

# **DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DE ENTRAMADO LIGERO UTILIZANDO MÉTODO SIMPLIFICADO DE MODELACIÓN FEM Y EVALUACIÓN EN LA ESTRUCTURA DE LA PROPUESTA DE EXIGENCIAS TÉRMICAS MINVU**

*Rodrigo Ruiz Martínez<sup>1</sup>, Javiera Padilla Reyes<sup>2</sup> y Felipe González Monsalve<sup>3</sup>*

## **RESUMEN**

Durante la última década, la madera se ha posicionado como uno de los materiales más utilizados en la construcción de viviendas de baja altura en Chile, sin embargo, su participación en el sector disminuye considerablemente a medida que aumenta la altura. Esto se puede justificar dado el desconocimiento de las normativas que rigen la construcción en madera, o bien, a la inseguridad de construir con este material. Por este motivo, es necesario conocer los aspectos normativos actuales y propuestos que rigen la verificación de los elementos que constituyen este sistema constructivo, con el fin de incentivar su uso y así ser una solución real al déficit habitacional que posee Chile y el mundo hasta el 2022.

En esta investigación se diseñó un edificio de entramado ligero de 3 pisos utilizando un método simplificado de modelación con software FEM y posteriormente se analizó las soluciones constructivas alcanzadas en el cálculo estructural en relación con las exigencias térmicas de la OGUC y la propuesta de exigencias térmicas MINVU. Se concluye que la madera es un material altamente competitivo estructuralmente, cumpliendo para cada verificación con materiales presentes en el mercado nacional, además, logrando soluciones constructivas que verifican en su totalidad con el cumplimiento de exigencias térmicas actuales, para cada zona térmica de Chile. Sin embargo, con la propuesta de exigencia térmica MINVU, queda evidenciado que se busca incentivar la construcción en altura, ya que los muros que conforman a la envolvente térmica requieren de escuadrías mayores al 2x4, lo que se traduce en un sobredimensionamiento estructural para edificaciones de baja altura.

**PALABRAS CLAVE:** Entramado ligero, Déficit habitacional, Envolvente térmica, Edificios de madera.

---

<sup>1</sup> Estudiante, Carrera de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, [ruiz@ing.ucsc.cl](mailto:ruiz@ing.ucsc.cl)

<sup>2</sup> Profesor Guía, M.Sc., Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, [Javiera.padilla@ucsc.cl](mailto:Javiera.padilla@ucsc.cl)

<sup>3</sup> Profesor Informante, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, [fgonzalez@ucsc.cl](mailto:fgonzalez@ucsc.cl)

**ABSTRACT**

During the last decade, wood has positioned itself as one of the most used materials in the construction of low-rise housing in Chile; however, its participation in the sector decreases considerably as the height increases. This can be justified by the lack of knowledge of the regulations governing wood construction, or by the insecurity of building with this material. For this reason, it is necessary to know the current and proposed regulatory aspects that govern the verification of the elements that constitute this construction system, in order to encourage its use and thus be a real solution to the housing deficit in Chile and the world until 2022.

In this research, a 3-story light-frame building was designed using a simplified modeling method with FEM software and then the constructive solutions achieved in the structural calculation were analyzed in relation to the thermal requirements of the OGUC and the MINVU thermal requirements proposal. It is concluded that wood is a highly competitive material structurally, complying for each verification with materials present in the national market, in addition, achieving constructive solutions that verify in their totality with the fulfillment of current thermal requirements, for each thermal zone of Chile. However, with the MINVU thermal requirement proposal, it is evident that it seeks to encourage high-rise construction, since the walls that make up the thermal envelope require squareness greater than 2x4, which translates into a structural oversizing for low-rise buildings.

**KEYWORDS:** Light framing, Housing deficit, Thermal envelope, Wood buildings.

**1. INTRODUCCIÓN****1.1. DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

En esta investigación, se diseña un edificio de 3 pisos estructurado completamente en entramado ligero. Para esto, es necesario conocer el sistema constructivo, los elementos estructurales involucrados, solicitudes y normativas asociadas al diseño de edificios en Chile.

Se realiza una modelación estructural en el software de elementos finitos ETABS, interactuando con el software de diseño en madera C+T, de la empresa Eligemadera, para diseñar los muros de corte estructurales del edificio, utilizando las normativas nacionales correspondientes: NCh1537 Of.2009, NCh433 Of.1996 mod 2009, NCh1198 Of.2014 y el prNCh1198, cuyo capítulo de diseño de muros de corte está basado en la normativa norteamericana SDPWS 2015.

Finalmente se analiza la factibilidad térmica de las soluciones constructivas considerando las escuadrías de los muros logradas en el cálculo estructural, en relación a los requerimientos térmicos dispuestos en la Ordenanza general de urbanismo y construcción (O.G.U.C) y la propuesta por el Ministerio de vivienda y urbanismo (MINVU) para cada una de las zonas térmicas del país, con la finalidad de comparar ambas exigencias y evidenciar el impacto de estas modificaciones en construcciones de madera en mediana altura.

## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1. Generales

- Diseñar un edificio de entramado ligero de tres pisos utilizando un método simplificado de modelación para software FEM.
- Analizar la transmitancia térmica de los muros del edificio y comparar los resultados según lo exigido por la OGUC y por la propuesta térmica MINVU.

### 1.2.2. Específicos

- Modelar un edificio de entramado ligero en el software ETABS utilizando el método simplificado para software FEM.
- Diseñar elementos estructurales en madera con el software C+T, según NCh1198 Of.2014 y propuesta de modificación de norma prNCh1198.
- Calcular la transmitancia térmica en muros de la estructura con las soluciones constructivas obtenidas del cálculo estructural.
- Comparar las transmitancias térmicas calculadas con los requerimientos térmicos establecidos en la O.G.U.C y los propuestos por el MINVU.

## 2. MARCO CONCEPTUAL

### 2.1. CONTEXTO

La madera es históricamente uno de los materiales más utilizados por el hombre. Actualmente, su uso como material estructural alcanza más del 90 % de la construcción habitacional entre 1 y 4 pisos en países desarrollados como Estados Unidos y Canadá (Fritz, s.f.). En Chile, es el segundo material más utilizado en viviendas de 1 y 2 pisos, logrando gran participación en el sector residencial del país, sin embargo, el uso de este material se ha limitado a viviendas de baja altura, ya que para viviendas entre 3 y 4 pisos su uso se ha mantenido por debajo del 5%, y para viviendas mayores a 5 pisos su uso es inexistente en el país (Méndez, 2021). Por este motivo, se observa que entre mayor altura posea una vivienda en Chile, la presencia de la madera en la construcción disminuye considerablemente. Desaprovechando el buen desempeño estructural y térmico que presentan las soluciones constructivas en esta materialidad.

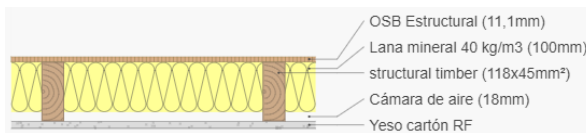
En relación con las soluciones constructivas que se obtienen al construir en madera, se tiene que las modificaciones a la O.G.U.C llevadas a cabo por el MINVU, apuntan a exigir mayores estándares de desempeño térmico en viviendas, lo cual sitúa a la madera como una alternativa competitiva debido a su baja conductividad térmica, la cual es 7 veces inferior a la del hormigón y 410 veces inferior al acero (Guindos, 2019). Esto último es relevante ya que una baja conductividad térmica es fundamental para diseñar viviendas más eficientes energéticamente por el buen desempeño térmico que alcanzan las soluciones constructivas en esta materialidad.

Finalmente, el propósito de este documento no es excluir otras materialidades en el diseño de viviendas de mediana altura, sino más bien, mostrar las ventajas que posee este material en cuanto al cumplimiento normativo considerándola como alternativa para solucionar el déficit habitacional existente en Chile y lograr construcciones más sustentables.

## 2.2. ENTRAMADO LIGERO

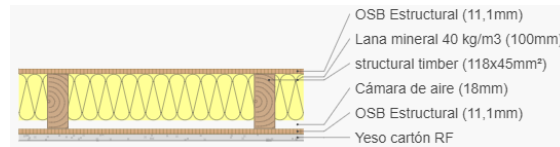
El sistema constructivo de entramado ligero fue concebido durante la construcción de viviendas de madera, cuando los constructores se percataron que era posible mover tabiques entre pocos trabajadores sin la necesidad de utilizar maquinaria. Esta tendencia se vio acelerado por la producción de tableros estructurales y la masiva producción de clavos (Cárcamo, 2017).

Existen varios métodos para construir en madera utilizando entramados ligeros, uno de los más utilizados es el sistema marco-plataforma, que está conformado por marcos de madera arriostrados con placa estructural por una o ambas caras lo cual le entrega mayores ventajas sísmicas y térmicas. La característica diferenciadora de este sistema es que los pies derechos que conforman a los muros tienen la altura correspondiente de un piso, y que los entrepisos se montan encima de los muros de modo que sirven como plataforma para la construcción de pisos superiores (Guindos, 2019). En la figura n°1 y figura n°2 se muestra la configuración de un muro simple y doble en este sistema estructural.



**Figura n°1.** Configuración muro simple

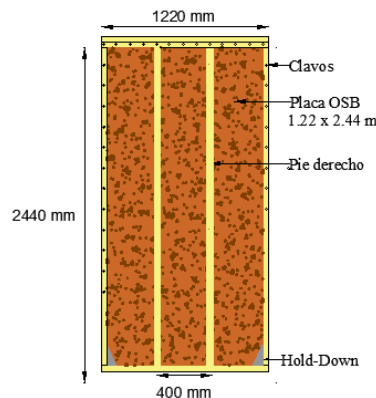
**Fuente:** elaboración propia



**Figura n°2.** Configuración muro doble

**Fuente:** elaboración propia

Según sea la funcionalidad de un entramado vertical en este sistema estructural, existirá una variedad de tipologías de muros de madera, especialmente en lo referente a las construcciones tradicionales aplicadas en cada país (Guindos, 2019). Para efectos de esta investigación se consideró un muro clásico de entramado ligero, el cual está destinado a resistir cargas gravitacionales y cargas laterales. Según sea la literatura estudiada se puede encontrar con diferentes nombres este tipo de muros bajo el método constructivo utilizado, ya sea como muros soportantes o muros de corte. Un muro de las características anteriormente mencionadas en el sistema marco-plataforma está conformado por elementos de madera los cuales le confieren de manera flexible resistencia a la compresión, al corte y al volcamiento, mientras que elementos metálicos como clavos y anclajes le aportan ductilidad y estabilidad (Cárcamo, 2017). En la figura n°3 se detalla los elementos que constituyen un muro de entramado ligero tradicional.



**Figura n°3.** Configuración de un muro de entramado ligero sistema plataforma.

**Fuente:** elaboración propia

### 2.3 ANTECEDENTES NORMATIVOS PARA EL DISEÑO EN MADERA

Chile presenta uno de los cuadros normativos más robustos de la región Latinoamericana y del Caribe en cuanto a requerimientos para el desarrollo de proyectos en construcción, especialmente en el ámbito de viviendas (Banco Mundial, 2020). Se rige principalmente por la Ley General de Urbanismo y Construcción (L.G.U.C) la que considera como reglamento a la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (O.G.U.C) en cuanto a disposiciones reglamentarias de la ley, regulando procedimientos de construcción, estándares técnicos de diseño, entre otros. Por este motivo, se detallan las exigencias de acondicionamiento térmico en viviendas, condiciones mínimas de seguridad contra incendio y confort acústico en edificaciones según sea su destino. Además, para el diseño estructural existen diferentes normativas que rigen las exigencias de estabilidad estructural y sísmica. A continuación, se detallan los aspectos normativos para el diseño en madera.

#### 2.3.1. Diseño de elementos estructurales simples (ASD)

Para el diseño de elementos estructurales simples, se considera lo dispuesto en la norma NCh1198 Of.2014: Madera – Construcciones de Madera – Cálculo. En esta se aborda el dimensionamiento de piezas estructurales de madera aserrada, sometidos a flexión, compresión paralela, tracción paralela, compresión normal y esfuerzos combinados. La filosofía de diseño utilizada es por tensiones admisibles (ASD), la que se basa en un valor referenciado para una determinada clase estructural a la que se le aplican factores de modificación para transformarse en tensión de diseño. Por otro lado, la tensión de trabajo es la solicitación real que presenta el elemento puesto en servicio. En la expresión EC (1) se muestra la ecuación genérica para esta metodología de diseño.

$$f_f \leq F_{f, \text{dis}} = F_f * K_H * K_D * O_F \text{ EC (1)}$$

Donde:

$f_f$  : Tensión de trabajo, en Mpa

$F_{f, \text{dis}}$  : Tensión de diseño, en Mpa.

$F_f$  : Tensión admisible, en Mpa

$K_H$  : Factor de modificación por contenido de humedad

$K_D$  : Factor de modificación por duración de carga

$O_F$  : Otros factores de modificación específicos

Para esta investigación, se considera el diseño a flexión para los elementos estructurales tipo vigas según lo dispuesto en las normas NCh1537 Of.2009, NCh3171 Of.2010 y lo establecido en la NCh1198 Of 2014. En cambio, para pies derechos se considera el diseño por compresión paralela en elementos interiores y para elementos exteriores el diseño por compresión paralela y flexión considerando lo dispuesto en las normas NCh1537 Of.2009, NCh3171 Of.2010, NCh432 Of.71 y NCh1198 Of 2014. Por último, las verificaciones de estos elementos se realizan con el software de diseño estructural C+T de la empresa Eligemadera SpA.

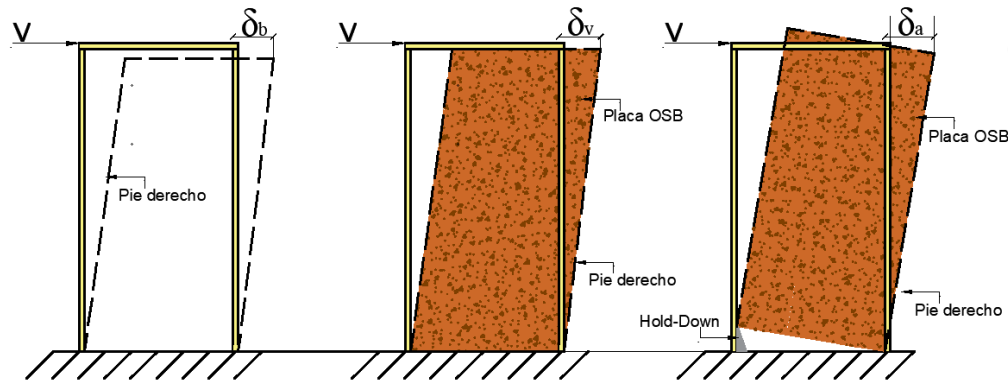
#### 2.3.2. Diseño de muros estructurales

Los muros de corte que conforman al sistema marco-plataforma se diseñan según lo establecido en la normativa norteamericana Special Design Provisions for Wind & Seismic (SDPWS, 2015), siendo esta norma base para el prNCh1198. En ella se establecen los requerimientos mínimos necesarios para llevar a cabo el cálculo y la verificación de muros de corte conformados en base a marcos de madera arriostradas con placas estructurales de OSB o Plywood. Adicionalmente para el diseño de estos muros se utilizó lo dispuesto en las normas NCh1537 Of.2009, NCh3171 Of.2010 y NCh433

Of.1996 mod 2009. Las verificaciones se realizan con el software de diseño estructural C+T de la empresa Eligemadera SpA.

El código de diseño establece que la deformación lateral total del muro de corte se calcula utilizando el aporte de cada elemento estructural que compone al muro equivalente a una deformación total.

En la figura n°4 se observa el aporte que cada elemento aporta en el muro de manera global ante cargas laterales. La deformación total asociada a este tipo de muros se representa en la expresión EC (2). El primer término de la expresión corresponde al aporte de pies derechos, el segundo término a una simplificación del aporte de clavos más la placa arriostrante y el tercer termino al aporte correspondiente a los anclajes Hold-Down.



**Figura n°4.** Deformaciones inducidas en muros estructurales

**Fuente:** Elaboración propia

$$\delta_{sw} = V * \left( \frac{2 * H^3}{3 * E * A_{ext} * L^2} \right) + V * \left( \frac{H}{L * G_a} \right) + T * \left( \frac{H}{L * K_{anclaje}} \right) \quad EC (2)$$

Donde:

$V$  : Solicitación de corte (kg)

$H$  : Altura del muro (cm)

$E$  : Módulo de elasticidad de los pies derechos de borde (kg/cm<sup>2</sup>)

$A_{ext}$  : Área de la sección transversal de los pies derechos de borde (kg/cm<sup>2</sup>)

$L$  : Largo del muro (cm)

$G_a$  : Módulo de corte (kg/cm)

$K_{anclaje}$  : Rigidez del anclaje (kg/cm)

$T$  : Tracción en pies derechos de borde (kg)

### 2.3.3. Cálculos térmicos

Para asegurar el cumplimiento de los requerimientos térmicos de una edificación se debe considerar lo establecido en el artículo 4.1.10 de la O.G.U.C. Se evalúa el comportamiento térmico de los muros soportantes, a través del procedimiento de cálculo establecido en la NCh853 Of.2007 - Acondicionamiento térmico – Envoltente térmica de edificios – Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas. Para poder aplicar esta norma es necesario considerar los conceptos de conductividad térmica, resistencia y transmitancia térmica que se detallan en el artículo n°4 de la norma anteriormente mencionada.

Brevemente se puede decir que la conductividad térmica es una propiedad de los materiales, mientras que la resistencia térmica es la oposición al paso del calor que presentan los elementos y depende de las características intrínsecas del material como lo es el espesor. Finalmente, la transmitancia térmica es el flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento, la ecuación que describe la resistencia térmica ( $m^2 * \frac{k}{W}$ ) de un material se detalla en la expresión EC (3).

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad \text{EC (3)}$$

Donde:

R: Resistencia térmica

e : espesor del material

$\lambda$  : Conductividad térmicas del material

La expresión descrita es aplicable a una capa de material en particular, para poder calcular un sistema completo, como lo son los muros de entramado ligero, se debe calcular el aporte de resistencias de cada capa y sumarlas. Adicionalmente, en el procedimiento de cálculo de la Nch853 Of.2007 se detalla la incorporación de la resistencia superficial del sistema que en estos muros se estudia con flujo horizontal. Para esto se detalla la resistencia total del sistema que incluye la resistencia interior ( $R_{si}$ ), la resistencia exterior ( $R_{se}$ ) y la resistencia térmica de una cámara de aire no ventilada ( $R_g$ ). La resistencia total del sistema se detalla en la expresión EC (4).

$$R_T = R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se} + R_g \quad \text{EC (4)}$$

Desde el año 2007, en Chile se establecen las exigencias mínimas para limitar las pérdidas de calor para el complejo de muros. Esta se exige a través de valores para la transmitancia térmica que varían según la zona geográfica donde se realice la edificación. Los muros de entramado ligero tienen la particularidad de no ser homogéneos, por esta razón se debe calcular la transmitancia ponderada que dependerá del área utilizada por el aislante y el área utilizada por los pies derechos en el muro. Las expresiones EC (5) y EC (6) detallan la transmitancia térmica ( $W/m^2 * k$ ) y transmitancia térmica ponderada, respectivamente.

$$U_1 = \frac{1}{RT} \quad \text{EC (5)}$$

Donde:

$U_1$ : Transmitancia térmica muro homogéneo.

$R_T$ : Resistencia térmica total del muro homogéneo.

$$U_{ponderada} = U_1 * A1\% + U_2 * A2\% \quad \text{EC (6)}$$

Donde:

$U_1$  :Transmitancia térmica sector pies derechos.

A1%: Porcentaje de Área pies derechos .

$U_2$ : :Transmitancia térmica sector aislante.

A2%: Porcentaje de Área Aislante .

La reglamentación térmica de vivienda está vigente en nuestro país posterior a su incorporación a la O.G.U.C. Sin embargo, como parte del plan del estado de mejoramiento en materias energéticas, el MINVU propone la actualización de estas exigencias debido a los bajos estándares de protección térmica que ofrece la normativa actual. Los requerimientos vigentes de la O.G.U.C. y los propuestos por el Minvu se detallan en la tabla n°1 y tabla n°2 respectivamente.

**Tabla n°1.** Valores de Transmitancia Térmica U ( $w/m^2k$ )

Zona térmica	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7
Muros	4.00	3.00	1.90	1.70	1.60	1.10	0.60

**Fuente.** Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (MINVU, 2018)

**Tabla n°2.** Valores de Transmitancia Térmica U ( $w/m^2k$ )

Zona térmica	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E	Zona F	Zona G	Zona H	Zona I
Muros	2.10	0.80	0.80	0.80	0.60	0.45	0.40	0.30	0.35

**Fuente.** Propuesta de actualización de la reglamentación térmica (Bustamante, 2015)

### 2.3.4. Requerimientos contra el fuego

En cuanto a las consideraciones de seguridad contra incendio se verifican los requerimientos establecidos en el artículo 4.3.3 de la Ordenanza general de urbanismo y construcción (O.G.U.C). Este artículo establece que los edificios que requieran protegerse contra el fuego deberán clasificarse según el número de pisos y el destino que este posea, como se muestra en la tabla n°3.

**Tabla n°3.** Tipología de edificios habitacionales

Destino del edificio	Superficie utilizada [m <sup>2</sup> ]	Número de pisos						
		1	2	3	4	5	6	7 o más
Habitacional	Cualquiera	d	d	c	c	b	a	a

**Fuente.** Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (MINVU, 2018)

La resistencia al fuego requerida dependerá además del tipo de elemento de construcción que sea diseñado y se clasificará según el tiempo expresado en minutos que el elemento constructivo sea capaz de estar expuesto al fuego sin colapsar, como se detalla en la tabla n°4.

**Tabla n°4.** Resistencia al fuego requerida para los elementos de construcción

ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN									
Tipo	.(1)	.(2)	.(3)	.(4)	.(5)	.(6)	.(7)	.(8)	.(9)
a	F-180	F-120	F-120	F-120	F-120	F-30	F-60	F-120	F-60
b	F-150	F-120	F-90	F-90	F-90	F-15	F-30	F-90	F-60
c	F-120	F-90	F-60	F-60	F-60	-	F-15	F-60	F-30
d	F-120	F-60	F-60	F-60	F-30	-	-	F-30	F-15

**Fuente.** Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (MINVU, 2018)

Simbología incumbente:

Elementos verticales:

.(5) Elementos soportantes verticales.

Para lo que concierne al presente trabajo de investigación se considera el destino de edificio para uso habitacional y los muros a diseñar corresponden a elementos verticales.

## 2.4. MÉTODOS DE DISEÑO EN MADERA CON SOFTWARE DE DISEÑO

### 2.4.1. Método simplificado

Para el diseño estructural de los muros de corte, se hace muy compleja la modelación en software FEM considerando todos los elementos que aportan rigidez. Por este motivo, González & Vargas (2019), desarrollaron una metodología simplificada para reducir los tiempos de modelación computacional en el diseño sísmico de edificaciones de mediana altura.

Esta metodología consiste en aplicar factores de rigidez que actúan en el plano del muro de corte y varían en función de la configuración del muro utilizado, para esto se considera un análisis lineal que cumple con las formulaciones presentadas por Euler-Bernoulli y la teoría de vigas de Timochenko. Para implementar esta metodología simplificada en un software FEM se deben determinar los factores que se detallan en las expresiones EC (7), EC (8) y EC (9), lo cual se puede obtener directamente con el software de diseño estructural C+T, y posteriormente incorporarlos al software FEM para realizar el análisis sísmico. Por último, el software C+T entrega los factores de modificación de forma automática para cada tipología de muro considerado. En la figura n°5 se detalla la ventana de asignación de estos factores en el software FEM ETABS.

El primer factor para considerar es el factor  $\lambda$  este se aplica a la rigidez en dirección X e Y del elemento tipo área, en el software ETABS se aplica en f11 y f22.

$$\lambda = \frac{E' * A'}{E * A} \quad \text{EC (7)}$$

Donde:

$A'$  : Área proporcionada por la totalidad de los pies derechos.

$E'$  : Módulo de elasticidad de los pies derechos.

$A'$  : Área de la sección transversal del elemento área.

$E'$  : Módulo de elasticidad del modelo computacional.

El segundo factor para considerar es el factor  $\psi$  este aplica a la rigidez por cortante del elemento tipo área, en el software ETABS se aplica en f12.

$$\psi = \frac{\xi}{b * (\eta \xi^2 - 4)} * \frac{Kv}{G} \quad \text{EC (8)}$$

Donde:

$Kv$ : Rigidez axial del muro marco-plataforma.

$G$  : Módulo de corte del elemento tipo área modelado.

$b$  : Espesor del muro modelado.

$G$  : Módulo de corte del elemento tipo área modelado.

Por último, se aplica el factor  $\rho$  a la masa y peso del elemento tipo área.

$$\rho = \frac{ATPD \gamma_{PR} + \eta AOSB \gamma_{OSB}}{A \gamma_{PR}} \quad \text{EC (9)}$$

Donde:

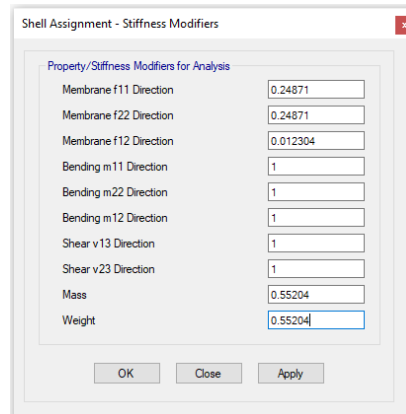
ATPD : Área total de los pies derechos en el muro.

$\gamma_{PR}$  : Peso específico pino radiata considerado.

$\eta$  : Número de placas de OSB.

AOSB : área de placas de OSB.

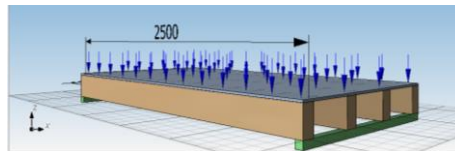
$\gamma_{OSB}$  : Peso específico placa de OSB.



**Figura n°5.** Ventana de asignación de factores de modificación en software ETABS  
**Fuente.** Elaboración propia

#### 2.4.2. Diseño de elementos simples con software C+T

Para diseñar elementos simples en madera maciza aserrada como lo son Vigas y Pies derechos es necesario cumplir con lo dispuesto en el punto 2.3.1 de este artículo. El software de diseño en madera C+T de la empresa Eligemadera Spa diseña estos elementos simples bajo normativa chilena. En la figura n°6 se muestra un elemento tipo viga tridimensional diseñada en el software C+T y en la tabla n°5 los valores de diseño, trabajo y verificación estructural.



**Figura n°6.** Vista tridimensional de elemento simple diseñado en C+T  
**Fuente.** Elaboración propia

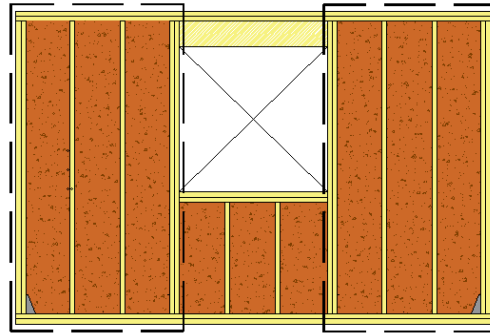
**Tabla n°5.** Diseño elementos simples verificaciones en C+T

Propiedad	Valor de diseño	Valor de trabajo	Utilización (%)	Verificación
Tensión en flexión (MPa)	9.21	3.97	43.00	Cumple
Tensión en cizalle (MPa)	1.10	0.21	19.00	Cumple
Tensión en compresión normal (MPa)	2.00	0.51	25.00	Cumple
Deformación total (mm)	11.80	8.92	76.00	Cumple
Deformación sobrecarga (mm)	9.83	5.10	52.00	Cumple

**Fuente.** Elaboración propia

#### 2.4.3. Diseño de muros de corte con software C+T

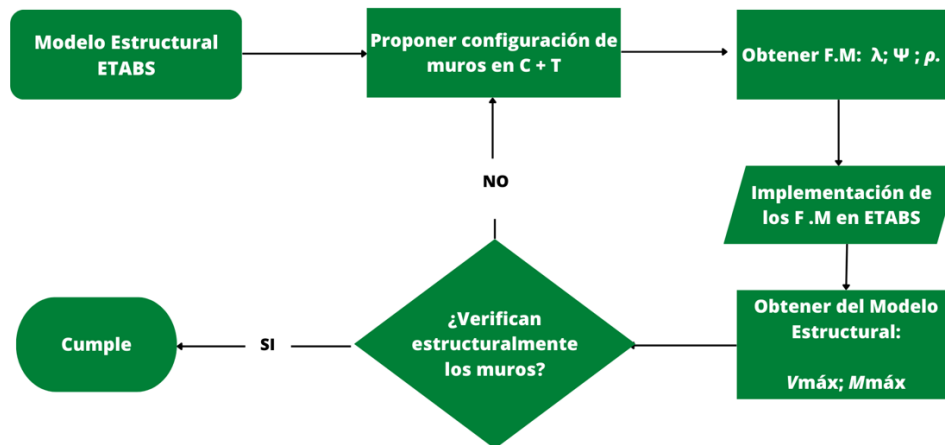
La normativa vigente en Chile solo permite diseñar elementos estructurales simples, como columnas, vigas y uniones. Actualmente en el prNCh1198 se incorpora un nuevo capítulo de muros de corte, los cuales son diseñados de acuerdo con los requerimientos dispuestos en la norma norteamericana SDPWS 2015, referentes al método de diseño del muro segmentado. Este método tiene la particularidad de considerar el aporte a la resistencia al corte de los segmentos de muro que no poseen aberturas en toda su altura y los parámetros que se deben especificar en el diseño son: el clavado perimetral, tipo de anclaje utilizado y detallar si el muro es simple o doble. Por otro lado, el muro debe cumplir con relaciones de aspecto (Altura/Ancho) como mínimo de 2:1. En la figura n°7 se muestra el detalle de un muro segmentado.



**Figura n°7.** Esquema de muro segmentado  
**Fuente.** Elaboración propia

El procedimiento para el diseño de muros de corte con softwares involucra de manera conjunta el uso de un software FEM y C+T. Para poder llevar a cabo el diseño es necesario realizar un modelo estructural en un software FEM, del cual se obtiene el análisis estructural. Posteriormente, con el análisis estructural resuelto, se diseñan los muros con el software C+T, el que no solo verifica el diseño, sino también entrega los factores de modificación (F.M) que se deben incorporar en los muros tipo Shell en el software FEM.

El diagrama de flujo que se muestra a continuación detalla el procedimiento para el diseño de muros estructurales utilizando estos dos softwares.

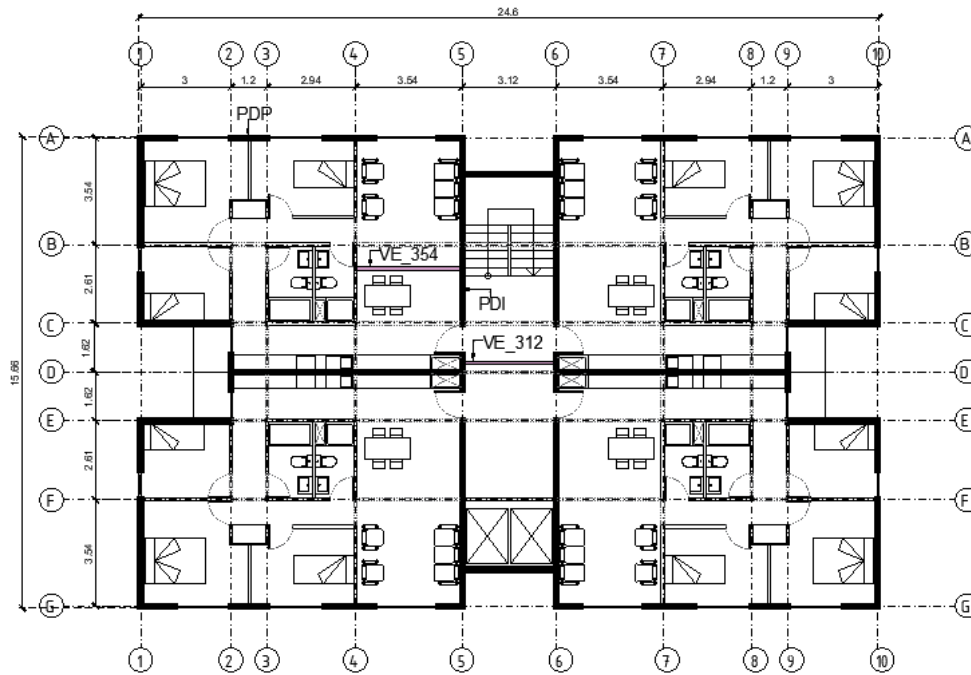


**Figura n°8.** Diagrama de flujo para el diseño de muros de corte.  
**Fuente.** Elaboración propia

### 3. ANTECEDENTES DE LA ESTRUCTURA

#### 3.1. ARQUITECTURA

La estructura diseñada corresponde a un edificio residencial de tres pisos, los cuales contienen cuatro departamentos por planta separados por un pasillo de uso común. En la figura n°9 se detalla la planta arquitectónica de la estructura.



**Figura n°9.** Vista en planta de arquitectura  
**Fuente.** Elaboración propia

### 3.2. MECÁNICA DE SUELOS

Se consideró un caso desfavorable, suelo tipo E emplazado en zona sísmica 3.

### 3.3. MATERIALES

#### 3.3.1. Madera maciza

Se consideró madera maciza de pino radiata de grado estructural C24 y humedad de servicio al 12%. A continuación, se muestran las propiedades del material de acuerdo con lo detallado en la NCh1198 Of.2014.

Tensión admisible en flexión ( $F_f$ )	: 9.3 MPa
Tensión admisible en compresión paralela ( $F_{cp}$ )	: 8.0 MPa
Tensión admisible en tracción paralela ( $F_{tp}$ )	: 4.7 MPa
Tensión admisible en compresión normal ( $F_{cn}$ )	: 2.5 MPa
Tensión admisible en cizalle ( $F_{cz}$ )	: 1.1 MPa
Módulo de elasticidad en flexión ( $E_f$ )	: 10.200 MPa
Índice de aplastamiento en compresión normal ( $E_{cn, h}$ )	: 5.65 MPa/mm
Densidad anhidra promedio ( $\rho_0$ )	: 450 kg/m <sup>3</sup>
Densidad anhidra característica ( $\rho_{0, k}$ )	: 370 kg/m <sup>3</sup>

#### 3.3.2. Tableros arriostrantes

Los muros utilizados en el cálculo estructural están conformados por placas arriostrantes de OSB LP HOME de espesor 11.1 mm con las siguientes propiedades:

$$\text{Densidad placa estructural } (\rho) : 690 \text{ kg/m}^3$$

### 3.4. CARGAS DE DISEÑO

#### 3.4.1. Peso propio

Las cargas muertas consideradas corresponden a las cargas de peso propio estructural y no estructural. Para las cargas de peso propio estructural, los softwares comerciales utilizados ETABS y C+T calculan de forma automática el peso propio de los elementos utilizando el peso específico de los materiales considerando un valor de  $9.81 \text{ m/s}^2$  para la aceleración de gravedad.

En lo que respecta a cargas de peso propio no estructural son agregadas como carga muerta y son las que se muestran a continuación:

Peso propio entrepiso	: 150 kg/m <sup>2</sup>
Peso propio techumbre	: 150 kg/m <sup>2</sup>

#### 3.4.2. Sobrecargas

Las sobrecargas consideradas se obtienen de la norma NCh1537 Of.2009.

Sobrecarga de uso habitacional	: 200 kg/m <sup>2</sup>
Sobrecarga de uso pasillos	: 500 kg/m <sup>2</sup>
Sobrecarga de uso techumbre	: 100 kg/m <sup>2</sup>

#### 3.4.3. Viento

Para el análisis estructural de pies derechos exteriores se consideró una presión de viento en base a lo dispuesto en la NCh432 Of.71. La presión de viento calculada equivale a  $55 \text{ kg/m}^2$  en la base y  $58.23 \text{ kg/m}^2$  a los 2.44m correspondientes al primer piso.

#### 3.4.4. Sismo

El análisis sísmico se establece considerando el uso y la ubicación del edificio. Se utilizó la zona sísmica más desfavorable, lo cual implica caracterizar la estructura de acuerdo con los parámetros que se detallan en la tabla n°6.

**Tabla n°6.** Parámetros usados en el análisis sísmico

Parámetros	Valor
Categoría del edificio	II
Zona sísmica	3
Tipo de suelo	E
Coficiente de importancia I	1
Factor de modificación de respuesta R	5.5
Coficiente sísmico máximo	0.208

**Fuente.** Elaboración propia

Se verifica un análisis modal espectral de acuerdo con lo establecido en la norma NCh433 Of.1996 mod 2009. Las masas sísmicas son consideradas como el peso propio de la estructura más un 25% de la sobrecarga.

### 3.5. COMBINACIONES DE CARGA

Las combinaciones de carga utilizadas para el análisis de la estructura corresponden a las estipuladas en la NCh3171 Of.2010 - Diseño estructural - Disposiciones generales y combinaciones de cargas. El método de diseño utilizado es por tensiones admisibles y las combinaciones utilizadas en el diseño se detallan en la tabla n°7.

- I. D
- II. D + L
- III. D + Lr
- IV. D + 0.75 L + 0.75 Lr
- V. D + W
- VI. D + E
- VII. D + 0.75 W + 0.75 L + 0.75 Lr
- VIII. D + 0.75 E + 0.75 L + 0.75 Lr
- IX. 0.6 D + W
- X. 0.6 D + E

Donde:

D : Peso propio de la estructura

L : Sobrecarga de uso

Lr : Sobrecarga de techo

W : Viento en ambas direcciones del plano

E : Sismo en ambas direcciones del plano

**Tabla n°7.** Factor para combinación de carga utilizados en la estructura

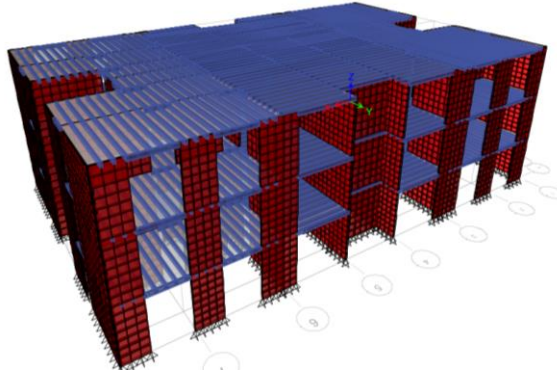
Nombre	Factor para combinación de cargas						
	D	L	Lr	Wx	Wy	Ex	Ey
Combo 1	1						
Combo 2	1	1					
Combo 3	1		1				
Combo 4	1	0.75	0.75				
Combo 5	1			1			
Combo 6	1			-1			
Combo 7	1				1		
Combo 8	1				-1		
Combo 9	1					1	
Combo 10	1					-1	
Combo 11	1						1
Combo 12	1						-1
Combo 13	1	0.75	0.75	0.75			
Combo 14	1	0.75	0.75	-0.75			
Combo 15	1	0.75	0.75		0.75		
Combo 16	1	0.75	0.75		-0.75		
Combo 17	1	0.75				0.75	
Combo 18	1	0.75				-0.75	
Combo 19	1	0.75					0.75
Combo 20	1	0.75					-0.75
Combo 21	0.6			1			
Combo 22	0.6			-1			
Combo 23	0.6				1		
Combo 24	0.6				-1		
Combo 25	0.6					1	
Combo 26	0.6					-1	
Combo 27	0.6						1
Combo 28	0.6						-1

**Fuente.** Elaboración propia

## 4. DISEÑO ESTRUCTURAL

### 4.1. MODELO ESTRUCTURAL

Se realizó un modelo tridimensional utilizando el software FEM, ETABS, como se observa en la figura n°10. Se emplean 3 tipos de elementos en la confección de este modelo: **Frame** para las vigas, **Shell** para los muros y **Slabs** para las losas. Por último, se asigna un diafragma rígido a las losas de cada nivel para que cumplan la función de distribuir cargas gravitacionales a las vigas y muros de corte respectivamente.

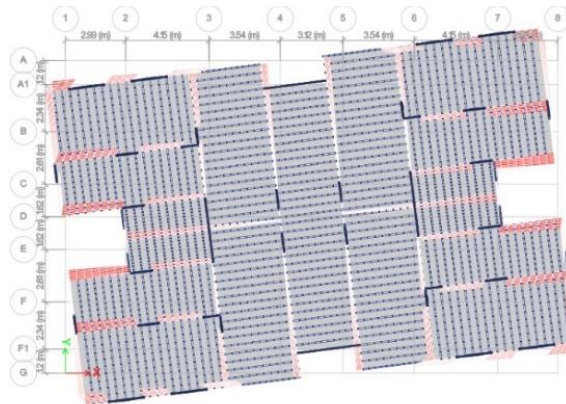


**Figura n°10.** Modelo tridimensional de la estructura en ETABS.

**Fuente:** Elaboración propia.

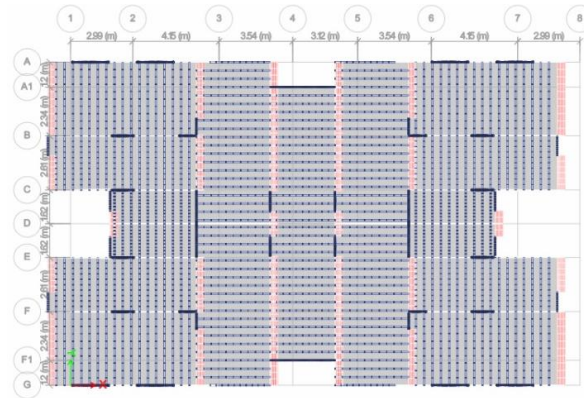
#### 4.1.1. ANÁLISIS MODAL ESPECTRAL

La fuerza sísmica según el análisis modal espectral se basa en encontrar la masa equivalente que participa en la vibración correspondiente a cada uno de los modos, lo cual se especifica en la NCh433 Of.1996 mod.2009.



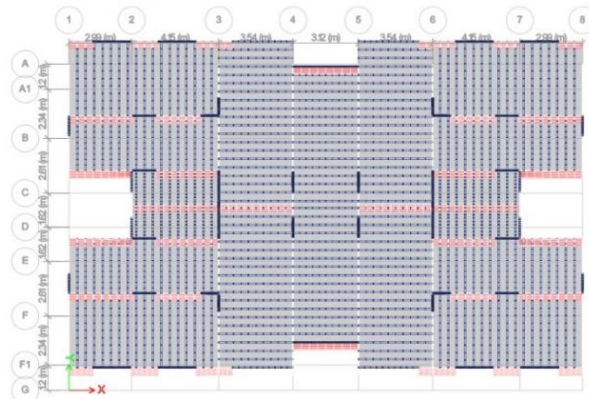
**Figura n°11.** Detalle modo de vibrar n°1, T= 0.33 [s]

**Fuente.** Elaboración propia



**Figura n°12.** Detalle modo de vibrar n°2,  $T= 0.31$  [s]

**Fuente.** Elaboración propia



**Figura n°13.** Detalle modo de vibrar n°3,  $T= 0.30$  [s]

**Fuente.** Elaboración propia

#### 4.1.2. Verificación de deformaciones sísmicas

De acuerdo con lo dispuesto en la norma NCh433 Of.2009 artículo 5.9.2., la estructura debe cumplir con el desplazamiento máximo relativo entre dos pisos consecutivos medido en el centro de masa en cada una de las direcciones de análisis, lo que no debe superar el valor límite estipulado de 0.002. Por otro lado, en lo dispuesto en el artículo 5.9.3 el desplazamiento máximo relativo entre dos pisos consecutivos, medido en cualquier punto de la planta en cada una de las direcciones de análisis no debe exceder en más de 0.001 al desplazamiento relativo medido en el centro de masas. La verificación de los drift de la estructura se muestra en la tabla n°8 y tabla n°9 respectivamente.

**Tabla n°8:** Envolvente de drift en el centro de masa de la planta por piso

PISO	COMBO	DIRECCIÓN	D.ABSOLUTO	D.RELATIVO	DRIFT CM	2% NCh 433	ESTADO
			m	m	m		
PISO 3	EX_D	X	0.0116	0.0040	0.0015	0.0020	OK
PISO 3	EY_D	Y	0.0122	0.0042	0.0016	0.0020	OK
PISO 2	EX_D	X	0.0076	0.0039	0.0014	0.0020	OK
PISO 2	EY_D	Y	0.0080	0.0041	0.0015	0.0020	OK
PISO 1	EX_D	X	0.0037	0.0037	0.0014	0.0020	OK
PISO 1	EY_D	Y	0.0039	0.0039	0.0014	0.0020	OK

**Fuente.** Elaboración propia

**Tabla n°9:** Envoltente de drift en cualquier punto de la planta por piso

PISO	COMBO	DIRECCIÓN	DRIFT MÁX	CM + 1 % NCh433	ESTADO
			m		
PISO 3	EX_D	X	0.0018	0.0025	OK
PISO 3	EY_D	Y	0.0023	0.0026	OK
PISO 2	EX_D	X	0.0017	0.0024	OK
PISO 2	EY_D	Y	0.0021	0.0025	OK
PISO 1	EX_D	X	0.0016	0.0024	OK
PISO 1	EY_D	Y	0.0020	0.0024	OK

Fuente. Elaboración propia

Para ambas verificaciones sísmicas se cumple que los drift alcanzados por el modelo en el diseño de la estructura cumplen con los requerimientos normativos de la NCh433 Of 1996 mod 2009. El detalle de estas verificaciones se encuentra en el anexo 9.5 de este artículo.

## 4.2. DISEÑO DE VIGAS

### 4.2.1. Vigas de techo

Se realizó la verificación para el elemento estructural viga de techo, para ello se consideró el elemento más desfavorable de acuerdo con su geometría y solicitaciones. En la tabla n°10 se detalla la verificación estructural.

**Tabla n°10.** Verificación estructural viga de techo

Propiedad viga VE_354	VT_354			
	Diseño	Trabajo	%	Verificación
Tensión en flexión (Mpa)	11.51	2.84	25.00	Cumple
Tensión en cizalle (Mpa)	1.38	0.15	11.00	
Tensión en compresión normal (Mpa)	2.00	0.36	18.00	
Deformación total (mm)	11.80	6.80	58.00	
Deformación sobrecarga (mm)	9.83	2.55	26.00	

Fuente. Elaboración propia

### 4.2.2. Vigas de entrepiso

Se realizan verificaciones para el elemento estructural viga de entrepiso, para lo cual se consideraron dos vigas a verificar con geometría y solicitaciones diferentes. En la tabla n°11 se detalla la verificación estructural de estas vigas.

**Tabla n°11.** Verificación estructural vigas de entrepiso

Propiedades	VE_354				VE_312			
	Diseño	Trabajo	%	Verificación	Diseño	Trabajo	%	Verificación
Tensión en flexión (Mpa)	9.21	3.97	43.00	Cumple	9.21	5.73	62.00	Cumple
Tensión en cizalle (Mpa)	1.10	0.21	19.00		1.10	0.35	32.00	
Tensión en compresión normal (Mpa)	2.00	0.51	25.00		2.00	0.83	42.00	
Deformación total (mm)	11.80	8.92	76.00		10.40	9.99	96.00	
Deformación sobrecarga (mm)	9.83	5.10	52.00		8.67	7.69	89.00	

Fuente. Elaboración propia

## 4.3. DISEÑO PIES DERECHOS

Los elementos tipo pies derechos se verifican de acuerdo con su uso exterior (PDE) o interior (PDI) y para ambos casos se verifica el elemento estructural más desfavorable. En la tabla n°12 se muestra las verificaciones de los pies derechos.

**Tabla n°12.** Verificación estructural pie derecho interior PDE Y PDI

Propiedad	Pie derecho exterior (PDE)				Pie derecho interior (PDI)			
	Diseño	Trabajo	%	Verificación	Diseño	Trabajo	%	Verificación
Tensión en compresión paralela (Mpa)	2.74	1.80	66.00	Cumple	3.82	3.11	81.00	Cumple
Tensión en flexión x-x (Mpa)	16.96	2.49	15.00		-	-	-	-
Verificación interacción	1.00	0.71	71.00		-	-	-	-

Fuente. Elaboración propia

#### 4.4. DISEÑO MUROS DE CORTE

Para el diseño de muros de corte se verifican muros simples y dobles. Además, se consideran anclajes Hold Down de la empresa Simpson Strong-Tie. El detalle de los muros utilizados para el diseño se detalla en la tabla n°13.

**Tabla n°13.** Tipologías de muros estructurales

Tipología	Estructura	Placa de arriostre	Sistema de anclaje
A_Simple	Madera aserrada de pino radiata, grado estructural C24, escuadría de 45x94 mm (2x4") y pies derechos distanciados a 400 mm.	1 placa de OSB de 11.1 mm de espesor, con clavado en el perímetro espaciado cada 5 cm	Conector de acero modelo HD9B_4
A_Doble	Madera aserrada de pino radiata, grado estructural C24, escuadría de 45x94 mm (2x4") y pies derechos distanciados a 400 mm.	2 placas de OSB de 11.1 mm de espesor, con clavado en el perímetro espaciado cada 5 cm	Conector de acero modelo HD9B_4
B_Simple	Madera aserrada de pino radiata, grado estructural C24, escuadría de 45x94 mm (2x4") y pies derechos distanciados a 400 mm.	1 placa de OSB de 11.1 mm de espesor, con clavado en el perímetro espaciado cada 5 cm	Conector de acero modelo HD7B_3
B_Doble	Madera aserrada de pino radiata, grado estructural C24, escuadría de 45x94 mm (2x4") y pies derechos distanciados a 400 mm.	2 placas de OSB de 11.1 mm de espesor, con clavado en el perímetro espaciado cada 5 cm	Conector de acero modelo HD7B_3
C_Simple	Madera aserrada de pino radiata, grado estructural C24, escuadría de 45x118 mm (2x5") y pies derechos distanciados a 400 mm.	1 placa de OSB de 11.1 mm de espesor, con clavado en el perímetro espaciado cada 5 cm	Conector de acero modelo HD12_1
C_Doble	Madera aserrada de pino radiata, grado estructural C24, escuadría de 45x118 mm (2x5") y pies derechos distanciados a 400 mm.	2 placas de OSB de 11.1 mm de espesor, con clavado en el perímetro espaciado cada 5 cm	Conector de acero modelo HD12_1

Fuente. Elaboración propia

A continuación, en la tabla n°14 se muestra las fuerzas actuantes para cada tipología de muro en base a lo obtenido del modelo estructural en la tercera iteración. En el anexo 9.4 se muestra el detalle de todos los muros estructurales diseñados.

**Tabla n°14.** Fuerzas actuantes en muros de corte

Eje	Muro	Largo (m)	Tipología	V <sub>máx</sub> (tf)	Momento (t-m)
X-X	A.1.1	1.22	A_Doble	0.68	1.70
	A.1.2	1.22	A_Doble	0.50	0.59
	A.1.3	1.22	A_Simple	0.30	0.35
	F1.1.1	3.00	B_Doble	3.01	8.39
	F1.1.2	3.00	B_Doble	2.90	5.62
	F1.1.3	3.00	B_Simple	1.71	2.65
Y-Y	5.1.1	6.21	C_Doble	8.60	51.10
	5.1.2	6.21	C_Doble	7.37	28.70
	5.1.3	6.21	C_Simple	4.25	10.30

Fuente. Elaboración propia

Una vez realizada la tercera iteración con los esfuerzos de diseño obtenidos de ETABS se obtiene la condición de trabajo de los muros de lo cual se obtiene que todos verifican estructuralmente. El detalle de cada tipología de muro se muestra en la tabla n°15.

**Tabla n°15.** Condición de trabajo muros de corte

Eje	Muro	D. flexión (cm)	D. corte (cm)	D. volcamiento (cm)	D. total (cm)	D. admisible (cm)	Verificación
X-X	A.1.1	0.050	0.091	0.177	0.318	0.488	CUMPLE
	A.1.2	0.037	0.067	0.061	0.165	0.488	CUMPLE
	A.1.3	0.022	0.080	0.073	0.175	0.488	CUMPLE
	F1.1.1	0.037	0.163	0.163	0.363	0.488	CUMPLE
	F1.1.2	0.035	0.157	0.109	0.302	0.488	CUMPLE
	F1.1.3	0.021	0.185	0.103	0.309	0.488	CUMPLE
Y-Y	5.1.1	0.020	0.225	0.170	0.415	0.488	CUMPLE
	5.1.2	0.017	0.193	0.096	0.306	0.488	CUMPLE
	5.1.3	0.010	0.223	0.069	0.301	0.488	CUMPLE

Fuente. Elaboración propia

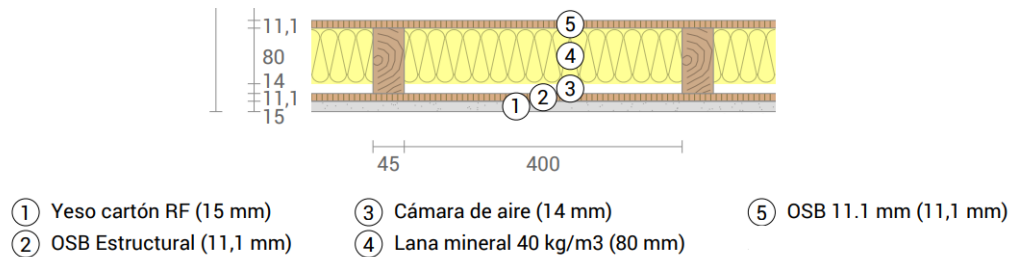
## 5. REQUERIMIENTOS TERMICOS

### 5.1. SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS

El desempeño térmico de los muros de un edificio está directamente relacionado con los materiales que lo componen, sus conductividades térmicas y espesores. A continuación, se muestran las soluciones constructivas ajustadas a las escuadrías de muros obtenidas durante el cálculo estructural del edificio. En el anexo 9.1 y 9.2 se detallan los cálculos térmicos de estas soluciones constructivas.

#### 5.1.1. Muros de escuadría 2x4

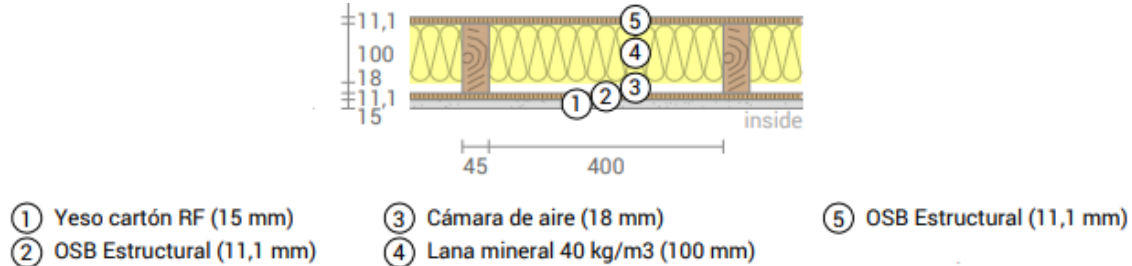
De acuerdo con lo calculado, se obtiene una transmitancia térmica ponderada de 0.46 W/m<sup>2</sup>K para los muros simples y de 0.44 W/m<sup>2</sup>K en los muros dobles. En la figura n°14 se muestra el detalle de la solución constructiva.


**Figura n°14.** Solución constructiva muro doble 2x4

Fuente. Elaboración propia

### 5.1.2. Muros de escuadría 2x5

De acuerdo con lo calculado, se obtiene una transmitancia térmica ponderada de 0.39 W/m<sup>2</sup>K para los muros simples y de 0.37 W/m<sup>2</sup>K en los muros dobles. En la figura n°15 se muestra el detalle de la solución constructiva.



**Figura n°15.** Solución constructiva muro doble 2x5

Fuente. Elaboración propia

## 5.2. ANÁLISIS PRELIMINAR DE SOLUCIONES

De acuerdo con lo dispuesto en el punto 2.3.4 de este artículo, para poder diseñar un edificio se debe tener en consideración lo establecido en la O.G.U.C. Para realizar el análisis adecuado se comparan las transmitancias térmicas logradas por las soluciones constructivas de los muros soportantes v/s transmitancias dictadas por la O.G.U.C. Adicionalmente se hace la misma comparación de las soluciones constructivas alcanzadas v/s la propuesta normativa dictada por el MINVU para verificar el comportamiento térmico de los muros de entramado ligero ante estas solicitaciones.

### 5.2.1. Verificación con requerimientos térmicos O.G.U.C

En la Tabla n°17 se detalla la verificación de las transmitancias alcanzadas por las soluciones constructivas de los muros soportantes de acuerdo con lo dictado por la O.G.U.C.

**Tabla n°17.** Verificación con normativa actual

ZONA	SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS DE MUROS			
	SIMPLE 2X4	DOBLE 2X4	SIMPLE 2X5	DOBLE 2X5
1	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
2	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
3	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
4	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
5	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
6	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
7	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

Fuente. Elaboración propia

Se obtiene que las soluciones constructivas alcanzadas con los requerimientos estructurales para un edificio de las características del diseñado se comportan de manera eficiente ante los requerimientos térmicos vigentes y dictados por la O.G.U.C para cada una de las zonas térmicas del país.

### 5.2.2. Verificación con propuesta Minvu

En la Tabla n°18 se detalla la verificación de las transmitancias alcanzadas por las soluciones constructivas de los muros soportantes de acuerdo con la propuesta térmica MINVU.

**Tabla n°18.** Verificación con propuesta térmica MINVU

ZONA	SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS DE MUROS			
	SIMPLE 2X4	DOBLE 2X4	SIMPLE 2X5	DOBLE 2X5
A	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
B	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
C	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
D	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
E	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
F	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
G	NO CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
H	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
I	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE

**Fuente.** Elaboración propia

Se obtiene que para los muros con escuadría de 2x5 verifican en un 78% de las zonas térmicas del país. Por otro lado, en muros con escuadría 2x4 simples solo verifican el 56% de las zonas térmicas y en muros de 2x4 dobles un 67%. Por este motivo, es necesario buscar soluciones con la finalidad de satisfacer en su totalidad los requerimientos normativos propuestos para lo cual será necesario realizar mejoras a la envolvente del edificio.

### 5.3. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Cuando no es posible utilizar otros materiales con mejores propiedades para mejorar la envolvente del edificio, considerando que los materiales que la conforman ya son los óptimos en relación con las limitaciones que presenta la escuadría de los pies derechos en el dimensionamiento del muro y por lo tanto en el espesor de aislante a utilizar. Por este motivo, es necesario buscar otro tipo de soluciones para mejorar la envolvente térmica del edificio, para lo cual se propone la que se muestra a continuación:

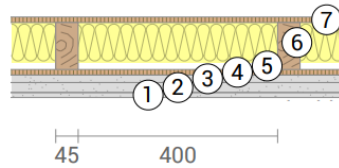
#### 5.3.1. Sistema de mejoramiento térmico interior Poligyp

El sistema de mejoramiento térmico interior propuesto se incorpora a través de capas adicionales que se incorporan al muro aportando una mayor resistencia térmica a la solución constructiva para así alcanzar las transmitancias propuestas.

El Poligyp está conformado por una placa de poliestireno expandido unido con una placa de yeso cartón y se puede encontrar en el mercado nacional en distintos espesores y diferentes nombres comerciales dependiendo el proveedor (Volcapol, Polyplac). En la figura n°16 se muestra una placa de Volcapol, en la figura n°17 se detalla una tipología de muro con esta solución constructiva y en la tabla n°22 se observan las verificaciones para cada muro con la implementación de esta solución de mejoramiento térmico interior.

**Figura n°16.** Placa Poligyp


**Fuente.** Volcan Chile



- |                        |                                 |                 |
|------------------------|---------------------------------|-----------------|
| ① Volcapol Y-C (10 mm) | ④ OSB (11,1 mm)                 | ⑦ OSB (11,1 mm) |
| ② Volcapol P-E (20 mm) | ⑤ Cámara de aire (14 mm)        |                 |
| ③ Yeso cartón (15 mm)  | ⑥ Lana mineral 40 kg/m3 (80 mm) |                 |

**Figura n°17.** Solución constructiva muro doble 2x4 con Poligyp

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla n°19.** Verificación de muros con solución interior Poligyp

Escuadría	Tipología	Zona	Transmitancia S.C	Transmitancia con solución Poligyp	Transmitancia propuesta normativa	Verificación	Poligyp utilizado
45 x 94 mm	Simple	F	0.46	0.41	0.45	CUMPLE	VOLCAPOL 20 mm
		G		0.37	0.40	CUMPLE	VOLCAPOL 30 mm
		H		0.31	0.30	NO CUMPLE	VOLCAPOL 55 mm
	Doble	I	0.44	0.34	0.35	CUMPLE	VOLCAPOL 40 mm
		G		0.39	0.40	CUMPLE	VOLCAPOL 20 mm
		H		0.30	0.30	CUMPLE	VOLCAPOL 55 mm
45 x 118 mm	Simple	I	0.39	0.33	0.35	CUMPLE	VOLCAPOL 40 mm
		H		0.30	0.30	CUMPLE	VOLCAPOL 40 mm
		I		0.35	0.35	CUMPLE	VOLCAPOL 20 mm
	Doble	H	0.37	0.29	0.30	CUMPLE	VOLCAPOL 40 mm
		I		0.33	0.35	CUMPLE	VOLCAPOL 20 mm
		I		0.33	0.35	CUMPLE	VOLCAPOL 20 mm

**Fuente:** Elaboración propia

Se puede observar de acuerdo con lo calculado que solo un muro simple de 2x4 no alcanza los valores propuestos por la propuesta normativa en la zona térmica a pesar de utilizar la placa de mayor espesor de Volcapol disponible en el mercado nacional. En el anexo 9.1 y 9.2 se muestra el detalle de los cálculos térmicos asociados a estas verificaciones.

#### 5.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

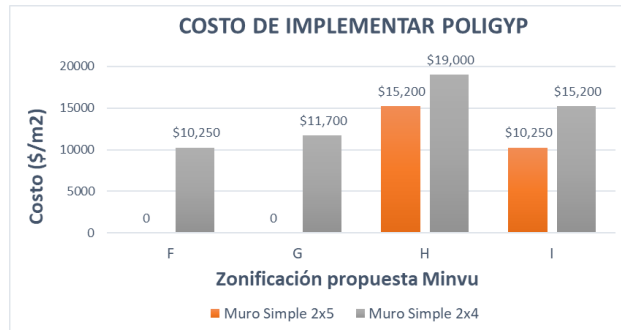
De lo obtenido en la propuesta de solución, se puede observar que el tipo de soluciones térmicas interiores Poligyp es muy ventajoso a la hora de mejorar la envolvente del edificio principalmente porque se puede utilizar diferentes espesores de placa dependiendo el requerimiento térmico que necesite la envolvente, sin embargo, en el mercado nacional se encuentran principalmente espesores de 20, 30 y 40 mm y espesores mayores se realizan a pedido directamente con el proveedor. Esto último es algo a tener en consideración en el diseño, ya que los muros de 2x4 no cumplen de manera eficiente con los requerimientos térmicos propuestos y por lo tanto requiere espesores especiales que cumplen casi en la totalidad de las zonas térmicas del país, lo cual afecta al costo asociado que tiene la implementación de esta solución térmica interior. A continuación, se observa el costo de la placa a utilizar en los muros del edificio.

**Tabla n°20.** Costo Volcapol por metro cuadrado.

VOLCAPOL		
Tipo de Volcapol	Precio neto \$	\$/m2
VOLCAPOL 20	\$ 15,126	\$ 5,252
VOLCAPOL 30	\$ 19,328	\$ 6,711
VOLCAPOL 40	\$ 29,412	\$ 10,212
VOLCAPOL 55	\$ 40,336	\$ 14,006

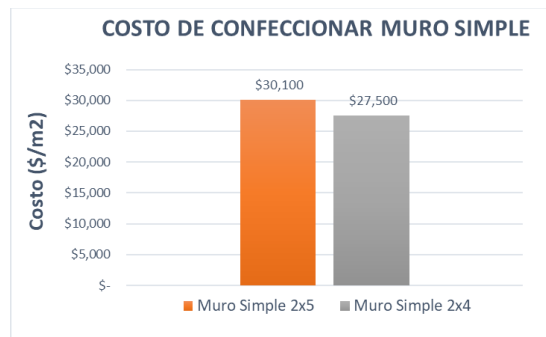
**Fuente:** Elaboración propia

El costo de implementar esta solución en los muros del edificio requiere de materiales adicionales y la consideración de la mano de obra, estos costos se pueden observar en la figura n°18. En el anexo 9.6 se detalla el costo para cada muro.



**Figura n°18.** Costo de implementar Poligyp en muros simples  
**Fuente:** Elaboración propia

Se observa que aumenta en 3.800 \$/m<sup>2</sup> el costo de mejorar muros simples de 2x4 en comparación a mejorar muros de 2x5 para cumplir con lo propuesto en la normativa, sin embargo, la diferencia está en que los muros de 2x5 solo requieren Poligyp en dos zonas térmicas en comparación a las cuatro zonas que requieren los muros de 2x4, por este motivo se estudia el costo de construir un muro de 2x4 y un muro de 2x5 con la finalidad de ver la diferencia en costo entre tomar una opción o la otra. En la figura n°19 se muestra el costo de construir muros simples por m<sup>2</sup>.



**Figura n°19.** Costo de muro estructural  
**Fuente:** Elaboración propia

Se observa que la diferencia en costo entre ambos muros es de 2.600 \$/m<sup>2</sup>, y está asociada principalmente al espesor de lana mineral extra y al cambio de escuadría del pie derecho que se tiene al construir un muro de 2x5. Además, se concluye que utilizar muros de 2x5 en reemplazo de los muros de 2x4 aumenta el valor del muro diseñado, pero disminuye el costo de mejora de la envolvente en las zonas térmicas F y G en \$10.250 y \$11.700 por m<sup>2</sup> respectivamente. Por último, en las zonas térmicas H e I la exigencia térmica es mayor por lo que si se cambia a una escuadría de 2x5 igual es necesario mejorar la envolvente, pero el costo de cambiar de escuadría y utilizar una placa Poligyp de menor espesor será menor a mejorar la envolvente de un muro de 2x4.

Finalmente, se busca evaluar si disminuye el costo del muro de 2x5 en cuanto a lo estructural, por esta razón se evalúan las deformaciones alcanzadas con ambas escuadrías para la misma tipología de muro lo que se observa en la tabla n°21.

**Tabla n°21.** Deformación en muros dobles

ESCUADRÍA	DEFORMACIONES MUROS DOBLES				
	D. Flexión	D. Corte	D. Volcamiento	D. Total	D. Admisible
2X4	0.05	0.091	0.177	0.317	0.488
2X5	0.04	0.091	0.177	0.308	0.488

**Fuente:** Elaboración propia

Se puede observar que aumentando el espesor del muro dado los pies derechos de 2x5 el único cambio que presenta el muro es en la deformación por flexión. Adicionalmente se evaluó sacar placas, aumentar espaciado de clavado y cambiar anclajes, pero no se obtienen deformaciones similares a las obtenidas en los muros de 2x4. Por esta razón se concluye que si se prefiere construir con muros de 2x5 no hay una disminución de costo en cuanto a lo estructural.

## 6. CONCLUSIONES

Se diseñó un edificio de 3 pisos en entramado ligero, modelado con el método simplificado para software FEM de González & Vargas (2019), verificando los elementos estructurales simples y los muros de corte con todas las normativas nacionales vigentes. Dentro de este contexto se concluye:

- La factibilidad de diseñar edificios en madera, cumpliendo con todas las normativas nacionales, por medio del método simplificado de modelación utilizando softwares comerciales FEM. Se evidenció que la utilización del método optimiza el tiempo de modelación y diseño de los muros de corte del proyecto, lo que finalmente incentiva el desarrollo de proyectos con este sistema constructivo.
- La distribución geométrica de los muros estructurales en planta para estructuras de entramado ligero es un factor determinante para el diseño, dada la flexibilidad intrínseca del sistema constructivo. Se deben privilegiar configuraciones en planta simétricas y regulares, para lograr una densidad de muros lo más homogénea posible y evitar direcciones débiles, dadas las deformaciones sísmicas inducidas en el sistema resultante.

De los muros obtenidos en el cálculo estructural, se verifican las soluciones constructivas en cuanto a exigencias térmicas dispuestas en la OGUC y la propuesta por el MINVU. De esto, se concluye lo siguiente:

- La normativa propuesta apunta a exigir mayores estándares de eficiencia energética en las edificaciones, quedando en evidencia que, en muros conformados con madera, las soluciones constructivas vigentes no verifican en la totalidad de las zonas térmicas del país con la normativa propuesta, quedando las zonas más extremas fuera. Por este motivo, es necesario implementar soluciones de mejoramiento térmico interior, lo que finalmente castiga a escuadrías menores de 2x4 en cuanto al aumento de costo, quitándole competitividad en comparación a las escuadrías de 2x5, lo que se traduce en un sobredimensionado del diseño estructural en viviendas de mediana altura.
- En cuanto a la construcción en madera, la propuesta normativa incentiva la edificación en altura otorgando alto estándar energético, sin embargo, la construcción en mediana altura se ve desfavorecida, dado que las soluciones constructivas vigentes no otorgan el espacio suficiente para implementar una solución más robusta. Se requiere de escuadrías mayores en el diseño estructural que facilitan la incorporación de más aislación en los muros que finalmente mejoran las propiedades térmicas en este sistema constructivo.

## 7. AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a sus seres queridos por el apoyo incondicional entregado durante todos los años de estudio. Además, agradece a su profesora guía por el apoyo y el conocimiento entregado durante todo el proceso.

## 8. REFERENCIAS

1. American Wood Council (2015). *Special Design Provisions for wind and Seismic 2015 Edition*.
2. Banco Mundial (2020). *La construcción de viviendas en madera en Chile un pilar para el desarrollo sostenible y la agenda de la reactivación*
3. Bustamante, W. (2015). *Estudios sobre rangos de confort térmico y riesgo de sobrecalentamiento en el contexto de la aplicación de nuevos estándares de desempeño térmico en viviendas*. Ministerio de vivienda y urbanismo.
4. Cárcamo, S. (2017). *Modelo de muros marco plataforma para un programa de elementos finitos mediante elementos área*. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile.
5. Fritz, A. (s.f). *Manual La Construcción de Viviendas en Madera*. CURRICULUM NACIONAL
6. González, I & Vargas, J (2019). *Método simplificado para modelación de edificios en media altura tipo marco-plataforma de madera utilizando un programa computacional de elementos finitos*. ACHISINA 2019, Valdivia, Chile.
7. Guindos, P. (2019). *Fundamentos del diseño y la construcción con madera*.
8. Instituto Nacional de Normalización (1971). *NCh432: Diseño estructural – Cargas de viento*
9. Instituto Nacional de Normalización (1996). *NCh433: Diseño Sísmico de edificios*.
10. Instituto Nacional de Normalización (2007). *NCh853: Acondicionamiento térmico – Envoltente térmica de edificios – Calculo de resistencias y transmitancias térmicas*.
11. Instituto Nacional de Normalización (2010). *NCh3171: Diseño estructural – Disposiciones generales y combinaciones de cargas*.
12. Instituto Nacional de Normalización (2014). *NCh1198: Madera- Construcciones en madera- Calculo*
13. Méndez, D. (2021). *Estadísticas de Edificación año 2002-2019*. Centro UC de Innovación en Madera. <https://www.disenamadera.cl/images/documentos/ESTADISTICAS-DE-LA-EDIFICACION-2002-2019.pdf>
14. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2018). *Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones*

**9. ANEXOS**
**9.1. VERIFICACIÓN REQUERIMIENTOS TÉRMICOS PARTE I**

MURO 2X4 SIMPLE SIN VOLCAPOL					MURO 2X4 SIMPLE CON VOLCAPOL						
Zona Aislante		89%			Zona Aislante		89%				
		e [m]	$\lambda$ [W/mK]	R.t [m <sup>2</sup> K/W]	U1 [W/m <sup>2</sup> K]			e [m]	$\lambda$ [W/mK]	R.t [m <sup>2</sup> K/W]	U1 [W/m <sup>2</sup> K]
Cara exterior	Rse	-	-	0.05		Cara exterior	Rse	-	-	0.05	
	Lana mineral 40kg/m <sup>3</sup>	0.080	0.042	1.905			Lana mineral 40kg/m <sup>3</sup>	0.080	0.042	1.905	
	Camara de aire	0.014	-	0.152			Camara de aire	0.014	-	0.152	
	Tablero OSB 690kg/m <sup>3</sup>	0.011	0.106	0.105			Volcapol 20 mm			0.281	
	Yeso Cartón 870kg/m <sup>3</sup>	0.015	0.310	0.048			Tablero OSB 690kg/m <sup>3</sup>	0.011	0.106	0.105	
Cara interior	Rsi			0.120		Cara interior	Yeso Cartón 870kg/m <sup>3</sup>	0.015	0.310	0.048	
	<b>Total</b>			<b>2.38</b>	<b>0.42</b>		<b>Total</b>			<b>2.66</b>	<b>0.38</b>
Zona pie derecho		11%			Zona pie derecho		11%				
		e [m]	$\lambda$ [W/mK]	R.t [m <sup>2</sup> K/W]	U2 [W/m <sup>2</sup> K]			e [m]	$\lambda$ [W/mK]	R.t [m <sup>2</sup> K/W]	U2 [W/m <sup>2</sup> K]
Cara exterior	Rse	-	-	0.05		Cara exterior	Rse	-	-	0.05	
	Pie derecho	0.094	0.104	0.904			Pie derecho - pino radiata	0.094	0.104	0.904	
	Tablero OSB 690kg/m <sup>3</sup>	0.011	0.106	0.105			Volcapol 20 mm			0.281	
	Yeso Cartón	0.015	0.310	0.048			Tablero OSB 690kg/m <sup>3</sup>	0.011	0.106	0.105	
					0.120			Yeso Cartón	0.015	0.310	0.048
Cara interior	Rsi			0.120		Cara interior	Rsi			0.120	
	<b>Total</b>			<b>1.23</b>	<b>0.82</b>		<b>Total</b>			<b>1.51</b>	<b>0.66</b>
<b>U ponderado [W/m<sup>2</sup>K]</b>					<b>0.46</b>	<b>U ponderado [W/m<sup>2</sup>K]</b>					<b>0.41</b>
MURO 2X4 DOBLE SIN VOLCAPOL					MURO 2X4 DOBLE CON VOLCAPOL						
Zona Aislante		89%			Zona Aislante		89%				
		e [m]	$\lambda$ [W/mK]	R.t [m <sup>2</sup> K/W]	U1 [W/m <sup>2</sup> K]			e [m]	$\lambda$ [W/mK]	R.t [m <sup>2</sup> K/W]	U1 [W/m <sup>2</sup> K]
Cara exterior	Rse	-	-	0.05		Cara exterior	Rse	-	-	0.05	
	Lana mineral 40kg/m <sup>3</sup>	0.080	0.042	1.905			Lana mineral 40kg/m <sup>3</sup>	0.080	0.042	1.905	
	Camara de aire	0.014	-	0.152			Camara de aire	0.014	-	0.152	
	Tablero OSB 690kg/m <sup>3</sup>	0.011	0.106	0.105			Volcapol 20 mm			0.281	
	Tablero OSB 690kg/m <sup>3</sup>	0.011	0.106	0.105			Tablero OSB 690kg/m <sup>3</sup>	0.011	0.106	0.105	
Cara interior	Yeso Cartón 870kg/m <sup>3</sup>	0.015	0.310	0.048		Cara interior	Yeso Cartón 870kg/m <sup>3</sup>	0.015	0.310	0.048	
	Rsi			0.120			Rsi			0.120	
	<b>Total</b>			<b>2.48</b>	<b>0.40</b>		<b>Total</b>			<b>2.77</b>	<b>0.36</b>
Zona pie derecho		11%			Zona pie derecho		11%				
		e [m]	$\lambda$ [W/mK]	R.t [m <sup>2</sup> K/W]	U2 [W/m <sup>2</sup> K]			e [m]	$\lambda$ [W/mK]	R.t [m <sup>2</sup> K/W]	U2 [W/m <sup>2</sup> K]
Cara exterior	Rse	-	-	0.05		Cara exterior	Rse	-	-	0.05	
	Pie derecho - pino radiata	0.094	0.104	0.904			Pie derecho - pino radiata	0.094	0.104	0.904	
	Tablero OSB 690kg/m <sup>3</sup>	0.011	0.106	0.105			Volcapol 20 mm			0.281	
	Tablero OSB 690kg/m <sup>3</sup>	0.011	0.106	0.105			Tablero OSB 690kg/m <sup>3</sup>	0.011	0.106	0.105	
	Yeso Cartón	0.015	0.310	0.048			Tablero OSB 690kg/m <sup>3</sup>	0.011	0.106	0.105	
Cara interior	Rsi			0.120		Cara interior	Yeso Cartón	0.015	0.310	0.048	
	Rsi			0.120			Rsi			0.120	
	<b>Total</b>			<b>1.33</b>	<b>0.75</b>		<b>Total</b>			<b>1.61</b>	<b>0.62</b>
<b>U ponderado [W/m<sup>2</sup>K]</b>					<b>0.44</b>	<b>U ponderado [W/m<sup>2</sup>K]</b>					<b>0.39</b>

**Figura n°20. Cálculos térmicos muros 2x4**

Fuente: Elaboración propia

**9.2. VERIFICACIÓN REQUERIMIENTOS TÉRMICOS PARTE II**

MURO 2X5 SIMPLE SIN VOLCAPOL					MURO 2X5 SIMPLE CON VOLCAPOL						
Zona Aislante		89%			Zona Aislante		89%				
		e [m]	$\lambda$ [W/mK]	R.t [m <sup>2</sup> K/W]	U1 [W/m <sup>2</sup> K]			R.t [m <sup>2</sup> K/W]	U1 [W/m <sup>2</sup> K]		
Cara exterior	Rse	-	-	0.05	0.35	Cara exterior	Rse	-	0.05		
	Lana mineral 40kg/m <sup>3</sup>	0.100	0.042	2.381			Lana mineral 40kg/m <sup>3</sup>	0.100	0.042	2.381	
	Camara de aire	0.018	-	0.161			Camara de aire	0.018	-	0.161	
	Tablero OSB 690kg/m <sup>3</sup>	0.011	0.106	0.105			Volcapol 20 mm	-	-	0.281	
	Yeso Cartón 870kg/m <sup>3</sup>	0.015	0.310	0.048			Tablero OSB 690kg/m <sup>3</sup>	0.011	0.106	0.105	
Cara interior	Rsi	-	-	0.120	0.32	Cara interior	Rsi	-	0.120		
<b>Total</b>				<b>2.87</b>			<b>Total</b>				<b>3.15</b>
Zona pie derecho		11%					Zona pie derecho		11%		
		e [m]	$\lambda$ [W/mK]	R.t [m <sup>2</sup> K/W]			U2 [W/m <sup>2</sup> K]			R.t [m <sup>2</sup> K/W]	U2 [W/m <sup>2</sup> K]
Cara exterior	Rse	-	-	0.05			0.69	Cara exterior	Rse	-	0.05
	Pie derecho - pino radiata	0.118	0.104	1.135	Pie derecho - pino radiata	0.118			0.104	1.135	
	Tablero OSB 690kg/m <sup>3</sup>	0.011	0.106	0.105	Volcapol 20 mm	-			-	0.281	
	Yeso Cartón	0.015	0.310	0.048	Tablero OSB 690kg/m <sup>3</sup>	0.011			0.106	0.105	
	Cara interior	Rsi	-	-	0.120	0.58			Cara interior	Rsi	-
<b>Total</b>				<b>1.46</b>	<b>Total</b>					<b>1.74</b>	
<b>U ponderado [W/m<sup>2</sup>K]</b>		<b>0.39</b>			<b>U ponderado [W/m<sup>2</sup>K]</b>		<b>0.35</b>				
MURO 2X5 DOBLE SIN VOLCAPOL					MURO 2X5 DOBLE CON VOLCAPOL						
Zona Aislante		89%			Zona Aislante		89%				
		e [m]	$\lambda$ [W/mK]	R.t [m <sup>2</sup> K/W]	U1 [W/m <sup>2</sup> K]			R.t [m <sup>2</sup> K/W]	U1 [W/m <sup>2</sup> K]		
Cara exterior	Rse	-	-	0.05	0.34	Cara exterior	Rse	-	0.05		
	Lana mineral 40kg/m <sup>3</sup>	0.100	0.042	2.381			Lana mineral 40kg/m <sup>3</sup>	0.100	0.042	2.381	
	Camara de aire	0.018	-	0.161			Camara de aire	0.018	-	0.161	
	Tablero OSB 690kg/m <sup>3</sup>	0.011	0.106	0.105			Volcapol 20 mm	-	-	0.281	
	Yeso Cartón 870kg/m <sup>3</sup>	0.015	0.310	0.048			Tablero OSB 690kg/m <sup>3</sup>	0.011	0.106	0.105	
Cara interior	Rsi	-	-	0.120	0.31	Cara interior	Rsi	-	0.120		
<b>Total</b>				<b>2.97</b>			<b>Total</b>				<b>3.25</b>
Zona pie derecho		11%					Zona pie derecho		11%		
		e [m]	$\lambda$ [W/mK]	R.t [m <sup>2</sup> K/W]			U2 [W/m <sup>2</sup> K]			R.t [m <sup>2</sup> K/W]	U2 [W/m <sup>2</sup> K]
Cara exterior	Rse	-	-	0.05			0.64	Cara exterior	Rse	-	0.05
	Pie derecho - pino radiata	0.118	0.104	1.135	Pie derecho - pino radiata	0.118			0.104	1.135	
	Tablero OSB 690kg/m <sup>3</sup>	0.011	0.106	0.105	Volcapol 20 mm	-			-	0.281	
	Yeso Cartón	0.015	0.310	0.048	Tablero OSB 690kg/m <sup>3</sup>	0.011			0.106	0.105	
	Cara interior	Rsi	-	-	0.120	0.54			Cara interior	Rsi	-
<b>Total</b>				<b>1.56</b>	<b>Total</b>					<b>1.84</b>	
<b>U ponderado [W/m<sup>2</sup>K]</b>		<b>0.37</b>			<b>U ponderado [W/m<sup>2</sup>K]</b>		<b>0.33</b>				

**Figura n°21. Cálculos térmicos muros 2x4**
**Fuente: Elaboración propia**
**9.3. RESISTENCIAS TÉRMICAS VOLCAPOL**
**Tabla n°22. Resistencias térmicas Volcapol según su espesor**

ESPEJOR VOLCAPOL (mm)	VOLCANITA (mm)	ESPEJOR P.E (mm)	RT (m <sup>2</sup> k/W)
20	ST 10	10	0.281
22.5	ST 12.5	10	0.290
30	ST 10	20	0.523
32.5	ST 12.5	20	0.532
35	ST 15	20	0.542
40	ST 10	30	0.765
42.5	ST 12.5	30	0.775
45	ST 15	30	0.784
50	ST 10	40	1.007
52.5	ST 12.5	40	1.017
55	ST 15	40	1.026

**Fuente: Elaboración propia**



## 9.4. VERIFICACIÓN MUROS DE CORTE

Tabla n°23. Verificación muros de corte eje X

PISO	MURO	EJE	ESCUADRÍA (mm)	CONFIGURACIÓN	LARGO (m)	MOMENTO (tonf-m)	CORTE (Ton)	CORTE ADMISIBLE	DEFORMACIÓN TOTAL	DEFORMACIÓN ADMISIBLE
3	A.1.3	X-X	45 x 94	A_SIMPLE	1.22	0.35	0.30	1.06	0.17	0.49
3	A.2.3	X-X	45 x 94	A_SIMPLE	1.30	0.33	0.14	1.13	0.11	0.49
3	A.3.3	X-X	45 x 94	A_SIMPLE	1.75	0.70	0.35	1.52	0.14	0.49
3	A.4.3	X-X	45 x 94	A_SIMPLE	1.75	0.70	0.35	1.52	0.14	0.49
3	A.5.3	X-X	45 x 94	A_SIMPLE	1.30	0.33	0.14	1.13	0.11	0.49
3	A.6.3	X-X	45 x 94	A_SIMPLE	1.22	0.35	0.30	1.06	0.17	0.49
3	A1.1.3	X-X	45 x 94	B_SIMPLE	3.00	2.65	1.71	2.61	0.31	0.49
3	B.1.3	X-X	45 x 94	B_SIMPLE	3.11	2.08	1.19	2.71	0.21	0.49
3	B.2.3	X-X	45 x 94	B_SIMPLE	2.14	0.95	0.40	1.86	0.14	0.49
3	B.3.3	X-X	45 x 94	B_SIMPLE	2.14	0.95	0.40	1.86	0.14	0.49
3	B.4.3	X-X	45 x 94	B_SIMPLE	3.11	2.08	1.19	2.71	0.21	0.49
3	C.1.3	X-X	45 x 94	B_SIMPLE	3.11	1.80	1.11	2.71	0.19	0.49
3	C.2.3	X-X	45 x 94	B_SIMPLE	3.04	1.49	1.07	2.65	0.18	0.49
3	C.3.3	X-X	45 x 94	B_SIMPLE	3.04	1.49	1.07	2.65	0.18	0.49
3	C.4.3	X-X	45 x 94	B_SIMPLE	3.11	1.80	1.11	2.71	0.19	0.49
3	D.1.3	X-X	45 x 94	B_SIMPLE	7.57	5.81	5.33	6.59	0.29	0.49
3	D.2.3	X-X	45 x 94	B_SIMPLE	7.57	5.81	5.33	6.59	0.29	0.49
3	E.1.3	X-X	45 x 94	B_SIMPLE	3.11	1.80	1.11	2.71	0.19	0.49
3	E.2.3	X-X	45 x 94	B_SIMPLE	3.04	1.49	1.07	2.65	0.18	0.49
3	E.3.3	X-X	45 x 94	B_SIMPLE	3.04	1.49	1.07	2.65	0.18	0.49
3	E.4.3	X-X	45 x 94	B_SIMPLE	3.11	1.80	1.11	2.71	0.19	0.49
3	F.1.3	X-X	45 x 94	B_SIMPLE	3.11	2.08	1.19	2.71	0.21	0.49
3	F.2.3	X-X	45 x 94	B_SIMPLE	2.14	0.95	0.40	1.86	0.14	0.49
3	F.3.3	X-X	45 x 94	B_SIMPLE	2.14	0.95	0.40	1.86	0.14	0.49
3	F.4.3	X-X	45 x 94	B_SIMPLE	3.11	1.80	1.11	2.71	0.21	0.49
3	F1.1.3	X-X	45 x 94	B_SIMPLE	3.00	2.65	1.71	2.61	0.31	0.49
3	G.1.3	X-X	45 x 94	A_SIMPLE	1.22	0.35	0.30	1.06	0.17	0.49
3	G.2.3	X-X	45 x 94	A_SIMPLE	1.30	0.33	0.14	1.13	0.11	0.49
3	G.3.3	X-X	45 x 94	A_SIMPLE	1.75	0.70	0.35	1.52	0.14	0.49
3	G.4.3	X-X	45 x 94	A_SIMPLE	1.75	0.70	0.35	1.52	0.14	0.49
3	G.5.3	X-X	45 x 94	A_SIMPLE	1.30	0.33	0.14	1.13	0.11	0.49
3	G.6.3	X-X	45 x 94	A_SIMPLE	1.22	0.35	0.30	1.06	0.17	0.49
2	A.1.2	X-X	45 x 94	A DOBLE	1.22	0.59	0.51	2.12	0.16	0.49
2	A.2.2	X-X	45 x 94	A DOBLE	1.30	1.06	0.30	2.26	0.15	0.49
2	A.3.2	X-X	45 x 94	A DOBLE	1.75	2.09	0.64	3.05	0.19	0.49
2	A.4.2	X-X	45 x 94	A DOBLE	1.75	2.09	0.64	3.05	0.19	0.49
2	A.5.2	X-X	45 x 94	A DOBLE	1.30	1.06	0.30	2.26	0.15	0.49
2	A.6.2	X-X	45 x 94	A DOBLE	1.22	0.59	0.51	2.12	0.16	0.49
2	A1.1.2	X-X	45 x 94	B DOBLE	3.00	5.62	2.90	5.22	0.30	0.49
2	B.1.2	X-X	45 x 94	B DOBLE	3.11	5.79	2.13	5.41	0.24	0.49
2	B.2.2	X-X	45 x 94	B DOBLE	2.14	2.91	0.80	3.73	0.19	0.49
2	B.3.2	X-X	45 x 94	B DOBLE	2.14	2.91	0.80	3.73	0.19	0.49
2	B.4.2	X-X	45 x 94	B DOBLE	3.11	5.79	2.13	5.41	0.24	0.49
2	C.1.2	X-X	45 x 94	B DOBLE	3.11	5.08	2.02	5.41	0.22	0.49
2	C.2.2	X-X	45 x 94	B DOBLE	3.04	4.34	1.92	5.29	0.21	0.49
2	C.3.2	X-X	45 x 94	B DOBLE	3.04	4.34	1.92	5.29	0.21	0.49
2	C.4.2	X-X	45 x 94	B DOBLE	3.11	5.08	2.02	5.41	0.22	0.49
2	D.1.2	X-X	45 x 94	B DOBLE	7.57	13.69	9.97	13.18	0.27	0.49
2	D.2.2	X-X	45 x 94	B DOBLE	7.57	13.69	9.97	13.18	0.27	0.49
2	E.1.2	X-X	45 x 94	B DOBLE	3.11	5.08	2.02	5.41	0.22	0.49
2	E.2.2	X-X	45 x 94	B DOBLE	3.04	4.34	1.92	5.29	0.21	0.49
2	E.3.2	X-X	45 x 94	B DOBLE	3.04	4.34	1.92	5.29	0.21	0.49
2	E.4.2	X-X	45 x 94	B DOBLE	3.11	5.08	2.02	5.41	0.22	0.49
2	F.1.2	X-X	45 x 94	B DOBLE	3.11	5.79	2.13	5.41	0.24	0.49
2	F.2.2	X-X	45 x 94	B DOBLE	2.14	2.91	0.80	3.73	0.19	0.49
2	F.3.2	X-X	45 x 94	B DOBLE	2.14	2.91	0.80	3.73	0.19	0.49
2	F.4.2	X-X	45 x 94	B DOBLE	3.11	5.79	2.13	5.41	0.24	0.49
2	F1.1.2	X-X	45 x 94	B DOBLE	3.00	5.62	2.90	5.22	0.30	0.49
2	G.1.2	X-X	45 x 94	A DOBLE	1.22	0.59	0.51	2.12	0.16	0.49
2	G.2.2	X-X	45 x 94	A DOBLE	1.30	1.06	0.30	2.26	0.15	0.49
2	G.3.2	X-X	45 x 94	A DOBLE	1.75	2.09	0.64	3.05	0.19	0.49
2	G.4.2	X-X	45 x 94	A DOBLE	1.75	2.09	0.64	3.05	0.19	0.49
2	G.5.2	X-X	45 x 94	A DOBLE	1.30	1.06	0.30	2.26	0.15	0.49
2	G.6.2	X-X	45 x 94	A DOBLE	1.22	0.59	0.51	2.12	0.16	0.49
1	A.1.1	X-X	45 x 94	A DOBLE	1.22	1.70	0.69	2.12	0.32	0.49
1	A.2.1	X-X	45 x 94	A DOBLE	1.30	2.75	0.65	2.26	0.37	0.49
1	A.3.1	X-X	45 x 94	A DOBLE	1.75	5.14	1.12	3.05	0.40	0.49
1	A.4.1	X-X	45 x 94	A DOBLE	1.75	5.14	1.12	3.05	0.40	0.49
1	A.5.1	X-X	45 x 94	A DOBLE	1.30	2.75	0.65	2.26	0.37	0.49
1	A.6.1	X-X	45 x 94	A DOBLE	1.22	1.70	0.69	2.12	0.32	0.49
1	A1.1.1	X-X	45 x 94	B DOBLE	3.00	8.39	3.01	5.22	0.36	0.49
1	B.1.1	X-X	45 x 94	B DOBLE	3.11	11.42	2.64	5.41	0.37	0.49
1	B.2.1	X-X	45 x 94	B DOBLE	2.14	6.40	1.32	3.73	0.38	0.49
1	B.3.1	X-X	45 x 94	B DOBLE	2.14	6.40	1.32	3.73	0.38	0.49
1	B.4.1	X-X	45 x 94	B DOBLE	3.11	11.42	2.64	5.41	0.37	0.49
1	C.1.1	X-X	45 x 94	B DOBLE	3.11	10.18	2.50	5.41	0.34	0.49
1	C.2.1	X-X	45 x 94	B DOBLE	3.04	8.72	2.48	5.29	0.33	0.49
1	C.3.1	X-X	45 x 94	B DOBLE	3.04	8.72	2.48	5.29	0.33	0.49
1	C.4.1	X-X	45 x 94	B DOBLE	3.11	10.18	2.50	5.41	0.34	0.49
1	D.1.1	X-X	45 x 94	B DOBLE	7.57	21.23	10.10	13.18	0.30	0.49
1	D.2.1	X-X	45 x 94	B DOBLE	7.57	21.23	10.10	13.18	0.30	0.49
1	E.1.1	X-X	45 x 94	B DOBLE	3.11	10.18	2.50	5.41	0.34	0.49
1	E.2.1	X-X	45 x 94	B DOBLE	3.04	8.72	2.48	5.29	0.33	0.49
1	E.3.1	X-X	45 x 94	B DOBLE	3.04	8.72	2.48	5.29	0.33	0.49
1	E.4.1	X-X	45 x 94	B DOBLE	3.11	10.18	2.50	5.41	0.34	0.49
1	F.1.1	X-X	45 x 94	B DOBLE	3.11	11.42	2.64	5.41	0.37	0.49
1	F.2.1	X-X	45 x 94	B DOBLE	2.14	6.40	1.32	3.73	0.38	0.49
1	F.3.1	X-X	45 x 94	B DOBLE	2.14	6.40	1.32	3.73	0.38	0.49
1	F.4.1	X-X	45 x 94	B DOBLE	3.11	11.42	2.64	5.41	0.37	0.49
1	F1.1.1	X-X	45 x 94	B DOBLE	3.00	8.39	3.01	5.22	0.36	0.49
1	G.1.1	X-X	45 x 94	A DOBLE	1.22	1.70	0.69	2.12	0.32	0.49
1	G.2.1	X-X	45 x 94	A DOBLE	1.30	2.75	0.65	2.26	0.37	0.49
1	G.3.1	X-X	45 x 94	A DOBLE	1.75	5.14	1.12	3.05	0.40	0.49
1	G.4.1	X-X	45 x 94	A DOBLE	1.75	5.14	1.12	3.05	0.40	0.49
1	G.5.1	X-X	45 x 94	A DOBLE	1.30	2.75	0.65	2.26	0.37	0.49
1	G.6.1	X-X	45 x 94	A DOBLE	1.22	1.70	0.69	2.12	0.32	0.49

Fuente: Elaboración propia

**Tabla n°24.** Verificación muros de corte eje Y

PISO	MURO	EJE	ESCUADRÍA (mm)	CONFIGURACIÓN	LARGO (m)	MOMENTO (tonF-m)	CORTE (Ton)	CORTE ADMISIBLE	DEFORMACIÓN TOTAL	DEFORMACIÓN ADMISIBLE
3	1.1.3	Y-Y	45 x 94	B SIMPLE	3.43	2.57	2.53	2.99	0.34	0.49
3	1.2.3	Y-Y	45 x 118	C SIMPLE	1.60	0.38	0.37	1.39	0.13	0.49
3	1.3.3	Y-Y	45 x 118	C SIMPLE	1.60	0.38	0.37	1.39	0.13	0.49
3	1.3.4	Y-Y	45 x 94	B SIMPLE	3.43	2.57	2.53	2.99	0.34	0.49
3	2.1.3	Y-Y	45 x 118	C SIMPLE	1.22	0.33	0.12	1.06	0.10	0.49
3	3.1.3	Y-Y	45 x 94	B SIMPLE	2.63	1.77	1.09	2.29	0.24	0.49
3	3.2.3	Y-Y	45 x 94	B SIMPLE	2.63	1.46	1.03	2.29	0.22	0.49
3	3.3.3	Y-Y	45 x 94	B SIMPLE	2.63	1.77	1.09	2.29	0.24	0.49
3	3.4.3	Y-Y	45 x 94	B SIMPLE	2.63	1.46	1.03	2.29	0.22	0.49
3	4.1.3	Y-Y	45 x 118	C SIMPLE	6.21	10.30	4.25	5.41	0.30	0.49
3	4.2.3	Y-Y	45 x 118	C SIMPLE	1.22	0.29	0.13	1.06	0.09	0.49
3	4.3.3	Y-Y	45 x 118	C SIMPLE	6.21	10.30	4.25	5.41	0.30	0.49
3	5.1.3	Y-Y	45 x 118	C SIMPLE	6.21	10.30	4.25	5.41	0.30	0.49
3	5.2.3	Y-Y	45 x 118	C SIMPLE	1.22	0.29	0.13	1.06	0.09	0.49
3	5.3.3	Y-Y	45 x 118	C SIMPLE	6.21	10.30	4.25	5.41	0.30	0.49
3	6.1.3	Y-Y	45 x 94	B SIMPLE	2.63	1.77	1.09	2.29	0.24	0.49
3	6.2.3	Y-Y	45 x 94	B SIMPLE	2.63	1.46	1.03	2.29	0.22	0.49
3	6.3.3	Y-Y	45 x 94	B SIMPLE	2.63	1.77	1.09	2.29	0.24	0.49
3	6.4.3	Y-Y	45 x 94	B SIMPLE	2.63	1.46	1.03	2.29	0.22	0.49
3	7.1.3	Y-Y	45 x 118	C SIMPLE	1.22	0.33	0.12	1.06	0.10	0.49
3	8.1.3	Y-Y	45 x 94	B SIMPLE	3.43	2.57	2.53	2.99	0.34	0.49
3	8.2.3	Y-Y	45 x 118	C SIMPLE	1.60	0.38	0.37	1.39	0.13	0.49
3	8.3.3	Y-Y	45 x 118	C SIMPLE	1.60	0.38	0.37	1.39	0.13	0.49
3	8.4.3	Y-Y	45 x 94	B SIMPLE	3.43	2.57	2.53	2.99	0.34	0.49
2	1.1.2	Y-Y	45 x 94	B DOBLE	3.43	6.65	4.40	5.97	0.35	0.49
2	1.2.2	Y-Y	45 x 118	C DOBLE	1.60	1.82	0.92	2.79	0.22	0.49
2	1.3.2	Y-Y	45 x 118	C DOBLE	1.60	1.82	0.92	2.79	0.22	0.49
2	1.4.2	Y-Y	45 x 94	B DOBLE	3.43	6.65	4.40	5.97	0.35	0.49
2	2.1.2	Y-Y	45 x 94	C DOBLE	1.22	1.01	0.26	2.12	0.14	0.49
2	3.1.2	Y-Y	45 x 94	B DOBLE	2.63	4.69	1.94	4.58	0.27	0.49
2	3.2.2	Y-Y	45 x 94	B DOBLE	2.63	4.16	1.86	4.58	0.25	0.49
2	3.3.2	Y-Y	45 x 94	B DOBLE	2.63	4.16	1.86	4.58	0.25	0.49
2	3.4.2	Y-Y	45 x 94	B DOBLE	2.63	4.69	1.94	4.58	0.27	0.49
2	4.1.2	Y-Y	45 x 118	C DOBLE	6.21	28.70	7.37	10.81	0.31	0.49
2	4.2.2	Y-Y	45 x 118	C DOBLE	1.22	0.96	0.27	2.12	0.14	0.49
2	4.3.2	Y-Y	45 x 118	C DOBLE	6.21	28.70	7.37	10.81	0.31	0.49
2	5.1.2	Y-Y	45 x 118	C DOBLE	6.21	28.70	7.37	10.81	0.31	0.49
2	5.2.2	Y-Y	45 x 118	C DOBLE	1.22	0.96	0.27	2.12	0.14	0.49
2	5.3.2	Y-Y	45 x 118	C DOBLE	6.21	28.70	7.37	10.81	0.31	0.49
2	6.1.2	Y-Y	45 x 94	B DOBLE	2.63	4.69	1.94	4.58	0.27	0.49
2	6.2.2	Y-Y	45 x 94	B DOBLE	2.63	4.16	1.86	4.58	0.25	0.49
2	6.3.2	Y-Y	45 x 94	B DOBLE	2.63	4.16	1.86	4.58	0.25	0.49
2	6.4.2	Y-Y	45 x 94	B DOBLE	2.63	4.69	1.94	4.58	0.27	0.49
2	7.1.2	Y-Y	45 x 118	C DOBLE	1.22	1.01	0.26	2.12	0.14	0.49
2	8.1.2	Y-Y	45 x 94	B DOBLE	3.43	6.65	4.40	5.97	0.35	0.49
2	8.2.2	Y-Y	45 x 118	C DOBLE	1.60	1.82	0.92	2.79	0.22	0.49
2	8.3.2	Y-Y	45 x 118	C DOBLE	1.60	1.82	0.92	2.79	0.22	0.49
2	8.4.2	Y-Y	45 x 94	B DOBLE	3.43	6.65	4.40	5.97	0.35	0.49
1	1.1.1	Y-Y	45 x 94	B DOBLE	3.43	11.73	4.70	5.97	0.44	0.49
1	1.2.1	Y-Y	45 x 118	C DOBLE	1.60	4.17	1.30	2.79	0.40	0.49
1	1.3.1	Y-Y	45 x 118	C DOBLE	1.60	4.17	1.30	2.79	0.40	0.49
1	1.4.1	Y-Y	45 x 94	B DOBLE	3.43	11.73	4.70	5.97	0.44	0.49
1	2.1.1	Y-Y	45 x 118	C DOBLE	1.22	2.67	0.61	2.12	0.36	0.49
1	3.1.1	Y-Y	45 x 94	B DOBLE	2.63	8.89	2.41	4.58	0.41	0.49
1	3.2.1	Y-Y	45 x 94	B DOBLE	2.63	8.40	2.37	4.58	0.40	0.49
1	3.3.1	Y-Y	45 x 94	B DOBLE	2.63	8.40	2.37	4.58	0.40	0.49
1	3.4.1	Y-Y	45 x 94	B DOBLE	2.63	8.89	2.41	4.58	0.41	0.49
1	4.1.1	Y-Y	45 x 118	C DOBLE	6.21	51.10	8.60	10.81	0.42	0.49
1	4.2.1	Y-Y	45 x 118	C DOBLE	1.22	2.63	0.63	2.12	0.36	0.49
1	4.3.1	Y-Y	45 x 118	C DOBLE	6.21	51.10	8.60	10.81	0.42	0.49
1	5.1.1	Y-Y	45 x 118	C DOBLE	6.21	51.10	8.60	10.81	0.42	0.49
1	5.2.1	Y-Y	45 x 118	C DOBLE	1.22	2.63	0.63	2.12	0.36	0.49
1	5.3.1	Y-Y	45 x 118	C DOBLE	6.21	51.10	8.60	10.81	0.42	0.49
1	6.1.1	Y-Y	45 x 94	B DOBLE	2.63	8.89	2.41	4.58	0.41	0.49
1	6.2.1	Y-Y	45 x 94	B DOBLE	2.63	8.40	2.37	4.58	0.40	0.49
1	6.3.1	Y-Y	45 x 94	B DOBLE	2.63	8.40	2.37	4.58	0.40	0.49
1	6.4.1	Y-Y	45 x 94	B DOBLE	2.63	8.89	2.41	4.58	0.41	0.49
1	7.1.1	Y-Y	45 x 118	C DOBLE	1.22	2.67	0.61	2.12	0.36	0.49
1	8.1.1	Y-Y	45 x 94	B DOBLE	3.43	11.73	4.70	5.97	0.44	0.49
1	8.2.1	Y-Y	45 x 118	C DOBLE	1.60	4.17	1.30	2.79	0.40	0.49
1	8.3.1	Y-Y	45 x 118	C DOBLE	1.60	4.17	1.30	2.79	0.40	0.49
1	8.4.1	Y-Y	45 x 94	B DOBLE	3.43	11.73	4.70	5.97	0.44	0.49

Fuente: Elaboración propia

## 9.5. DEFORMACIONES SÍSMICAS NCh433

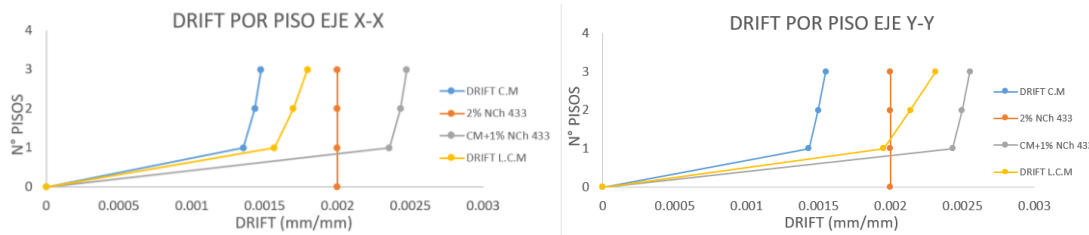


Figura n°22. Desplazamientos sísmicos entre piso  
Fuente: Elaboración propia

## 9.6. COSTO

Análisis de Precios Unitarios											
Nombre	IMPLEMENTACIÓN POLIGYP										
Unidad	\$/m2										
Mano de obra		Unidad	Rendimiento	Unidad	Rendimiento	Unidad	P.U	Unidad	P.total	Unidad	
Maestro		día	15.00	m2/día	25	m2/día	30000	\$/día	1200	\$/m2	
Ayudante		día	10.00	m2/día	25	m2/día	20000	\$/día	800	\$/m2	
									<b>Total mano de obra</b>	2000	\$/m2
									<b>Leyes Sociales (25%)</b>	500	\$/m2
									<b>Total</b>	<b>2500</b>	\$/m2
Materiales		Unidad	Rendimiento	Unidad	1/ Rendimiento	Unidad	P.U	Unidad	P.total	Unidad	
Volcapol 40 mm		Un	2.88	m2/un	0.35	un/m2	29400	\$/un	10212	\$/m2	
Pegamento Poligyp 25 kg		Un	0.29	m2/kg	3.50	kg/m2	711	\$/kg	2488	\$/m2	
									<b>Total materiales</b>	<b>12700</b>	\$/m2
									<b>Total</b>	<b>15200</b>	\$/m2
Análisis de Precios Unitarios											
Nombre	CONFECCIÓN DE MUROS 2X4										
Unidad	\$/m2										
Mano de obra		Unidad	Rendimiento	Unidad	Rendimiento	Unidad	P.U	Unidad	P.total	Unidad	
Maestro		día	10.00	m2/día	15	m2/día	30000	\$/día	2000	\$/m2	
Ayudante		día	5.00	m2/día	15	m2/día	20000	\$/día	1333	\$/m2	
									<b>Total mano de obra</b>	3333	\$/m2
									<b>Leyes Sociales (25%)</b>	833	\$/m2
									<b>Total</b>	<b>4167</b>	\$/m2
Materiales		Unidad	Rendimiento	Unidad	1/ Rendimiento	Unidad	P.U	Unidad	P.total	Unidad	
Lana mineral 80 mm		Un	6.00	m2/un	0.17	un/m2	37990	\$/un	6332	\$/m2	
OSB 11.1 mm		Un	2.88	m2/un	0.35	un/m2	15126	\$/un	5252	\$/m2	
Pie derecho 2x4 aserrado 3.2 m		Un	0.72	m2/un	1.39	un/m2	4570	\$/un	6352	\$/m2	
Placa Yeso-Cartón		Un	2.88	m2/un	0.35	un/m2	15546	\$/un	5398	\$/m2	
									<b>Total materiales</b>	<b>23334</b>	\$/m2
									<b>Total</b>	<b>27500</b>	\$/m2
Análisis de Precios Unitarios											
Nombre	CONFECCIÓN DE MUROS 2X5										
Unidad	\$/m2										
Mano de obra		Unidad	Rendimiento	Unidad	Rendimiento	Unidad	P.U	Unidad	P.total	Unidad	
Maestro		día	10.00	m2/día	15	m2/día	30000	\$/día	2000	\$/m2	
Ayudante		día	5.00	m2/día	15	m2/día	20000	\$/día	1333	\$/m2	
									<b>Total mano de obra</b>	3333	\$/m2
									<b>Leyes Sociales (25%)</b>	833	\$/m2
									<b>Total</b>	<b>4167</b>	\$/m2
Materiales		Unidad	Rendimiento	Unidad	1/ Rendimiento	Unidad	P.U	Unidad	P.total	Unidad	
Lana mineral 100 mm		Un	6.00	m2/un	0.17	un/m2	41160	\$/un	6860	\$/m2	
OSB 11.1 mm		Un	2.88	m2/un	0.35	un/m2	15126	\$/un	5252	\$/m2	
Pie derecho 2x5 aserrado 3.20 m		Un	0.72	m2/un	1.39	un/m2	6060	\$/un	8423	\$/m2	
Placa Yeso-Cartón		Un	2.88	m2/un	0.35	un/m2	15546	\$/un	5398	\$/m2	
									<b>Total materiales</b>	<b>25933</b>	\$/m2
									<b>Total</b>	<b>30100</b>	\$/m2

Figura n°23. Análisis de precios unitarios  
Fuente: Elaboración propia