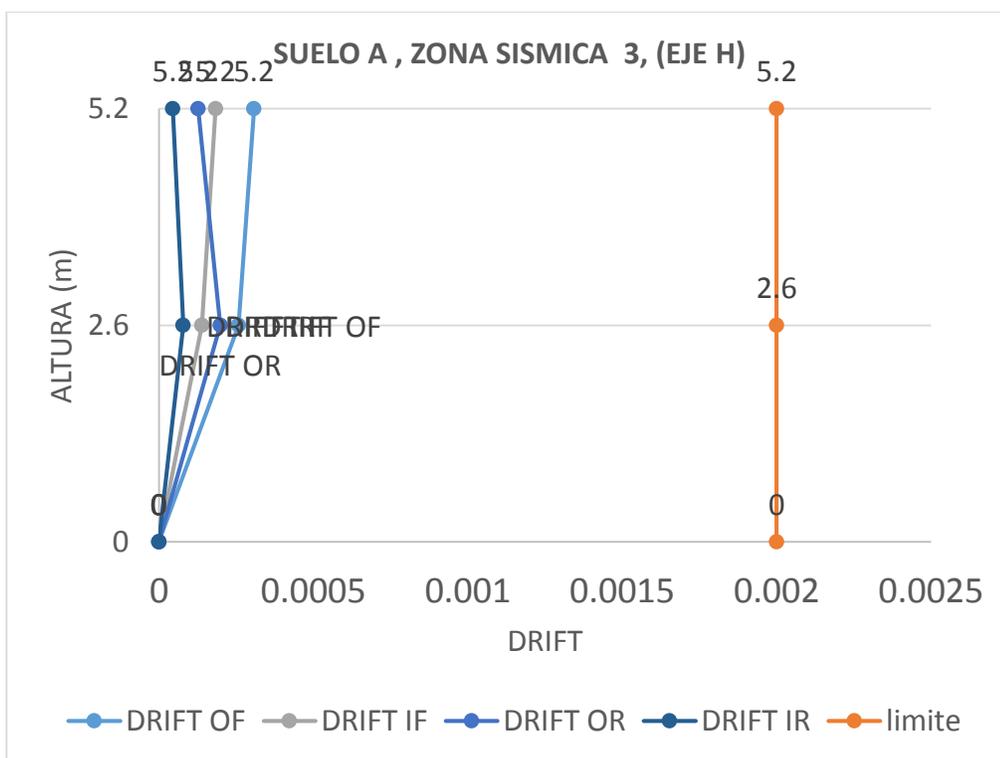


Figura 23. Suelo A, Zona sísmica 3 (eje H).

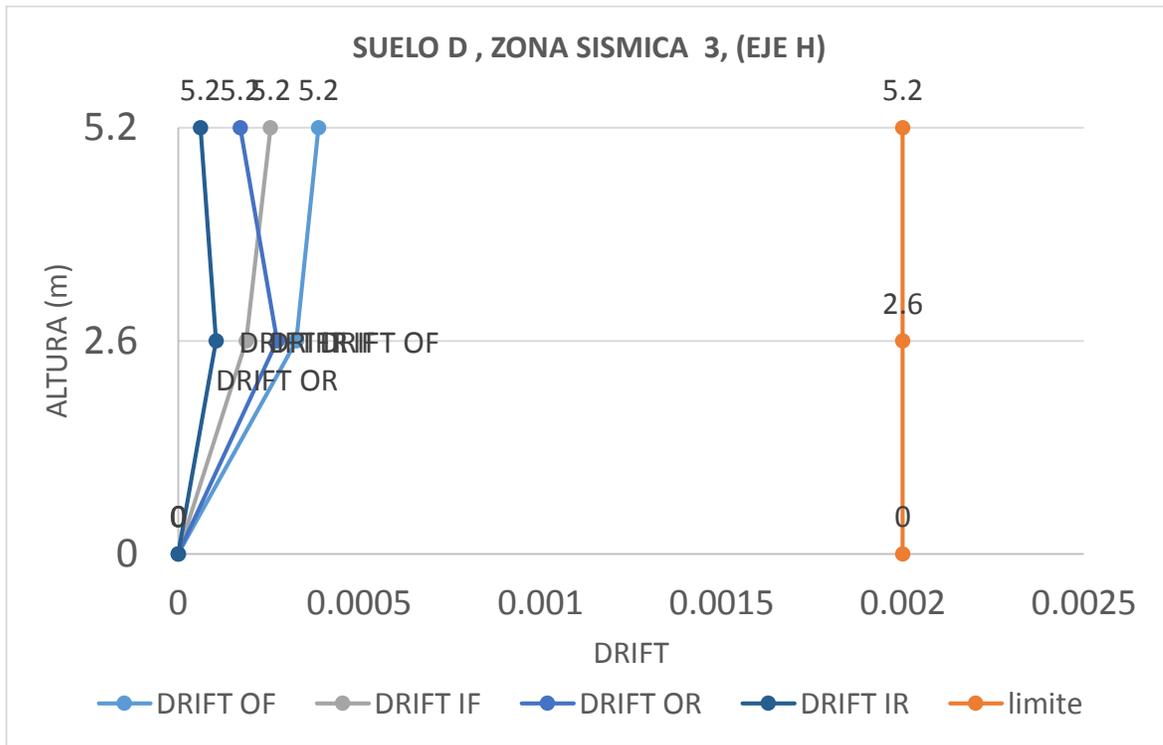


Figura 24. Suelo D, Zona sísmica 3 (eje H).

Donde:

Drift Of: Desplazamiento relativo entre pisos del modelo de panel Ortotrópico de conexiones Flexibles (OF).

Drift If: Desplazamiento relativo entre pisos del modelo de panel Isotrópico de conexiones Flexibles (IF).

Drift Or: Desplazamiento relativo entre pisos del modelo de panel Ortotrópico de conexiones Rígidas (OR).

Drift Ir: Desplazamiento relativo entre pisos del modelo de panel Isotrópico de conexiones Rígidas (IR).

Nota: La combinación de carga predominante para los modelos es: $Dead+0.75Sismo+0.75Live$.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En el presente informe se logró estudiar la influencia de las conexiones de una vivienda CLT, el cual es un caso real de una vivienda ya construida y habitada en la comuna de San Pedro de la Paz.

El estudio se basó en los pocos casos de modelación de estos tipos de estructuras, recopilando información de modelación de losas CLT, paneles CLT, conexiones y ensayos de diferentes autores, la mayoría europeos con investigaciones que provienen desde los últimos años.

Gracias al estudio de las investigaciones pasadas es que se logró calibrar un modelo en 2D el cual se pudo extrapolar a 3D. Obtenido el modelo en 3D se logró representar cada conexión y panel bajo las condiciones de entorno y estructura real, para la cual surgieron cuatro tipos de modelación diferente, la primera modelación es la más innata, la cual surge del solo hecho calibrar los muros y la obtención de los valores de la rigidez de la conexión a la tracción y corte respectivamente, para los paneles CLT se tienen los valores para la condición ortotrópica dada inicialmente donde surge el primer modelo.

El segundo modelo consiste en la simplificación del panel CLT, a través de la ponderación de los valores de los ejes direccionales principales a un valor de panel único (isotrópico) y las conexiones siguen siendo las mismas del modelo avanzado. Este modelo fue pensado para saber si la propiedad del panel tendrá gran influencia en el desplazamiento o no.

El tercer modelo consiste en la simplificación de las conexiones, a través del cambio en la rigidez de la conexión, llevando a un valor 1000 veces más grande al que poseía en cada una de sus direcciones. El modelo a diferencia del anterior fue pensado en que si la conexión tendrá más influencia que el panel o no.

Y como cuarto y último modelo se tiene el simplificado tanto como para panel (isotrópico), como para las conexiones (rígidas). Este modelo fue pensado en el caso de que no se tuviese necesidad de pasar por los demás anteriores para modelar una vivienda de forma correcta.

Al momento de analizar los modelos y comparar el comportamiento de cada modelo a través del Drift los cambios fueron significativos unos de otros.

Para el primer caso comparativo se tiene el modelo avanzado versus el modelo isotrópico de conexiones flexibles, del cual se puede decir que existe una reducción del 25% aproximado en el desplazamiento relativo entrepisos con respecto al modelo avanzado.

Para la primera comparación se puede decir que a modo de simplificación es poco relevante en temas de tiempo cambiar un parámetro relacionado con el panel, ya que solo depende de un par de opciones que demoran pocos minutos, pero aun dicho esto se obtienen números relativamente buenos.

Para la segunda comparación tenemos el modelo avanzado versus el modelo ortotrópico de conexiones rígidas. Para esta comparación se tiene que en este modelo existe una reducción del 50% aproximado en el desplazamiento relativo entrepisos con respecto al modelo avanzado.

Este grave descenso de los porcentajes se debe a que es muy influyente modelar las conexiones de forma flexible a rígida.

Para la tercera y última comparación se tiene el modelo avanzado nuevamente versus el modelo simplificado de panel isotrópico y conexiones rígidas. Del cual se puede decir que existe una reducción del 75% aproximado en el desplazamiento relativo entrepisos con respecto al modelo avanzado.

Los valores obtenidos de la última comparación son demasiado bajos si se quisiera modelar algún tipo de estructura de forma simplificada en CLT, lo que traería consecuencias gravísimas al subestimar periodos de vibración y considerar estructuras más rígidas de lo que son.

Para la comparación de los modelos para un mismo tipo de suelo pero en diferente zona sísmica se tiene que independiente de la calidad del suelo, los desplazamientos relativos entrepisos siguen siendo muy similares. Existe alrededor de un 10% de reducción en los Drift para el caso donde se posee una mejor calidad de suelo.

Lo anterior nos lleva a tener en cuenta que la modelación de las estructuras CLT queda principalmente definida por la modelación de sus paneles y conexiones que la componen.

El estudio finaliza con la afirmación del estudio realizado por I.Sustersic, B. Dujic y M. Fragiacomio en donde ellos hablan que al rigidizar las conexiones se provoca una disminución en los periodos de vibración , aumentando el corte en la base y disminuyendo los desplazamientos. (Figura N4). (I.Sustersic et al, 2014).

5.2. Recomendaciones y futuras líneas de investigación.

Dado el alto costo computacional provocado por la ejecución del Software SAP2000 para la modelación de una estructura de dos pisos, es que se recomienda para estructuras de mayor envergadura realizar un mesh lo más grande que se pueda, considerando como se dijo anteriormente que cada conexión tiene que ir sujeta por una línea de mesh, si no el conector quedaría suelto.

Para la modelación de estructuras de baja altura, no superior a dos pisos, se propone que la estructura sea modelada como avanzada, panel ortotrópico y conexiones rígidas ya que esto no sería tanto trabajo, como si lo sería un modelo de un edificio de varios pisos.

En general no se recomienda utilizar este método de investigación, ya que influyen una serie de variables que no se tienen claras en su totalidad y se necesita de calibraciones que posiblemente puedan contener errores que llevarían a nuestro proyecto a arrojar resultados erróneos.

Por lo anterior se propone como futura línea de investigación el trabajo de un método simplificado con las características del panel, a través de un factor que pueda considerar el efecto de las conexiones y del mismo CLT en conjunto.

Creación de un software destinado 100% al CLT y sus conexiones, donde exista un catálogo programado con cada una de las conexiones y paneles CLT, donde se le entregue condiciones de entorno, como el peso, porcentaje de abertura, cargas etc.

6. BIBLIOGRAFÍA

- (1) Ignacio Salazar; Nicolás Sáez (2016). Propuesta de Modelación y Verificación Estructural de Elementos CLT. Tesis. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad Del Bío-Bío. Concepción.
- (2) Igor Gavric (2012). Seismic Behaviour of cross-laminated timber buildings. Universita Degli Studi Di Trieste.
- (3) Iztok Sustersic; Massimo Fragiaco; and Bruno Dujic. Seismic Analysis of Cross-Laminated Multistory Timber Buildings Using Code-Prescribed Methods: Influence of Panel Size, Connection Ductility, and Schematization. (2015).
- (4) Bruno Dujic. Influence of Openings on Shear Capacity of Woden Walls. (2007).
- (5) Iztok Sustersic; Massimo Fragiaco; and Bruno Dujic. Influence of the Connection Behaviour on the Seismic Resistance of Multi-Story Crosslam Buildings (2012).
- (6) Sylvain Gagnon, Ciprian Pirvu. CLT Handbook Canada, FP Innovations (2011)
- (7) Erol Karacabeyli CLT Handbook USA, FP Innovations (2013).
- (8) Sustersic, Dujic, Fragiaco. Influence of the connection modelling on the seismic behaviour of crosslam timber buildings (2014).
- (9) Blass y Fellmoser, Design of solid wood panels with cross layers (2004).
- (10) Rinaldin, Amadio, Fragiaco. A component approach for the hysteretic behaviour of connections in cross-laminated wooden structures. (2013).
- (11) SAP2000, versión 16.0: Analysis reference manual. Computer and Estructures Inc. 2013.
- (12) Instituto nacional de normalización (INN). Nch 1198-2014: Madera – Construcción en madera – Cálculo. Santiago, INN Chile.
- (13) Instituto nacional de normalización (INN). Nch 3171-2010: Diseño Estructural Cálculo. Combinaciones de Carga. Santiago, INN Chile.
- (14) Instituto nacional de normalización (INN). Nch 433-2011: Diseño sísmico de edificios. Santiago, INN Chile.

7. ANEXOS

INDICE GENERAL DE ANEXOS

ANEXO A.....	42
ANEXO B.....	44
ANEXO C.....	47
ANEXO D.....	58
ANEXO E.....	64
ANEXO F.....	80

INDICE DE TABLAS DE ANEXOS

Tabla B1. Valores de calibración para la modelación.....	45
Tabla B2. Valores de fricción SAP2000.	45
Tabla B3. Valores de rigidez modelo no lineal.....	46
Tabla B4. Valores de rigidez modelo lineal.....	46
Tabla B5. Valores obtenidos por la calibración.....	46
Tabla C1. Rigideces iniciales de conectores no lineales.....	47
Tabla C2. Valores de fricción relación Hormigón - Madera en SAP2000.....	47
Tabla C3. Valores de fricción relación Madera - Madera en SAP2000.....	47
Tabla C4. Valores de desplazamientos para la modelación no lineal.....	48
Tabla C5. Valores de desplazamientos calibrados.....	48
Tabla C6. Valores de rigideces de los conectores.....	48
Tabla C7. Valores de desplazamientos para la modelación no lineal.....	49
Tabla C8. Valores de desplazamientos calibrados.....	49
Tabla C9. Valores de rigideces de los conectores.....	49
Tabla C10. Valores de desplazamientos para la modelación no lineal.....	50
Tabla C11. Valores de desplazamientos calibrados.....	50
Tabla C12. Valores de rigideces de los conectores.....	50
Tabla C13. Valores de desplazamientos para la modelación no lineal.....	51

Tabla C14. Valores de desplazamientos calibrados.....	51
Tabla C15. Valores de rigideces de los conectores.....	51
Tabla C16. Valores de desplazamientos para la modelación no lineal.....	52
Tabla C17. Valores de desplazamientos calibrados.....	52
Tabla C18. Valores de rigideces de los conectores.....	52
Tabla C19. Valores de desplazamientos para la modelación no lineal.....	53
Tabla C20. Valores de desplazamientos calibrados.....	53
Tabla C21. Valores de rigideces de los conectores.....	53
Tabla C22. Valores de desplazamientos para la modelación no lineal.....	54
Tabla C23. Valores de desplazamientos calibrados.....	54
Tabla C24. Valores de rigideces de los conectores.....	54
Tabla C25. Valores de desplazamientos para la modelación no lineal.....	55
Tabla C26. Valores de desplazamientos calibrados.....	55
Tabla C27. Valores de rigideces de los conectores.....	55
Tabla C28. Valores de desplazamientos para la modelación no lineal.....	56
Tabla C29. Valores de desplazamientos calibrados.....	56
Tabla C30. Valores de rigideces de los conectores.....	56
Tabla C31. Resumen de valores de calibración de muros CLT.....	57
Tabla D1. Corte basal de vivienda CLT para diferentes suelos (1).....	58
Tabla D2. Coeficientes de corte en la base (1).....	59
Tabla D3. Corte basal de vivienda CLT para diferentes suelos (2).....	60
Tabla D4. Coeficientes de corte en la base (2).....	61
Tabla D5. Corte basal de vivienda CLT para diferentes suelos (3).....	62
Tabla D6. Coeficientes de corte en la base (3).....	63
Tabla E1. Suelo A, Aceleración Basal 0.2.....	64
Tabla E2. Suelo A, Aceleración Basal 0.2.....	67
Tabla E3. Suelo A, Aceleración Basal 0.2.....	68
Tabla E4. Suelo A, Aceleración Basal 0.2.....	71

Tabla E5. Suelo A, Aceleración Basal 0.2.....	72
Tabla E6. Suelo A, Aceleración Basal 0.2.....	75
Tabla E7. Suelo A, Aceleración Basal 0.2.....	76
Tabla E8. Suelo A, Aceleración Basal 0.2.....	79
Tabla F1. Sobrecargas de uso.....	80
Tabla F2. Pesos propios.....	81

INDICE DE FIGURAS DE ANEXOS

Figura B1. Carga vs Desplazamiento en el borde superior cargado.....	44
Figura B2. Carga vs Levantamiento en la base del muro.....	44
Figura B3. Carga vs Deslizamiento en la base del muro.....	45
Figura C1. Calibración EJE 6 primer piso.....	48
Figura C2. Calibración EJE 6 segundo piso.....	49
Figura C3. Calibración EJE 1 primer piso.....	50
Figura C4. Calibración EJE 1 segundo piso.....	51
Figura C5. Calibración EJE A primer piso.....	52
Figura C6. Calibración EJE A segundo piso.....	53
Figura C7. Calibración EJE H primer piso.....	54
Figura C8. Calibración EJE H segundo piso.....	55
Figura C9. Calibración EJE B primer piso.....	56
Figura D1. Parámetros SAP para el corte en la base.....	59
Figura F1. Modelación de la techumbre en Ram Elements.....	80

ANEXO A

CALCULO DE LOS MODULOS DE ELASTICIDAD APLICANDO EL METODO K

a) Módulos de elasticidad para calibración de Gavric.

El valor del módulo de elasticidad de la madera Pino Spruce utilizada por Gavric, posee un valor de 11000 MPA, los cuales multiplicados por los factores K3 y K4 se obtienen los modelos para las direcciones principales.

Condiciones:

$$E_0 = 11000 \text{ MPA}$$

$$E_{90} = E_0 / 30 = 367 \text{ MPA}$$

$$m = 3$$

$$K_3 = 1 - \left(1 - \frac{E_{90}}{E_0}\right) * \frac{a_{m-2} - a_{m-4} + \dots \pm a_1}{a_m}$$

$$K_3 = 1 - \left(1 - \frac{367}{11000}\right) * \frac{(51 - 17)}{85} = 0.61$$

$$K_4 = \frac{E_{90}}{E_0} + \left(1 - \frac{E_{90}}{E_0}\right) * \frac{a_{m-2} - a_{m-4} + \dots \pm a_1}{a_m}$$

$$K_4 = \frac{280}{9600} + \left(1 - \frac{367}{11000}\right) * \frac{(51 - 17)}{85} = 0.42$$

Por lo tanto los módulos de elasticidad para el modelo de calibración de Gavric quedan como:

$$E_0 = 11000 * K_3 = 11000 * 0.61 = 6710 \text{ MPA}$$

$$E_{90} = 11000 * K_4 = 11000 * 0.42 = 4620 \text{ MPA}$$

b) Módulos de elasticidad para calibración Vivienda CLT.

El valor del módulo de elasticidad de la madera Pino Radiata utilizada en nuestra calibración, posee un valor de 8400 MPA, los cuales multiplicados por los factores K3 y K4 se obtienen los modelos para las direcciones principales.

Condiciones:

$$E_0 = 8400 \text{ MPA}$$

$$E_{90} = E_0 / 30 = 280 \text{ MPA}$$

$$m = 3$$

$$K_3 = 1 - \left(1 - \frac{E_{90}}{E_0}\right) * \frac{a_{m-2} - a_{m-4} + \dots \pm a_1}{a_m}$$

$$K_3 = 1 - \left(1 - \frac{280}{8400}\right) * \frac{30}{90} = 0.68$$

$$K_4 = \frac{E_{90}}{E_0} + \left(1 - \frac{E_{90}}{E_0}\right) * \frac{a_{m-2} - a_{m-4} + \dots \pm a_1}{a_m}$$

$$K_4 = \frac{280}{9600} + \left(1 - \frac{280}{8400}\right) * \frac{30}{90} = 0.36$$

Por lo tanto los módulos de elasticidad para nuestra calibración quedan como:

$$E_0 = 8400 * K_3 = 8400 * 0.68 = 6710 \text{ MPA}$$

$$E_{90} = 8400 * K_4 = 8400 * 0.36 = 4620 \text{ MPA}$$

ANEXO B

DATOS EXPERIMENTALES Y CALIBRACIÓN MURO 1.1 IGOR GAVRIC

Curva de histéresis y puntos de control para la validación del modelo.

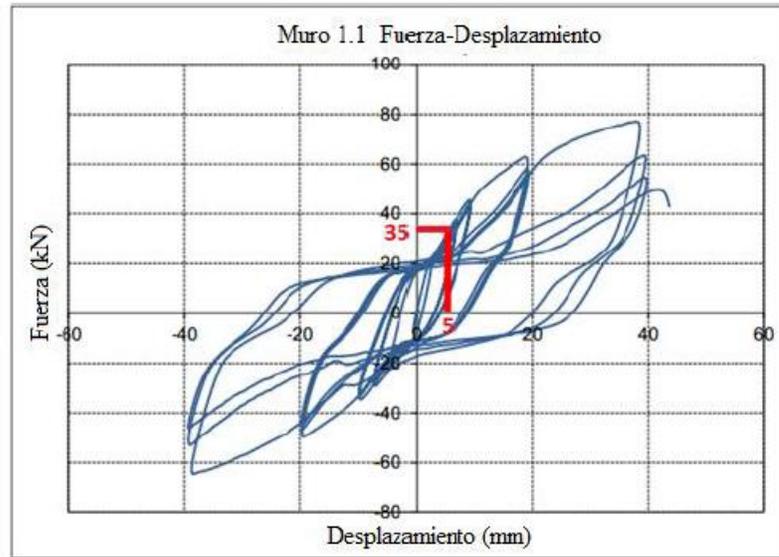


Figura B1. Carga vs Desplazamiento en el borde superior cargado.

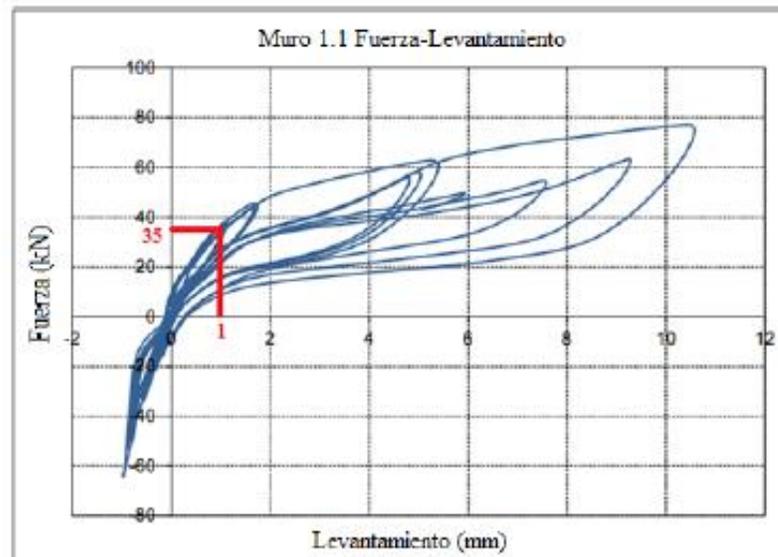


Figura B2. Carga vs Levantamiento en la base del muro.

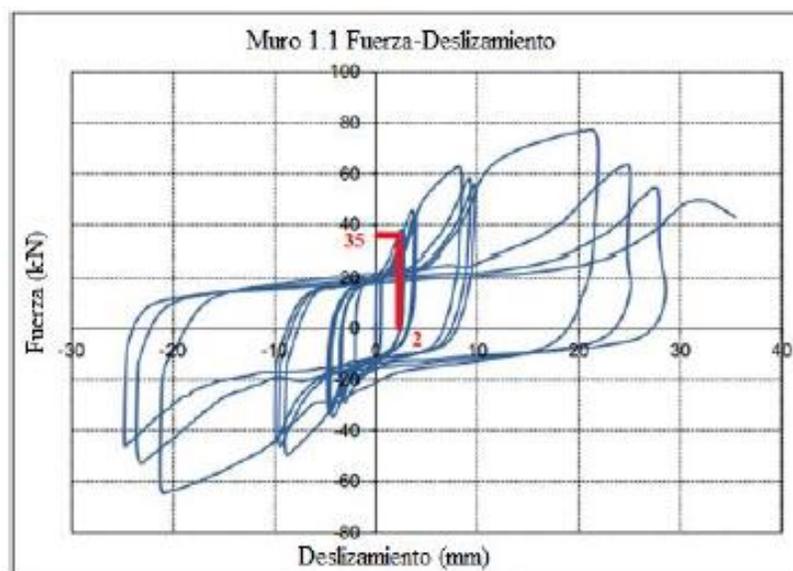


Figura B3. Carga vs Deslizamiento en la base del muro.

Los siguientes valores provienen de los gráficos de los ensayos de Gavric para la calibración del muro 1.1, a los cuales debemos llegar.

Tabla A1. Valores de calibración para la modelación

CARGA	SUPERIOR	INFERIOR	VERTICAL INFERIOR
35 KN	5 mm	2 mm	1 mm

Tabla A2. Valores de fricción SAP2000.

FRICCIÓN	CORTE	TRACCIÓN / COMPRESIÓN
Rigidez (KN/mm)	5	100000
Fc, Slow	0.5	-
Fc, Fast	0.25	-
NPR	0	-

MODELO NO LINEAL

Tabla A3. Valores de rigidez modelo no lineal

TIPO DE CONECTOR	RIGIDEZ TRACCION (KN/mm)	Rigidez Corte (KN/mm)
HOLD DOWN	4.82	0.99
BRACKETS ANGULAR	2.76	1.78

MODELO LINEAL

Tabla A4. Valores de rigidez modelo lineal

TIPO DE CONECTOR	RIGIDEZ TRACCION (KN/mm)	Rigidez Corte (KN/mm)
HOLD DOWN	36.78	4.25
BRACKETS ANGULAR	12.06	13.73

Tabla A5. Valores obtenidos por la calibración

CARGA	SUPERIOR	INFERIOR	VERTICAL INFERIOR
35 KN	4.7 mm	1.4 mm	0.95 mm

ANEXO C

CALIBRACION DE LOS MUROS DE LA VIVIENDA CLT

Se calibraron un total de 8 muros aislado, considerando las condiciones de entorno, para los cuales se obtuvo una fuerza de calibración, valores de rigideces de conexiones y desplazamientos.

Para todas las calibraciones siguientes se tiene que los valores de los Hold-Down y Brackets iniciales son:

Tabla C1. Rigideces iniciales de conectores no lineales

RIGIDECES	HOLD-DOWN	BRACKET
Tracción (KN/mm)	4.18	2.09
Compresión (KN/mm)	39000	39000
Corte (KN/mm)	0.33	1.35

Tabla C2. Valores de fricción relación Hormigón - Madera en SAP2000.

FRICCIÓN H-M	CORTE	TRACCIÓN / COMPRESIÓN
Rigidez (KN/mm)	5	100000
Fc, Slow	0.5	-
Fc, Fast	0.25	-
NPR	0	-

Tabla C3. Valores de fricción relación Madera - Madera en SAP2000

FRICCIÓN M-M	CORTE	TRACCIÓN / COMPRESIÓN
Rigidez (KN/mm)	5	100000
Fc, Slow	0.35	-
Fc, Fast	0.2	-
NPR	0	-

EJE 6 PRIMER PISO

MODELACIÓN NO LINEAL

Tabla C4. Valores de desplazamientos para la modelación no lineal

CARGA	SUPERIOR	INFERIOR	VERTICAL INFERIOR
69 KN	5 mm	3.7 mm	2.5 mm

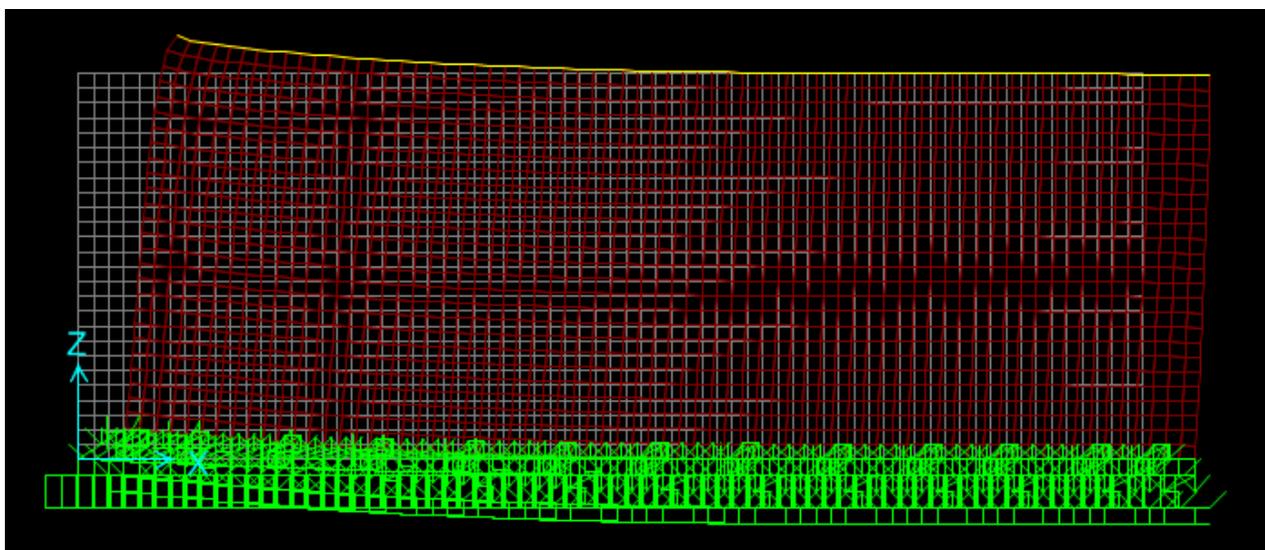


Figura C1. Calibración EJE 6 primer piso.

MODELACIÓN LINEAL

Tabla C5. Valores de desplazamientos calibrados

CARGA	SUPERIOR	INFERIOR	VERTICAL INFERIOR
69 KN	5.2 mm	3.68 mm	2.12 mm

Tabla C6. Valores de rigideces de los conectores

TIPO DE CONECTOR	RIGIDEZ TRACCION (KN/mm)	Rigidez Corte (KN/mm)
Hold Down	9	0.33
Brackets angular	2.09	1.89

EJE 6 SEGUNDO PISO

MODELACIÓN NO LINEAL

Tabla C7. Valores de desplazamientos para la modelación no lineal

CARGA	SUPERIOR	INFERIOR	VERTICAL INFERIOR
48 KN	4.9 mm	3.7 mm	2.6 mm

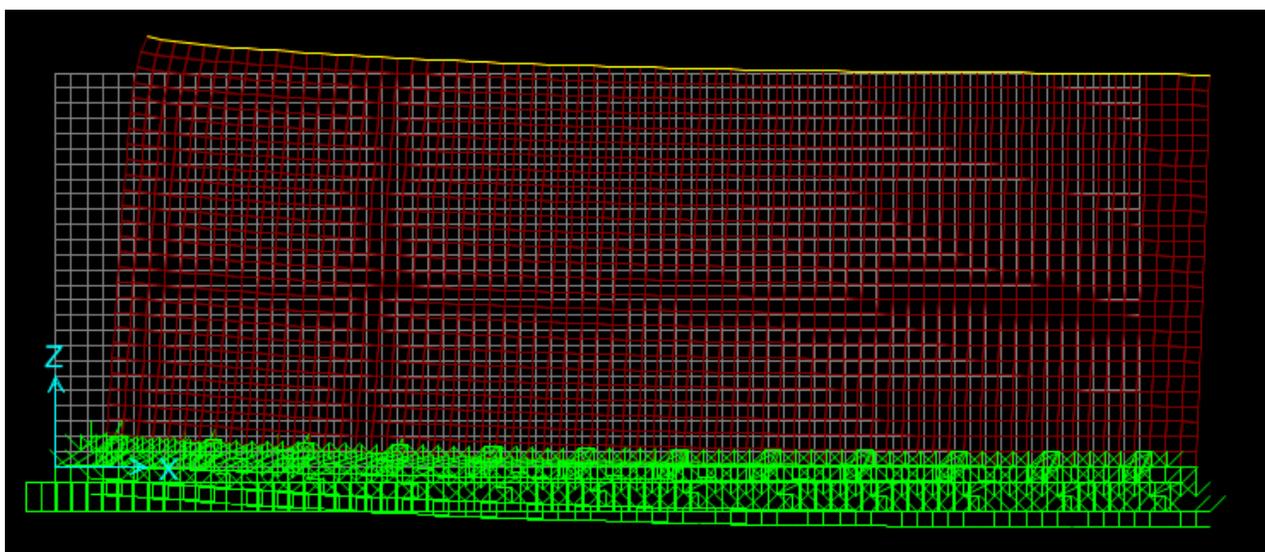


Figura C2. Calibración EJE 6 segundo piso.

MODELACIÓN LINEAL

Tabla C8. Valores de desplazamientos calibrados

CARGA	SUPERIOR	INFERIOR	VERTICAL INFERIOR
48 KN	5.5 mm	4 mm	2.9 mm

Tabla C9. Valores de rigideces de los conectores

TIPO DE CONECTOR	RIGIDEZ TRACCION (KN/mm)	Rigidez Corte (KN/mm)
Hold Down	9	0.33
Brackets angular	1.52	1.2

EJE 1 PRIMER PISO.

MODELACIÓN NO LINEAL

Tabla C10. Valores de desplazamientos para la modelación no lineal

CARGA	SUPERIOR	INFERIOR	VERTICAL INFERIOR
69 KN	4.9 mm	3.5 mm	1.27 mm

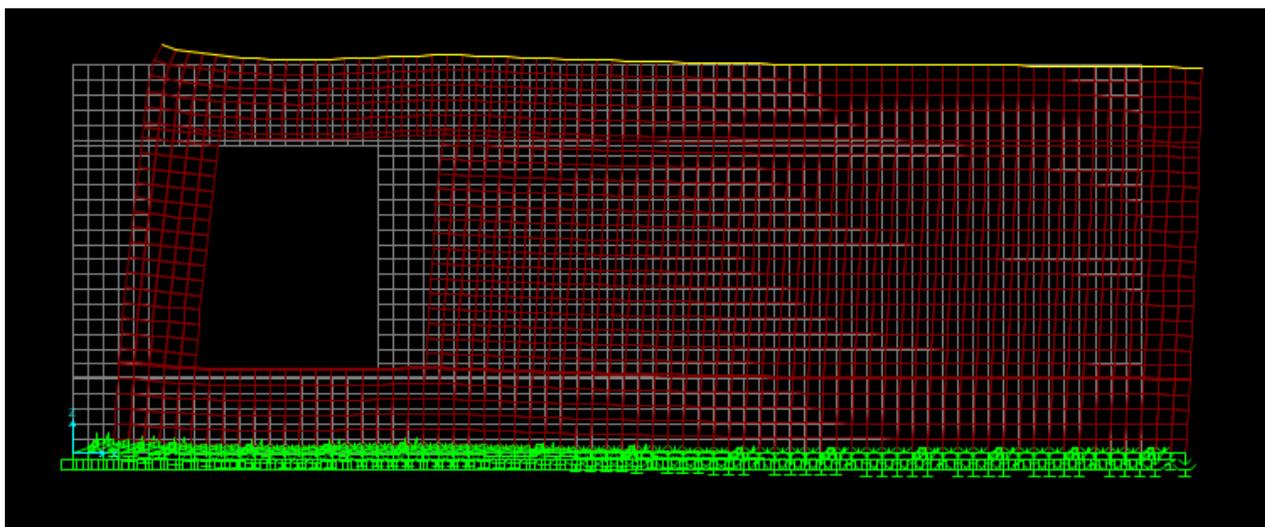


Figura C3. Calibración EJE 1 primer piso.

MODELACIÓN LINEAL

Tabla C11. Valores de desplazamientos calibrados

CARGA	SUPERIOR	INFERIOR	VERTICAL INFERIOR
69 KN	5.3 mm	3.4 mm	0.7 mm

Tabla C12. Valores de rigideces de los conectores

TIPO DE CONECTOR	RIGIDEZ TRACCION (KN/mm)	Rigidez Corte (KN/mm)
Hold Down	15	0.33
Brackets angular	2.09	2

EJE 1 SEGUNDO PISO.

MODELACIÓN NO LINEAL

Tabla C13. Valores de desplazamientos para la modelación no lineal

CARGA	SUPERIOR	INFERIOR	VERTICAL INFERIOR
31 KN	4.9 mm	3.75 mm	0.9 mm

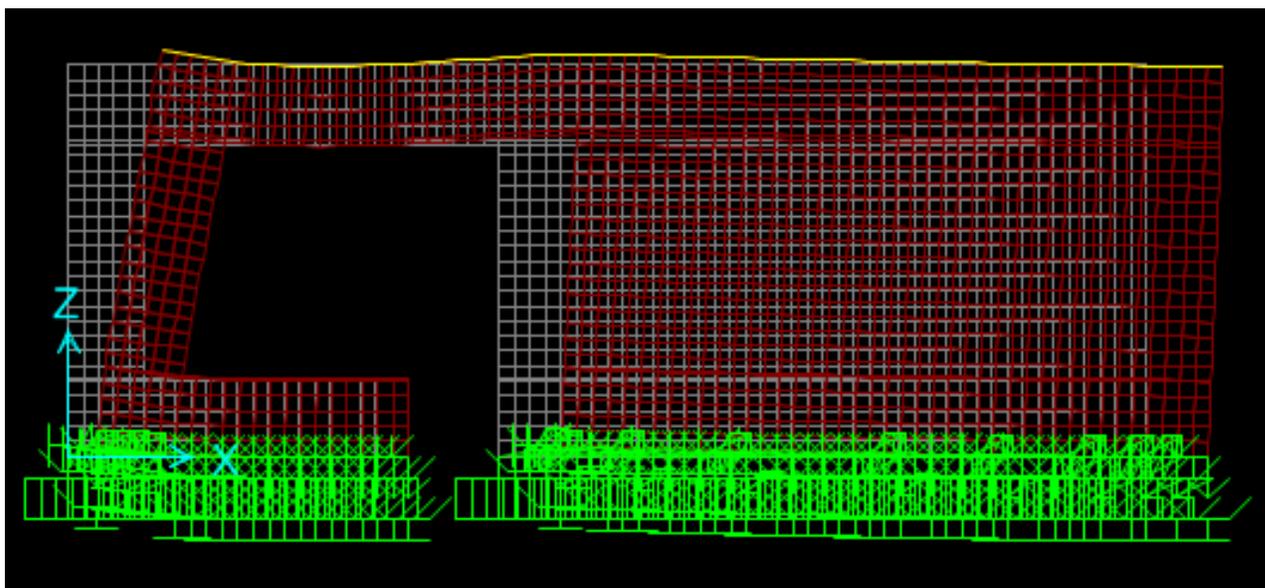


Figura C4. Calibración EJE 1 segundo piso.

MODELACIÓN LINEAL

Tabla C14. Valores de desplazamientos calibrados

CARGA	SUPERIOR	INFERIOR	VERTICAL INFERIOR
31 KN	5.3 mm	3.5 mm	0.7 mm

Tabla C15. Valores de rigideces de los conectores

TIPO DE CONECTOR	RIGIDEZ TRACCION (KN/mm)	Rigidez Corte (KN/mm)
Hold Down	6	0.24
Brackets angular	1.52	1.5

EJE A PRIMER PISO.

MODELACIÓN NO LINEAL

Tabla C16. Valores de desplazamientos para la modelación no lineal

CARGA	SUPERIOR	INFERIOR	VERTICAL INFERIOR
30 KN	5 mm	1.8 mm	1.8 mm

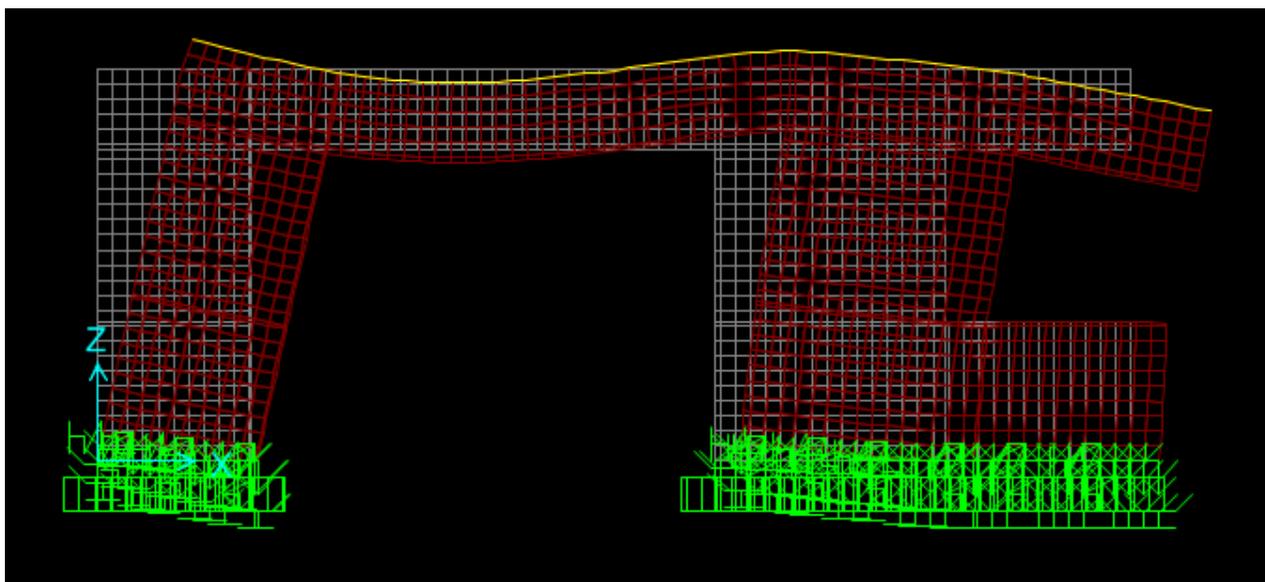


Figura C5. Calibración EJE A primer piso.

MODELACIÓN LINEAL

Tabla C17. Valores de desplazamientos calibrados

CARGA	SUPERIOR	INFERIOR	VERTICAL INFERIOR
30 KN	4.95 mm	0.35 mm	0.4 mm

Tabla C18. Valores de rigideces de los conectores

TIPO DE CONECTOR	RIGIDEZ TRACCION (KN/mm)	Rigidez Corte (KN/mm)
Hold Down	35	0.33
Brackets angular	2.09	18

EJE A SEGUNDO PISO.

MODELACIÓN NO LINEAL

Tabla C19. Valores de desplazamientos para la modelación no lineal

CARGA	SUPERIOR	INFERIOR	VERTICAL INFERIOR
46 KN	4.93 mm	2.7 mm	1.5 mm

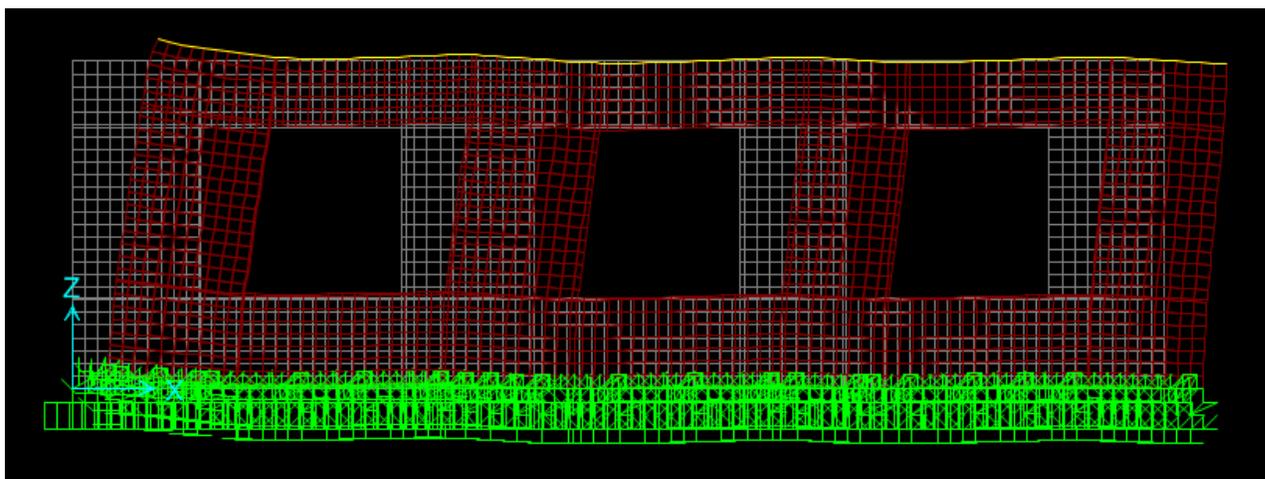


Figura C6. Calibración EJE A segundo piso.

MODELACIÓN LINEAL

Tabla C20. Valores de desplazamientos calibrados

CARGA	SUPERIOR	INFERIOR	VERTICAL INFERIOR
46 KN	4.91 mm	2.88 mm	2.65 mm

Tabla C21. Valores de rigideces de los conectores

TIPO DE CONECTOR	RIGIDEZ TRACCION (KN/mm)	Rigidez Corte (KN/mm)
Hold Down	13	0.24
Brackets angular	1.52	1.4

EJE H PRIMER PISO.

MODELACIÓN NO LINEAL

Tabla C22. Valores de desplazamientos para la modelación no lineal

CARGA	SUPERIOR	INFERIOR	VERTICAL INFERIOR
73 KN	5.2 mm	3.5 mm	3.2 mm

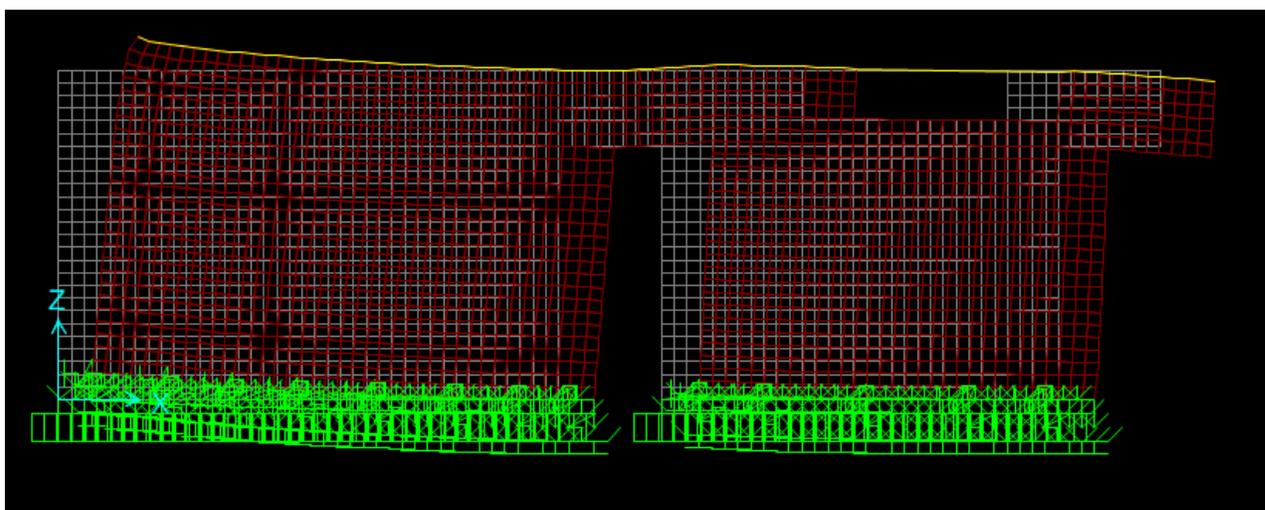


Figura C7. Calibración EJE H primer piso.

MODELACIÓN LINEAL

Tabla C23. Valores de desplazamientos calibrados

CARGA	SUPERIOR	INFERIOR	VERTICAL INFERIOR
73 KN	5 mm	2.7 mm	2.46 mm

Tabla C24. Valores de rigideces de los conectores

TIPO DE CONECTOR	RIGIDEZ TRACCION (KN/mm)	Rigidez Corte (KN/mm)
Hold Down	15	0.33
Brackets angular	2.09	3

EJE H SEGUNDO PISO.

MODELACIÓN NO LINEAL

Tabla C25. Valores de desplazamientos para la modelación no lineal

CARGA	SUPERIOR	INFERIOR	VERTICAL INFERIOR
53 KN	4.9 mm	4.2 mm	2 mm

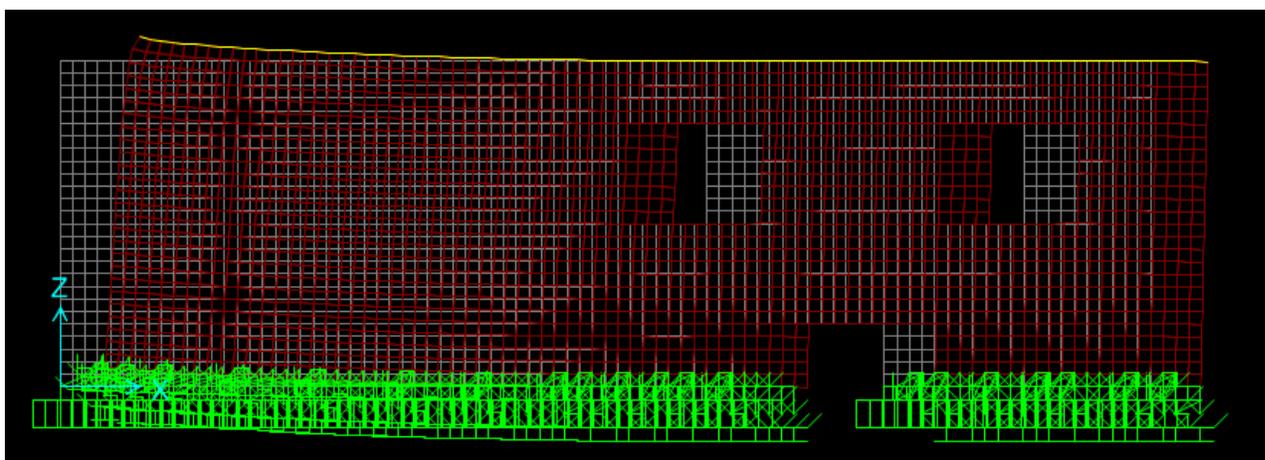


Figura C8. Calibración EJE H segundo piso.

MODELACIÓN LINEAL

Tabla C26. Valores de desplazamientos calibrados

CARGA	SUPERIOR	INFERIOR	VERTICAL INFERIOR
73 KN	5 mm	2.7 mm	2.46 mm

Tabla C27. Valores de rigideces de los conectores

TIPO DE CONECTOR	RIGIDEZ TRACCION (KN/mm)	Rigidez Corte (KN/mm)
Hold Down	8	0.24
Brackets angular	1.52	1.25

EJE B PRIMER PISO.

MODELACIÓN NO LINEAL

Tabla C28. Valores de desplazamientos para la modelación no lineal

CARGA	SUPERIOR	INFERIOR	VERTICAL INFERIOR
1.7 KN	5 mm	0.51 mm	0.8 mm

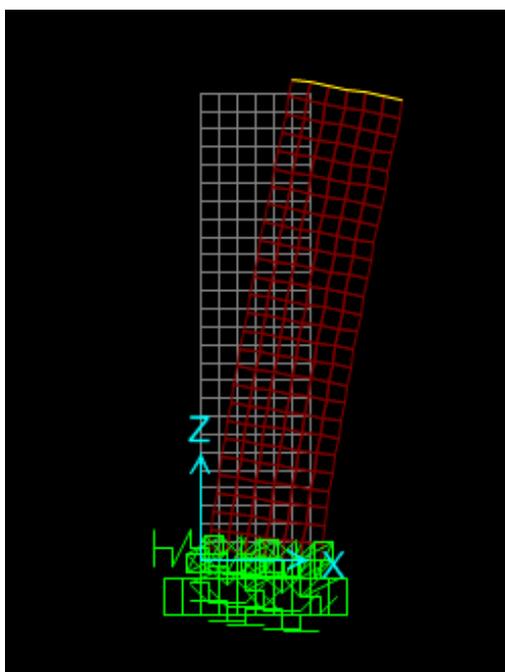


Figura C9. Calibración EJE B primer piso.

MODELACIÓN LINEAL

Tabla C29. Valores de desplazamientos calibrados

CARGA	SUPERIOR	INFERIOR	VERTICAL INFERIOR
1.7 KN	5.2 mm	0.7 mm	0.2 mm

Tabla C30. Valores de rigideces de los conectores

TIPO DE CONECTOR	RIGIDEZ TRACCION (KN/mm)	Rigidez Corte (KN/mm)
Hold Down	22	0.33
Brackets angular	2.09	1.7

Tabla C31. Resumen de valores de calibración de muros CLT.

ELEVACION		F. de calibración	Carga del muro	Abertura del muro	HD		BR	
					TRACCIÓN	CORTE	TRACCIÓN	CORTE
		KN	KN/m	%	kN/mm	kN/mm	kN/mm	kN/mm
1	1er piso	69	2.12	13%	15	0.33	2.09	2
	2do piso	31	0.44	20%	6	0.24	1.52	1.5
6	1er piso	69	2.12	0%	9	0.33	2.09	1.89
	2do piso	48	0.44	0%	9	0.24	1.52	1.2
A	1er piso	30	3.99	39%	35	0.33	2.09	18
	2do piso	46	0.9	29%	13	0.24	1.52	1.4
H	1er piso	73	3.99	16%	15	0.33	2.09	3
	2do piso	53	0.9	7%	8	0.24	1.52	1.25
B	1er piso	1.7	12.6	0%	22	0.33	2.09	1.7
	-					-	-	

ANEXO D

CALCULO DEL CORTE BASAL Y FUERZAS SISMICAS POR PISO

Se realizaron diferentes combinaciones, para diferentes tipos de suelo y aceleraciones basales.

a) Condiciones:

$A_0 = 0.2 ; R = 2 ; I = 1$

Tabla D1. Corte basal de vivienda CLT para diferentes suelos (1)

Tipo de suelo	A	B	C	D	E
S	0.90	1.00	1.05	1.20	1.30
To	0.15	0.30	0.40	0.75	1.20
T'	0.20	0.35	0.45	0.85	1.35
n	1.00	1.33	1.40	1.80	1.80
p	2.00	1.50	1.60	1.00	1.00
R	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
T*X(s)	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
T*Y(s)	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
Ao	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
CX	0.17	0.35	0.53	2.29	5.70
CminX	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04
CmaxX	0.16	0.18	0.19	0.22	0.23
CfinalX	0.16	0.18	0.19	0.22	0.23
Cy	0.15	0.31	0.47	1.92	4.77
CminY	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04
CmaxY	0.16	0.18	0.19	0.22	0.23
CfinalY	0.15	0.18	0.19	0.22	0.23
Peso (T)	32.41	32.41	32.41	32.41	32.41
I	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Qo=C*I*P	5.25	5.83	6.12	7.00	7.58

Tabla D2. Coeficientes de corte en la base (1)

Tipo de suelo	A	B	C	D	E
Peso (1) T	20.61	20.61	20.61	20.61	20.61
Peso (2) T	9.19	9.19	9.19	9.19	9.19
H	5.08	5.08	5.08	5.08	5.08
Zk	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54
Ak(1)	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
Ak(2)	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71
Fk(1) Ton	2.53	2.81	2.95	3.37	3.65
Fk(2) Ton	2.72	3.02	3.18	3.63	3.93
X (m)	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50
Y (m)	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
Excen	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
eX (m)	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
eY (m)	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
Coe. Corte 1er piso	0.12	0.14	0.14	0.16	0.18
Coe. Corte 2do piso	0.36	0.39	0.41	0.47	0.51

Nota: Los valores de los coeficientes del primer y segundo piso fueron ingresados al programa SAP2000 los cuales poseen la misma masa.

La siguiente figura muestra la dirección en la cual se aplica el sismo, su excentricidad con respecto al centro, la altura a la cual se aplica el valor del coeficiente.

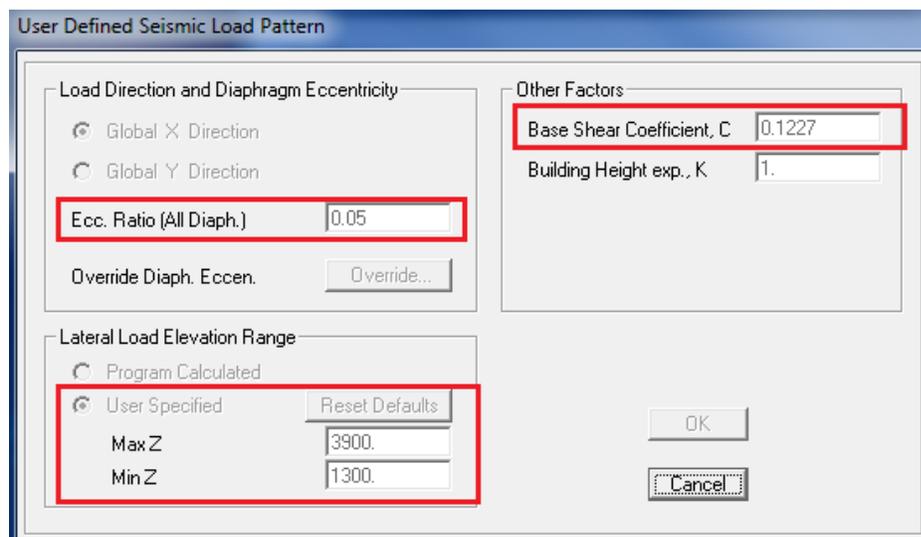


Figura D1. Parámetros SAP para el corte en la base.

b) Condiciones:

$$A_0 = 0.3 ; R = 2 ; I = 1$$

Tabla D3. Corte basal de vivienda CLT para diferentes suelos (2)

Tipo de suelo	A	B	C	D	E
S	0.90	1.00	1.05	1.20	1.30
To	0.15	0.30	0.40	0.75	1.20
T'	0.20	0.35	0.45	0.85	1.35
n	1.00	1.33	1.40	1.80	1.80
p	2.00	1.50	1.60	1.00	1.00
R	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
T*X(s)	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
T*Y(s)	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
Ao	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
CX	0.26	0.53	0.80	3.43	8.54
CminX	0.05	0.05	0.05	0.06	0.07
CmaxX	0.24	0.27	0.28	0.32	0.35
CfinalX	0.24	0.27	0.28	0.32	0.35
Cy	0.23	0.46	0.70	2.87	7.16
CminY	0.05	0.05	0.05	0.06	0.07
CmaxY	0.24	0.27	0.28	0.32	0.35
CfinalY	0.23	0.27	0.28	0.32	0.35
Peso (T)	32.41	32.41	32.41	32.41	32.41
I	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Qo=C*I*P	7.87	8.75	9.19	10.50	11.37

Tabla D4. Coeficientes de corte en la base (2)

Tipo de suelo	A	B	C	D	E
Peso (1) T	20.61	20.61	20.61	20.61	20.61
Peso (2) T	9.19	9.19	9.19	9.19	9.19
H	5.08	5.08	5.08	5.08	5.08
Zk	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54
Ak(1)	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
Ak(2)	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71
Fk(1) Ton	3.79	4.21	4.42	5.06	5.48
Fk(2) Ton	4.08	4.54	4.76	5.44	5.90
X (m)	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50
Y (m)	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
Excen	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
eX (m)	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
eY (m)	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
Coe. Corte 1er piso	0.18	0.20	0.21	0.25	0.27
Coe. Corte 2do piso	0.53	0.59	0.62	0.71	0.77

c) Condiciones:

$$A_0 = 0.4 ; R = 2; I = 1$$

Tabla D5. Corte basal de vivienda CLT para diferentes suelos (3)

Tipo de suelo	A	B	C	D	E
S	0.90	1.00	1.05	1.20	1.30
To	0.15	0.30	0.40	0.75	1.20
T'	0.20	0.35	0.45	0.85	1.35
n	1.00	1.33	1.40	1.80	1.80
p	2.00	1.50	1.60	1.00	1.00
R	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
T*X(s)	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
T*Y(s)	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
Ao	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
CX	0.34	0.71	1.07	4.57	11.39
CminX	0.06	0.07	0.07	0.08	0.09
CmaxX	0.32	0.36	0.38	0.43	0.47
CfinalX	0.32	0.36	0.38	0.43	0.47
Cy	0.31	0.62	0.93	3.83	9.54
CminY	0.06	0.07	0.07	0.08	0.09
CmaxY	0.32	0.36	0.38	0.43	0.47
CfinalY	0.31	0.36	0.38	0.43	0.47
Peso (T)	32.41	32.41	32.41	32.41	32.41
I	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Qo=C*I*P	10.50	11.67	12.25	14.00	15.17

Tabla D6. Coeficientes de corte en la base (3)

Tipo de suelo	A	B	C	D	E
Peso (1) T	20.61	20.61	20.61	20.61	20.61
Peso (2) T	9.19	9.19	9.19	9.19	9.19
H	5.08	5.08	5.08	5.08	5.08
Zk	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54
Ak(1)	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
Ak(2)	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71
Fk(1) Ton	5.06	5.62	5.90	6.74	7.30
Fk(2) Ton	5.44	6.05	6.35	7.26	7.86
X (m)	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50
Y (m)	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
Excen	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
eX (m)	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
eY (m)	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
Coe. Corte 1er piso	0.25	0.27	0.29	0.33	0.35
Coe. Corte 2do piso	0.71	0.79	0.83	0.95	1.03

ANEXO E

CALCULO DE DRIFT

a) PANEL ORTOTROPICO VS CONEXIÓN FLEXIBLE

Tabla E1. Suelo A, Aceleración Basal 0.2

				X				
		mm	Eje A	Eje H	Drift	Drift	verificación	verificación
			punto	punto				
S=A	1	2600	4.57	3.78	0.00033	0.00015	CUMPLE	CUMPLE
	2		3.7	3.4				
Ao=0.2	3	2600	1.02	0.7	0.00038	0.00012	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.04	0.39				

				X				
		mm	Eje A	Eje H	Drift	Drift	verificación	verificación
			punto	punto				
S=A	1	2600	6.8	5.7	0.00037	0.00022	CUMPLE	CUMPLE
	2		5.85	5.14				
Ao=0.3	3	2600	1.56	1.12	0.00055	0.00020	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.13	0.61				

				X				
		mm	Eje A	Eje H	Drift	Drift	verificación	verificación
			punto	punto				
S=A	1	2600	9.2	7.6	0.00052	0.00031	CUMPLE	CUMPLE
	2		7.85	6.8				
Ao=0.4	3	2600	2.09	1.5	0.00072	0.00026	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.22	0.83				

				X				
		mm	Eje A	Eje H	Drift	Drift	verificacion	verificacion
			punto	punto				
S=B	1	2600	5.088	4.24	0.00029	0.00018	CUMPLE	CUMPLE
	2		4.3301	3.7736				
Ao=0.2	3	2600	1.1501	0.8268	0.00040	0.00014	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.106	0.4558				

				X				
		mm	Eje A punto	Eje H punto	Drift	Drift	verificación	verificación
S=B	1	2600	7.579	6.307	0.00043	0.00024	CUMPLE	CUMPLE
	2		6.466	5.671				
Ao=0.3	3	2600	1.696	1.219	0.00057	0.00020	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.2014	0.689				

				X				
		mm	Eje A punto	Eje H punto	Drift	Drift	verificación	verificación
S=B	1	2600	10.123	8.427	0.00055	0.00033	CUMPLE	CUMPLE
	2		8.692	7.579				
Ao=0.4	3	2600	2.279	1.643	0.00076	0.00029	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.2968	0.901				

				X				
		mm	Eje A punto	Eje H punto	Drift	Drift	verificación	verificación
S=C	1	2600	5.3	4.399	0.00031	0.00016	CUMPLE	CUMPLE
	2		4.505	3.975				
Ao=0.2	3	2600	1.1978	0.848	0.00042	0.00014	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.1166	0.477				

				X				
		mm	Eje A punto	Eje H punto	Drift	Drift	verificación	verificación
S=C	1	2600	7.95	6.6515	0.00043	0.00028	CUMPLE	CUMPLE
	2		6.837	5.936				
Ao=0.3	3	2600	1.8126	1.2932	0.00061	0.00022	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.2173	0.7314				

				X				
		mm	Eje A punto	Eje H punto	Drift	Drift	verificación	verificación
S=C	1	2600	10.6	8.8881	0.00057	0.00034	CUMPLE	CUMPLE
	2		9.116	7.9924				
Ao=0.4	3	2600	2.4274	1.7331	0.00081	0.00029	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.318	0.9911				

				X				
		mm	Eje A punto	Eje H punto	Drift	Drift	verificación	verificación
S=D	1	2600	6.042	5.035	0.00035	0.00018	CUMPLE	CUMPLE
	2		5.141	4.558				
Ao=0.2	3	2600	1.378	0.9858	0.00047	0.00017	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.1431	0.5512				

				X				
		mm	Eje A punto	Eje H punto	Drift	Drift	verificación	verificación
S=D	1	2600	9.116	7.579	0.00051	0.00029	CUMPLE	CUMPLE
	2		7.791	6.837				
Ao=0.3	3	2600	2.067	1.484	0.00069	0.00025	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.265	0.8427				

				X				
		mm	Eje A punto	Eje H punto	Drift	Drift	verificación	verificación
S=D	1	2600	12.137	10.123	0.00065	0.00039	CUMPLE	CUMPLE
	2		10.441	9.116				
Ao=0.4	3	2600	2.7772	1.9822	0.00092	0.00033	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.3763	1.1342				

			X					
		mm	Eje A	Eje H	Drift	Drift	verificación	verificación
			punto	punto				
S=E	1	2600	6.572	5.459	0.00037	0.00020	CUMPLE	CUMPLE
	2		5.618	4.929				
Ao=0.2	3	2600	1.484	1.0706	0.00051	0.00018	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.1643	0.5989				

			X					
		mm	Eje A	Eje H	Drift	Drift	verificación	verificación
			punto	punto				
S=E	1	2600	9.858	8.321	0.00053	0.00035	CUMPLE	CUMPLE
	2		8.48	7.42				
Ao=0.3	3	2600	2.2525	1.59	0.00076	0.00027	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.2862	0.901				

			X					
		mm	Eje A	Eje H	Drift	Drift	verificación	verificación
			punto	punto				
S=E	1	2600	13.31	11.1	0.00073	0.00042	CUMPLE	CUMPLE
	2		11.42	10				
Ao=0.4	3	2600	3	2.17	0.00101	0.00036	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.37	1.23				

Tabla E2. Suelo A, Aceleración Basal 0.2

			Y					
		mm	Eje 1	Eje 6	Drift	Drift	verificación	verificación
			punto	punto				
S=A	1	2600	-0.13	-0.15	-0.00001	-0.00004	CUMPLE	CUMPLE
	2		-0.11	-0.05				
Ao=0.2	3	2600	-0.01	0.33	0.00002	0.00013	CUMPLE	CUMPLE
	4		-0.07	0.005				

NOTA: dada la similitud de los valores de los ejes 1 y 6, se decidió colocar solo una tabla para la primera aceleración del suelo.

b) PANEL ISOTROPICO VS CONEXIONES FLEXIBLES

Tabla E3. Suelo A, Aceleración Basal 0.2

				X				
		mm	Eje A	Eje H	Drift	Drift	verificación	verificación
			punto	punto				
S=A	1	2600	3.66	3.18	0.00014	0.00008	CUMPLE	CUMPLE
	2		3.3	2.97				
Ao=0.2	3	2600	0.7	0.62	0.00026	0.00007	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.02	0.43				

				X				
		mm	Eje A	Eje H	Drift	Drift	verificación	verificación
			punto	punto				
S=A	1	2600	5.55	4.84	0.00021	0.00013	CUMPLE	CUMPLE
	2		5	4.5				
Ao=0.3	3	2600	1.09	0.96	0.00038	0.00011	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.1	0.67				

				X				
		mm	Eje A	Eje H	Drift	Drift	verificación	verificación
			punto	punto				
S=A	1	2600	7.42	6.466	0.00029	0.00018	CUMPLE	CUMPLE
	2		6.678	5.989				
Ao=0.4	3	2600	1.5105	1.2879	0.00049	0.00014	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.2491	0.9275				

				X				
		mm	Eje A	Eje H	Drift	Drift	verificación	verificación
			punto	punto				
S=B	1	2600	4.1075	3.551	0.00015	0.00008	CUMPLE	CUMPLE
	2		3.71	3.339				
Ao=0.2	3	2600	0.8162	0.7102	0.00028	0.00008	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.0954	0.4982				

				X				
		mm	Eje A punto	Eje H punto	Drift	Drift	verificación	verificación
S=B	1	2600	6.148	5.3795	0.00022	0.00015	CUMPLE	CUMPLE
	2		5.565	4.982				
Ao=0.3	3	2600	1.2455	1.0706	0.00041	0.00012	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.1908	0.7632				

				X				
		mm	Eje A punto	Eje H punto	Drift	Drift	verificación	verificación
S=B	1	2600	8.2362	7.208	0.00031	0.00021	CUMPLE	CUMPLE
	2		7.42	6.6621				
Ao=0.4	3	2600	1.6854	1.431	0.00054	0.00015	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.2915	1.0282				

				X				
		mm	Eje A punto	Eje H punto	Drift	Drift	verificación	verificación
S=C	1	2600	4.24	3.7365	0.00014	0.00010	CUMPLE	CUMPLE
	2		3.869	3.4715				
Ao=0.2	3	2600	0.8533	0.742	0.00029	0.00008	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.10388	0.53				

				X				
		mm	Eje A punto	Eje H punto	Drift	Drift	verificación	verificación
S=C	1	2600	6.466	6.6515	0.00024	0.00028	CUMPLE	CUMPLE
	2		5.83	5.936				
Ao=0.3	3	2600	1.325	1.2932	0.00043	0.00022	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.212	0.7314				

			X					
		mm	Eje A	Eje H	Drift	Drift	verificación	verificación
			punto	punto				
S=C	1	2600	8.6496	7.579	0.00032	0.00026	CUMPLE	CUMPLE
	2		7.8175	6.9006				
Ao=0.4	3	2600	1.7702	1.5052	0.00056	0.00016	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.3074	1.0812				

			X					
		mm	Eje A	Eje H	Drift	Drift	verificación	verificación
			punto	punto				
S=D	1	2600	4.9078	4.2824	0.00018	0.00012	CUMPLE	CUMPLE
	2		4.4308	3.975				
Ao=0.2	3	2600	0.9858	0.848	0.00033	0.00010	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.1325	0.5989				

			X					
		mm	Eje A	Eje H	Drift	Drift	verificación	verificación
			punto	punto				
S=D	1	2600	7.42	6.466	0.00029	0.00018	CUMPLE	CUMPLE
	2		6.678	5.989				
Ao=0.3	3	2600	1.5105	1.2879	0.00049	0.00014	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.2491	0.9222				

			X					
		mm	Eje A	Eje H	Drift	Drift	verificación	verificación
			punto	punto				
S=D	1	2600	9.911	8.6655	0.00037	0.00025	CUMPLE	CUMPLE
	2		8.957	8.003				
Ao=0.4	3	2600	2.0352	1.7278	0.00064	0.00019	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.371	1.2402				

				X				
		mm	Eje A punto	Eje H punto	Drift	Drift	verificación	verificación
S=E	1	2600	5.3	4.6481	0.00019	0.00013	CUMPLE	CUMPLE
	2		4.8071	4.3089				
Ao=0.2	3	2600	1.06	0.9222	0.00035	0.00010	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.1537	0.6572				

				X				
		mm	Eje A punto	Eje H punto	Drift	Drift	verificación	verificación
S=E	1	2600	8.0295	7.0225	0.00030	0.00020	CUMPLE	CUMPLE
	2		7.261	6.4925				
Ao=0.3	3	2600	1.643	1.3992	0.00052	0.00015	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.2809	1.0017				

				X				
		mm	Eje A punto	Eje H punto	Drift	Drift	verificación	verificación
S=E	1	2600	10.81	9.45	0.00040	0.00029	CUMPLE	CUMPLE
	2		9.76	8.7				
Ao=0.4	3	2600	2.2	1.88	0.00071	0.00021	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.36	1.34				

Tabla E4. Suelo A, Aceleración Basal 0.2

				Y				
		mm	Eje 1 punto	Eje 6 punto	Drift	Drift	verificación	verificación
S=A	1	2600	-0.13	-0.14	-0.00002	-0.00005	CUMPLE	CUMPLE
	2		-0.08	-0.0034				
Ao=0.2	3	2600	-0.03	0.08	0.00001	0.00005	CUMPLE	CUMPLE
	4		-0.057	-0.06				

NOTA: dada la similitud de los valores de los ejes 1 y 6, se decidió colocar solo una tabla para la primera aceleración del suelo.

c) PANEL ORTOTROPICO VS CONEXIONES RIGIDAS

Tabla E5. Suelo A, Aceleración Basal 0.2

				X				
		mm	Eje A	Eje H	Drift	Drift	verificación	verificación
			punto	punto				
S=A	1	2600	1.24	0.79	0.00017	0.00007	CUMPLE	CUMPLE
	2		0.8	0.61				
Ao=0.2	3	2600	0.52	0.24	0.00020	0.00009	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.0008	0.0021				

				X				
		mm	Eje A	Eje H	Drift	Drift	verificación	verificación
			punto	punto				
S=A	1	2600	1.8	1.2	0.00023	0.00012	CUMPLE	CUMPLE
	2		1.21	0.9				
Ao=0.3	3	2600	0.8	0.38	0.00031	0.00015	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.0017	0.003				

				X				
		mm	Eje A	Eje H	Drift	Drift	verificación	verificación
			punto	punto				
S=A	1	2600	2.5	1.63	0.00035	0.00013	CUMPLE	CUMPLE
	2		1.6	1.3				
Ao=0.4	3	2600	1.1	0.52	0.00042	0.00020	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.0026	0.0039				

				X				
		mm	Eje A	Eje H	Drift	Drift	verificación	verificación
			punto	punto				
S=B	1	2600	5.088	0.901	0.00029	0.00007	CUMPLE	CUMPLE
	2		4.3301	0.7102				
Ao=0.2	3	2600	1.1501	0.2862	0.00044	0.00011	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.001325	0.002173				

		X						
		mm	Eje A	Eje H	Drift	Drift	verificación	verificación
			punto	punto				
S=B	1	2600	2.0458	1.3568	0.00027	0.00011	CUMPLE	CUMPLE
	2		1.3568	1.06				
Ao=0.3	3	2600	0.8798	0.4399	0.00034	0.00017	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.002279	0.003233				

		X						
		mm	Eje A	Eje H	Drift	Drift	verificación	verificación
			punto	punto				
S=B	1	2600	2.7242	1.7702	0.00035	0.00013	CUMPLE	CUMPLE
	2		1.8232	1.431				
Ao=0.4	3	2600	1.1713	0.5936	0.00045	0.00023	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.003286	0.00424				

		X						
		mm	Eje A	Eje H	Drift	Drift	verificación	verificación
			punto	punto				
S=C	1	2600	1.431	0.9381	0.00019	0.00008	CUMPLE	CUMPLE
	2		0.9381	0.742				
Ao=0.2	3	2600	0.6095	0.2968	0.00023	0.00011	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.001431	0.002279				

		X						
		mm	Eje A	Eje H	Drift	Drift	verificación	verificación
			punto	punto				
S=C	1	2600	2.1465	1.431	0.00028	0.00011	CUMPLE	CUMPLE
	2		1.431	1.1342				
Ao=0.3	3	2600	0.9222	0.4611	0.00035	0.00018	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.002438	0.003392				

			X					
		mm	Eje A	Eje H	Drift	Drift	verificación	verificación
			punto	punto				
S=C	1	2600	2.862	1.908	0.00037	0.00016	CUMPLE	CUMPLE
	2		1.908	1.484				
Ao=0.4	3	2600	1.2349	0.6254	0.00047	0.00024	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.003445	0.004452				

			X					
		mm	Eje A	Eje H	Drift	Drift	verificación	verificación
			punto	punto				
S=D	1	2600	1.6324	1.0759	0.00021	0.00009	CUMPLE	CUMPLE
	2		1.0812	0.8533				
Ao=0.2	3	2600	0.6996	0.35775	0.00027	0.00014	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.001696	0.002597				

			X					
		mm	Eje A	Eje H	Drift	Drift	verificación	verificación
			punto	punto				
S=D	1	2600	2.438	1.6324	0.00031	0.00013	CUMPLE	CUMPLE
	2		1.6377	1.2985				
Ao=0.3	3	2600	1.06	0.53	0.00041	0.00020	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.002862	0.003816				

			X					
		mm	Eje A	Eje H	Drift	Drift	verificación	verificación
			punto	punto				
S=D	1	2600	3.2701	2.1942	0.00041	0.00017	CUMPLE	CUMPLE
	2		2.1995	1.749				
Ao=0.4	3	2600	1.4098	0.7155	0.00054	0.00027	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.004028	0.005088				

			X						
			mm	Eje A	Eje H	Drift	Drift	verificación	verificación
				punto	punto				
S=E	1	2600	1.7702	1.166	0.00023	0.00009	CUMPLE	CUMPLE	
	2		1.166	0.9275					
Ao=0.2	3	2600	0.742	0.379162	0.00028	0.00014	CUMPLE	CUMPLE	
	4		0.001908	0.002809					

			X						
			mm	Eje A	Eje H	Drift	Drift	verificación	verificación
				punto	punto				
S=E	1	2600	2.6553	1.7755	0.00034	0.00013	CUMPLE	CUMPLE	
	2		1.7755	1.431					
Ao=0.3	3	2600	1.1448	0.5777	0.00044	0.00022	CUMPLE	CUMPLE	
	4		0.00318	0.004134					

			X						
			mm	Eje A	Eje H	Drift	Drift	verificación	verificación
				punto	punto				
S=E	1	2600	3.58	2.38	0.00045	0.00018	CUMPLE	CUMPLE	
	2		2.4	1.9					
Ao=0.4	3	2600	1.54	0.77	0.00059	0.00029	CUMPLE	CUMPLE	
	4		0.0042	0.0056					

Tabla E6. Suelo A, Aceleración Basal 0.2

			Y						
			mm	Eje 1	Eje 6	Drift	Drift	verificacion	verificacion
				punto	punto				
S=A	1	2600	-0.0536	-0.0548	0.00000	-0.00001	CUMPLE	CUMPLE	
	2		-0.06	-0.0224					
Ao=0.2	3	2600	-0.03	-0.0012	-0.00001	-0.00002	CUMPLE	CUMPLE	
	4		0	0.054					

NOTA: dada la similitud de los valores de los ejes 1 y 6, se decidió colocar solo una tabla para la primera aceleración del suelo.

d) PANEL ISOTROPICO VS CONEXIONES RIGIDAS

Tabla E7. Suelo A, Aceleración Basal 0.2

				X				
		mm	Eje A	Eje H	Drift	Drift	verificación	verificación
			punto	punto				
S=A	1	2600	0.47	0.27	0.00007	0.00002	CUMPLE	CUMPLE
	2		0.29	0.21				
Ao=0.2	3	2600	0.21	0.09	0.00008	0.00003	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.0004	0.0013				

				X				
		mm	Eje A	Eje H	Drift	Drift	verificación	verificación
			punto	punto				
S=A	1	2600	0.7	0.42	0.00010	0.00003	CUMPLE	CUMPLE
	2		0.44	0.33				
Ao=0.3	3	2600	0.32	0.146	0.00012	0.00006	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.0011	0.0021				

				X				
		mm	Eje A	Eje H	Drift	Drift	verificación	verificación
			punto	punto				
S=A	1	2600	0.901	0.5671	0.00012	0.00004	CUMPLE	CUMPLE
	2		0.5936	0.4505				
Ao=0.4	3	2600	0.4452	0.2067	0.00017	0.00008	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.002067	0.002968				

				X				
		mm	Eje A	Eje H	Drift	Drift	verificación	verificación
			punto	punto				
S=B	1	2600	0.5141	0.3127	0.00007	0.00003	CUMPLE	CUMPLE
	2		0.3286	0.2438				
Ao=0.2	3	2600	0.2438	0.106	0.00009	0.00004	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.000901	0.00159				

				X				
		mm	Eje A punto	Eje H punto	Drift	Drift	verificación	verificación
S=B	1	2600	0.7632	0.4717	0.00010	0.00004	CUMPLE	CUMPLE
	2		0.4929	0.371				
Ao=0.3	3	2600	0.3657	0.1696	0.00014	0.00006	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.001643	0.002438				

				X				
		mm	Eje A punto	Eje H punto	Drift	Drift	verificación	verificación
S=B	1	2600	1.0176	0.636	0.00014	0.00005	CUMPLE	CUMPLE
	2		0.6625	0.5035				
Ao=0.4	3	2600	0.4982	0.23055	0.00019	0.00009	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.002385	0.003339				

				X				
		mm	Eje A punto	Eje H punto	Drift	Drift	verificación	verificación
S=C	1	2600	0.5353	0.3233	0.00008	0.00003	CUMPLE	CUMPLE
	2		0.3392	0.2544				
Ao=0.2	3	2600	0.2544	0.1113	0.00010	0.00004	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.000954	0.001643				

				X				
		mm	Eje A punto	Eje H punto	Drift	Drift	verificación	verificación
S=C	1	2600	0.8003	0.4982	0.00011	0.00004	CUMPLE	CUMPLE
	2		0.5194	0.3922				
Ao=0.3	3	2600	0.3869	0.1749	0.00015	0.00007	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.001749	0.002597				

				X				
		mm	Eje A punto	Eje H punto	Drift	Drift	verificación	verificación
S=C	1	2600	1.0706	0.6678	0.00014	0.00005	CUMPLE	CUMPLE
	2		0.6996	0.53				
Ao=0.4	3	2600	0.5194	0.2385	0.00020	0.00009	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.002544	0.003498				

				X				
		mm	Eje A punto	Eje H punto	Drift	Drift	verificación	verificación
S=D	1	2600	0.6095	0.3763	0.00008	0.00003	CUMPLE	CUMPLE
	2		0.3922	0.2968				
Ao=0.2	3	2600	0.29415	0.1325	0.00011	0.00005	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.001166	0.001908				

				X				
		mm	Eje A punto	Eje H punto	Drift	Drift	verificación	verificación
S=D	1	2600	0.901	0.5671	0.00012	0.00004	CUMPLE	CUMPLE
	2		0.5936	0.45315				
Ao=0.3	3	2600	0.4452	0.2014	0.00017	0.00008	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.002067	0.002968				

				X				
		mm	Eje A punto	Eje H punto	Drift	Drift	verificación	verificación
S=D	1	2600	1.219	0.7632	0.00016	0.00006	CUMPLE	CUMPLE
	2		0.8003	0.6042				
Ao=0.4	3	2600	0.5989	0.2756	0.00023	0.00010	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.002968	0.004028				

		X						
		mm	Eje A	Eje H	Drift	Drift	verificación	verificación
			punto	punto				
S=E	1	2600	0.6625	0.4081	0.00009	0.00003	CUMPLE	CUMPLE
	2		0.424	0.3233				
Ao=0.2	3	2600	0.318	0.1431	0.00012	0.00005	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.001325	0.00212				

		X						
		mm	Eje A	Eje H	Drift	Drift	verificación	verificación
			punto	punto				
S=E	1	2600	0.9911	0.6201	0.00013	0.00005	CUMPLE	CUMPLE
	2		0.6466	0.4876				
Ao=0.3	3	2600	0.4823	0.2226	0.00018	0.00008	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.002332	0.003233				

		X						
		mm	Eje A	Eje H	Drift	Drift	verificación	verificación
			punto	punto				
S=E	1	2600	1.34	0.83	0.00018	0.00007	CUMPLE	CUMPLE
	2		0.87	0.66				
Ao=0.4	3	2600	0.65	0.3	0.00025	0.00011	CUMPLE	CUMPLE
	4		0.003	0.0043				

Tabla E8. Suelo A, Aceleración Basal 0.2

		Y						
		mm	Eje 1	Eje 6	Drift	Drift	verificación	verificación
			punto	punto				
S=A	1	2600	-0.02	-0.02	0.00000	-0.00001	CUMPLE	CUMPLE
	2		-0.02	0.0034				
Ao=0.2	3	2600	-0.01	0.011	0.00000	0.00000	CUMPLE	CUMPLE
	4		0	0.0158				

NOTA: dada la similitud de los valores de los ejes 1 y 6, se decidió colocar solo una tabla para la primera aceleración del suelo.

ANEXO F

ESTIMACIÓN DE CARGAS

La Nch1537 en la tabla numero 4 propone que la sobrecarga de uso de las viviendas es de 200kg/m².

Para la estimación de la sobrecarga de techo se utilizó la Nch1537 tabla 3. Para una pendiente del 5% y un área mayor a 50m², lo que da un coeficiente de reducción de 0.53 que se multiplica por el valor neto de 100kg/m² propuesto para techumbres solo para mantención.

Se obtiene un valor final de 53 kg/m² en sobrecarga de techumbre.

Tabla F1. Sobrecargas de uso.

Peso de Sobrecarga de piso (SCP)	Peso SCP
	Kg/m ²
	200
Peso de Sobrecarga de techo (SCTECH)	Peso SCTECH
	Kg/m ²
	53

Para la estimación del peso del techo en cerchas fueron modelados en Ram Elements, el revestimiento y demás componentes fueron añadidos de forma particular para la obtención de un valor de 58kg/m².

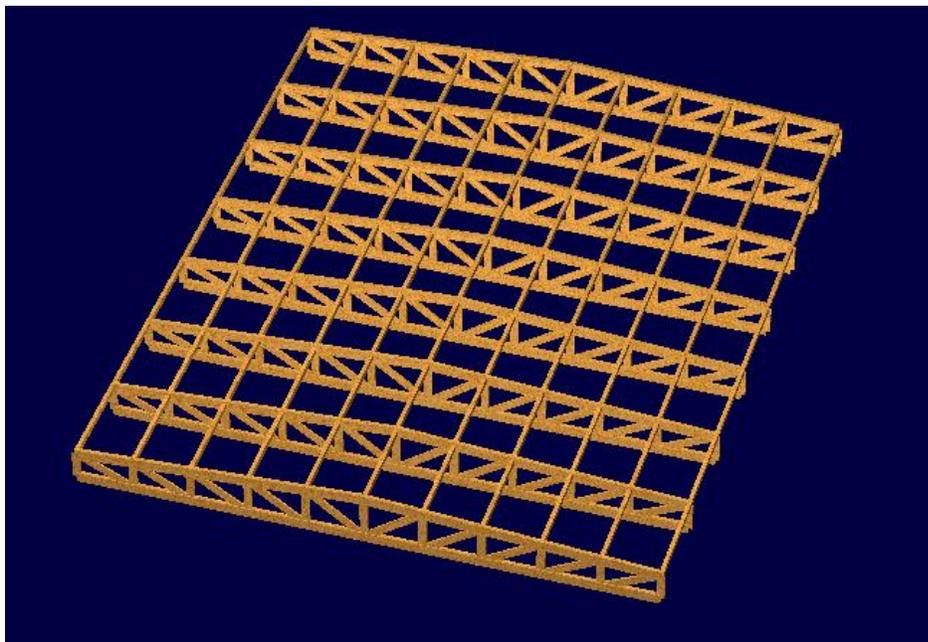


Figura F1. Modelación en Ram Elements

Tabla F2. Pesos propios.

Peso propio Techumbre (PPTCH)	Peso PPTCH
	kg/m ²
M: Cerchas; Cubierta;	58
Peso propio sobre losa (PPSL)	Peso PPSL
	kg/m ²
	120
Peso propio tabiquería (PPTAB)	Peso PPTCH
	Kg/m ²
M: M2x2"; Poliestireno; Clavos; OSB	30
Peso Propio de entramado de cielo (PPETCH)	Peso PPETCH
	Kg/m ²
M: M2x3" ; Poliestireno; Clavos; OSB	40

El peso propio de la sobre losa se obtiene por la densidad del hormigón liviano proveniente del afinado de piso multiplicado por el lado tributario. Obteniendo un valor de 120kg/m².

Para el peso propio de la tabiquería y entramado de cielo se realizó el cálculo con todos los materiales necesarias que conforman cada elemento para un metro cuadrado, lo que después se extrapolo para los metros cuadrados necesarios.