

**UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
SEDE CONCEPCIÓN REY BALDUINO DE BELGICA**

**DISEÑO DE ESTRUCTURA MODULAR
CON EFICIENCIA TÉRMICA PARA LA REGIÓN DEL BIOBÍO**

Trabajo de titulación para optar al título
profesional de ingeniero de ejecución en
PROYECTO ESTRUCTURAL

Nombre del alumno

David Francisco Sanchez Arancibia

Nombre profesor guía

Juan José Figueroa Cohn

2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título; ☐ Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: Diseño de estructura modular con eficiencia térmica para la región del BioBío

Nombre del candidato(a): David Francisco Sánchez Arancibia

Carrera / Grado: Ingeniería de ejecución en proyectos estructurales

Campus: Concepcion ; **Departamento:** mecánica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Juan José Figueroa Cohn, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

☒ El trabajo **NO contiene información que amerite confidencialidad** y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

☐ 6 meses; ☐ 12 meses; ☐ 2 años; ☐ 3 años; ☐ 5 años; ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 12-08-2025

; Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 12-08-2025

; Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

DEDICATORIA

Principalmente dedico este trabajo a mi Dios, ya que todo lo que tengo es de su propiedad, y sin él no habría podido llegar hasta este punto de desarrollo personal. Nací en este mundo sin nada, y soy mero administrador de las posesiones que tengo. También, le agradezco y estoy en deuda, por todas esas personas de la que él me rodeó, y que se caracterizan de mucha paciencia y buenas intenciones. Personas que con mi carisma o mis propios méritos nunca hubiese tocado la fibra de sus corazones para que me apoyaran en lo que hago. De esta manera puedo dar algunas menciones de aquellas personas: mi padre, quien nunca dejó de apoyarme en la parte académica y espiritual. A mi madre y su esposo quienes no dejaron de tratar de involucrarse para que termine este ciclo. A mis tías por parte de padre, y a mi abuela por parte de mi padre, que tampoco dejaron de orar para que pudiese algún día tomar lo que se me ofertó en algún momento, una ingeniería.

Y también quiero mencionar a mi profesor a quien molesté tanto, y fui una espina en el pie durante todos estos años. Muchas gracias a todas esas personas que no nombré que también formaron parte de este importante escalón.

RESUMEN

Capítulo 1: Marco Teórico: Este capítulo define las estructuras modulares como construcciones prefabricadas que se ensamblan en un destino final, y los módulos como las piezas que componen el sistema. También explica la eficiencia térmica, sus conceptos clave como la termodinámica, la transferencia de calor y la resistencia térmica, y presenta la Ley de Fourier. Finaliza describiendo la importancia de la envolvente térmica y el uso de software de diseño como Revit e Inventor, y el concepto de BIM (Building Information Modeling) para proyectos más eficientes.

Capítulo 2: Situación Actual: Se analiza el déficit habitacional en Chile, destacando que la región del Biobío tiene un 10% de déficit en relación con su población total y ocupa el tercer lugar a nivel nacional. El capítulo también clasifica los tipos de construcciones según su material y menciona las normativas chilenas (NCh) relevantes para el diseño estructural, sísmico y térmico, así como los beneficios de las estructuras modulares.

Capítulo 3: Simulación 3D por Software: En este capítulo se detalla el proceso de diseño de una vivienda modular de 25m² con dos módulos, utilizando software como Revit. Se explica el uso de paneles SIP (Structural Insulated Panels) para la envolvente térmica, los materiales adicionales y la estructura reticular de los pilares. Se basa en aprovechar las dimensiones estándar de los materiales para optimizar el costo y el inventario.

Capítulo 4: Estudio Técnico y Económico: Se presenta el método de análisis estructural, especialmente el análisis sísmico, para demostrar que la estructura modular cumple con las normas chilenas. Se cuantifican los materiales de acero y otros elementos, y se realiza un análisis económico del proyecto. Finalmente, se comparan los costos y beneficios con otras opciones del mercado.

INDICE

INTRODUCCION 6

OBJETIVOS 7

 OBJETIVO GENERAL 7

 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....7

CAPITULO 1: MARCO TEORICO 8

 1.1. ESTRUCTURAS MODULARES 9

 1.2. MODULOS 9

 1.3. INTRODUCCIÓN A LA EFICIENCIA TÉRMICA.....10

 1.3.1. Eficiencia.....10

 1.3.2. Térmico 10

 1.3.3. Termodinámica y transferencia de calor 10

 1.3.4. Resistencia térmica.....12

 1.3.5. Ley de Fourier 13

 1.4. ESTRUCTURA Y ENVOLVENTE TÉRMICA 14

 1.4.1. Estructura reticular 14

 1.4.2. Envolvente térmica.....14

 1.5. SOFTWARE DE DISEÑO 15

 1.5.1. Revit 16

 1.5.2. Inventor 17

 1.6. BIM 17

CAPITULO 2: SITUACION ACTUAL 18

 2.1. DÉFICIT HABITACIONAL 19

 2.2. TIPOS DE CONSTRUCCIONES DEL PAIS 19

 2.2.1. Clasificación de estructuras.....19

 2.2.2. Estructuras más usadas.....20

 2.2.3. Casas en impresión 3d.....22

 2.3. NORMATIVAS 22

 2.3.1. Norma NCh 203 Acero Estructural.....23

 2.3.2. Norma NCh 431 Cargas de nieve 23

2.3.3.	Norma NCh 432 Cálculo de la acción del viento sobre las construcciones	23
2.3.4.	Norma NCh 433 Diseño sísmico de edificios	23
2.3.5.	Norma NCh 2369-2003	24
2.3.6.	Norma NCh 427 Calculo Estructural	24
2.3.7.	Norma NCh 1079 Arquitectura y construcción-Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para diseño arquitectónico.....	25
2.3.8.	Calificación Energética de Vivienda.....	25
2.3.9	Normas de eficiencia térmica.....	25
2.4.	BENEFICIOS DE UNA ESTRUCTURA MODULAR	26
CAPITULO 3: SIMULACION 3D POR SOFTWARE		27
3.1.	PROCESO DE DISEÑO DEL MODULO	28
3.1.1.	Ejes de simetría	28
3.1.2.	Placas de anclaje y dados de hormigón.....	29
3.1.3.	Inserción de pilares o columnas a Revit.....	30
3.1.4.	Materiales adicionales.....	38
3.1.5.	Estructura diseñada	39
CAPITULO 4: ESTUDIO TECNICO Y ECONOMICO		43
4.1.	METODO DE ANALISIS	44
4.1.1.	Análisis sísmico	44
4.2.	CUANTIFICACION DE LA ESTRUCTURA MODULAR.....	51
4.2.1.	Materiales de acero	51
4.2.2.	Otros materiales	55
4.3.	CRONOGRAMA Y AJUSTES	58
4.4.	OTRAS OPCIONES DEL MERCADO	60
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		63
LINKOGRAFIA Y FUENTES DE LA INFORMACIÓN		64

INTRODUCCION

En la época del renacimiento, si se habla de equilibrio de fuerzas, las estructuras debían seguir ciertos patrones para poder mantenerse de pie adaptando las formas, en su mayoría soportada por arcos. Por ejemplo, se debían añadir estos arcos actuando como un conductor, para solucionar problemas estructurales redistribuyendo las cargas. Por eso las estructuras de esa época ocupan tanta área de terreno, si hubieran conocido el hormigón armado la historia sería distinta, ya que en la actualidad se suele ocupar mucho para el esqueleto en casi la totalidad de los edificios de grandes alturas ocupando mucho menos espacio. Otro ejemplo más actual de ingeniería con falta de tecnología más moderna, son las estructuras de vigas de acero que debían ser acopladas entre si con remaches de gran grosor, los cuales debían soportar cargas toda la vida útil de la edificación, hasta el día en el que aparecieron las máquinas de soldar, con ello también se solucionaron problemas con la distribución de carga, ya que los remaches eran un punto de fallo importante y se debían usar muchos para unir cada viga o columna de acero. Estos dos ejemplos emblemáticos dan a entender la importancia de la tecnología que va a la vanguardia en pro de la eficacia mejorando la calidad de la estructura, y la eficiencia acelerando los tiempos en el diseño y construcción de estructuras con las herramientas que tenemos a mano.

Actualmente, existe un amplio catálogo de posibilidades estructurales a conveniencia no solo de la necesidad con urgencia, también a la necesidad que supondría un buen proyecto, cubriendo las características que correspondan, esto se refiere a la calidad de la estructura y el ahorro energético que ofrece el material, la forma que tenga y el lugar en el que se establezca. A raíz de esto, el imperante requerimiento de ahorrar a largo plazo se ha transformado en un factor importante no solo para el empresario, también es un hecho que existe la ingeniería económica fuertemente arraigada a los gastos que realiza el jefe de hogar del común ciudadano. Exactamente son las variables que la estructura modular con eficiencia térmica tiene para entrar en ese mercado el cual busca asesorar a aquellos que se determinen en obtener una combinación de gastos largo plazo y calidad con ingeniería en detalle, e infaltable transparencia de información comprensible para uso del usuario común, lo que optimiza de manera enorme el tiempo requerido a la hora de tomar decisiones referentes al producto que se desee diseñar. Así mismo, es una ayuda infinita el asesoramiento de programas computacionales que permiten un flujo de información preciso, ordenado, fácil de manipular y exportar en cualquier lugar, y es uno de los puntos fuertes que se busca con lo modular, evitar puntos muertos en el proceso de unión de las estructuras.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

-Diseñar una estructura modular multifuncional para la región del Biobío.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

-Definir en qué consisten las estructuras modulares

-Elaborar el diseño de la estructura modular mediante un software.

-Realizar evaluación económica de la fabricación de la estructura modular.

CAPITULO 1: MARCO TEORICO

1.1. ESTRUCTURAS MODULARES

Las estructuras modulares son el resultado del proceso de una construcción fuera del emplazamiento a su destino final, y bajo condiciones de control estrictos. Es decir, es una estructura que se complementa de diferentes piezas que permiten su traslado desde el lugar donde se generaron hasta el lugar en donde finalmente van a dar su uso en conjunto. La idea de condiciones y controles estrictos en el lugar donde se fabricaron las piezas proviene de un control de calidad por parte de la empresa que sugiere esta modalidad de construcción de estructuras, para satisfacer la necesidad del consumidor a partir de aseverar que todas las partes cumplen con estándares evaluados en el proceso y finalización.

Pero ¿porque se llaman estructuras modulares?, pues porque son estructuras que son compuestas por módulos. Entonces, ¿Qué es un módulo?

1.2. MODULOS

De la raíz en latín “modulus” y significa “pequeña manera o medida”. El módulo en el área de construcción es una estructura o bloque de piezas que organizados al ensamblar forma parte de un sistema más grande. O sea, que están contruidos de tal manera que están relacionados de alguna forma con el resto de los componentes.

Se le conoce como modularidad a los elementos que se vinculan entre sí de forma sencilla y que cada uno cumple una función para un objetivo en común. Es el resultado de la comunión entre estas al conformar un cuerpo más grande.

Sin embargo, se debe asumir consciencia de los retrasos que puede generar una estructura modular. Suelen existir problemas al llevar el diseño del papel a la realidad, de hecho, suele ser el factor común de muchos proyectos, esto se debe a la mala coordinación de las partes involucradas en el proceso de desarrollo de los módulos. También otra razón siempre presente es la falta de conocimiento que se obtiene de manera empírica o por experiencia. Por esta razón es necesario dejar en claro cuáles son los límites y procedimientos que se deben respetar a la hora de realizar un trabajo, y el resultado de respetar estos procedimientos y límites será una calidad superior a la de un proyecto hecho sin un orden establecido, esto se puede lograr mediante las normativas que la empresa ha adoptado para realizar sus trabajos.

1.3. INTRODUCCIÓN A LA EFICIENCIA TÉRMICA

Para entender que es la actual eficiencia térmica primero es necesario comprender las palabras que la componen “eficiencia” y “térmica”.

1.3.1. Eficiencia

La palabra eficiencia según varias fuentes proviene de la palabra en latín “efficientia” que significa “cualidad de producir algo, o de completar algo”. En la actualidad se usa en el español la palabra eficiencia para describir un método que permite completar las tareas con menos recursos de los que se suelen utilizar normalmente. Por lo que también para cualquier compañía o persona familiarizada con esta palabra, sabe que significa también “ahorro”, ya sea a largo o a corto plazo.

1.3.2. Térmico

La palabra térmico viene de bases griegas de las palabras “thermos” que significa caliente, y el sufijo “ico” que es “relativo a”. Por lo tanto, la palabra en conjunto tiene como significado “relativo al calor”.

En este episodio se verá algo básico de la “termodinámica”, palabra que se usa actualmente como la ciencia que estudia la interconversión de calor en trabajo”.

1.3.3. Termodinámica y transferencia de calor

Hay que visualizar lo siguiente, en este universo al entregar calor a un objeto, este objeto se va a calentar hasta el punto en el que alcance el equilibrio térmico. O sea, tanto el emisor como el objeto receptor tendrán una misma temperatura. Si es una fuente constante de calor ese calor no aumentará a menos que su fuente de energía se incremente. En cambio, si hay una fuente de calor con un límite de calor disponible, la fuente de calor irá cediendo su calor a medida que alcance el dichoso equilibrio térmico entre el dador de calor y el receptor de calor.

Cuando se estudia la termodinámica, suele centrarse el tema en la cantidad de transferencia de calor a medida que un sistema pasa por un proceso de estado de equilibrio a otro y no hay preocupación cuanto durara ese proceso. Sin embargo, en ingeniería a menudo existe un interés en la rapidez o razón de esa transferencia, la cual constituye el tema de la ciencia de la transferencia de calor.

La transferencia de energía siempre es unidireccional, ósea que se transfiere desde el medio o fuente que tenga la temperatura más elevada hacia el que tenga la temperatura más baja, y esa transferencia se detiene cuando ambos alcanzan la misma temperatura (equilibrio térmico).

Para que no haya confusiones el calor se define como la forma de energía que se transfiere debido a una diferencia entre un sistema y sus alrededores. Y existen diferentes y numerosas formas en la que la energía puede existir.

Un punto importante es que la termodinámica trata de los estados de equilibrio y de los cambios desde un estado de equilibrio hacia otro. Pero por otra parte la transferencia de calor se ocupa de los sistemas en los que falta el equilibrio térmico y, por tanto, existe un fenómeno de no equilibrio. Entonces, el estudio de la transferencia de calor no puede basarse solamente en los principios de la termodinámica. Sin embargo, las leyes de la termodinámica ponen la estructura para la ciencia de la transferencia de calor.

En la vida diaria con frecuencia se hace referencia a las formas latentes y sensibles de la energía interna como calor y se habla del contenido de calor de los cuerpos. Sin embargo, en la termodinámica a esas formas de energía se les suele mencionar como energía térmica, con el fin de impedir que se tenga una confusión con la transferencia de calor.

Las formas sensible y latente de energía interna se pueden transferir como resultado de una diferencia de temperatura y se mencionan como calor o energía térmica. Manteniéndose alineados con la práctica actual, se le llamará a la energía térmica “calor” y a la transferencia de energía térmica “transferencia de calor”. La cantidad de calor transferido durante el proceso se denota por “ Q ”. La cantidad de calor transferido por unidad de tiempo se llama razón de transferencia y se denota por “ $\dot{Q}$ ”.

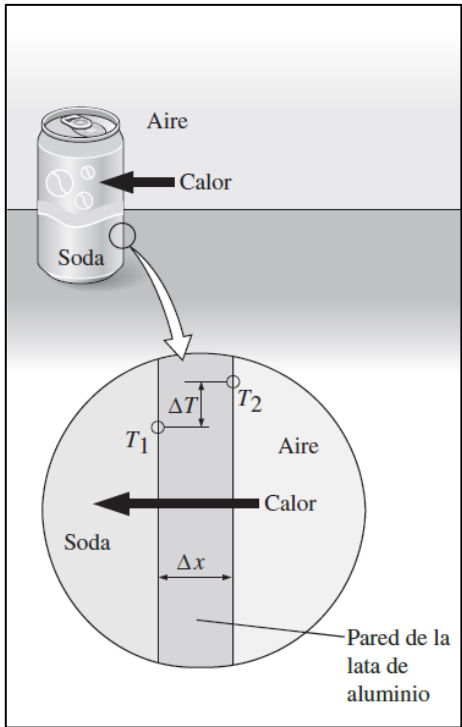
El punto arriba en $\dot{Q}$ representa la derivada respecto al tiempo, o “por unidad de tiempo”. La velocidad de transferencia de calor $\dot{Q}$ tiene la unidad J/s (joule por segundo), lo cual es equivalente a W (watts). O sea que la potencia es igual a la razón de transferencia de calor.

1.3.4. Resistencia térmica

¿Qué es resistencia térmica? En síntesis, es la oposición de un material al flujo de energía en forma de calor desde un ambiente pasando por el material como puente y tratando de llegar al otro lado del material. Es decir, un material tiene excelente resistencia térmica porque posee pésima conductividad térmica, una característica deriva de la otra.

Ahora que se entiende que es el concepto de resistencia térmica, se subentiende que existen materiales que se proponen en estructuras, para anular de forma eficiente las fugas de calor y todos los rincones donde existan puentes térmicos, y se reemplazará o añadirá un material por otro o sobre otro respectivamente, esto permite aislar el área en cuestión. Otro ejemplo grafico es el de una lata de bebida o soda fría, y dependiendo de la información se vislumbra que un ambiente dominante será el donante o absorbente del calor. Por lo tanto, si la lata esta más fría que el ambiente, la lata recibirá calor desde el ambiente hasta que haya un equilibrio térmico entre la lata, el interior de la lata y el ambiente. Entonces existen los siguientes actores, la soda que está dentro de la lata que actúa como un ambiente distinto al de afuera, el aluminio que actúa como el material separador de ambientes y sugiere un ambiente sellado para el interior de la lata, y el ambiente que entrega calor al interior de la lata a través del aluminio.

Figura 1- 1: resistencia térmica



Fuente:

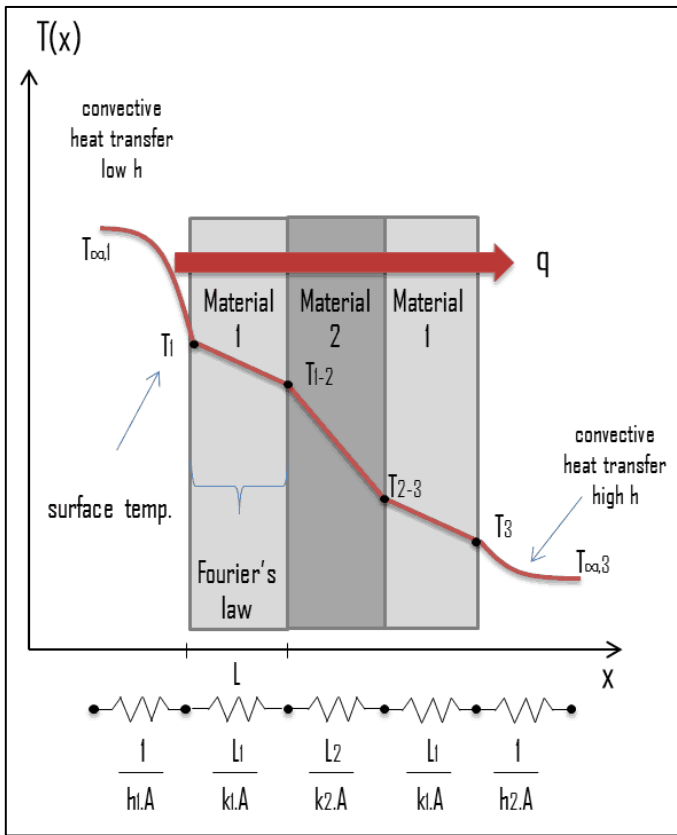
Si se conoce el material que interviene entre ambos ambientes es necesario investigar sus características. Afortunadamente muchos de los cálculos ya se han hecho y existen tablas

de materiales y sus respectivos coeficientes de conductividad térmica dispuestas para usar en la ecuación reemplazando por los valores correspondientes. La conductividad se denomina k y sus unidades de medidas son Watts dividido en metros por grados kelvin (o grados Celsius en este caso) ($k = \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$).

1.3.5. Ley de Fourier

Esta ley indica que la tasa de conducción de calor de una dirección es proporcional al gradiente de temperatura en esa misma dirección. El significado etimológico de gradiente deriva del latín, exactamente de “gradiens, gradientis” que puede traducirse como “que descende” o “que da pasos”. Su concepto es en referencia a la razón existente entre el cambio del valor de una magnitud en dos puntos y la distancia que se registra entre ellos. Lo cual hace bastante sentido, después de todo se ha estado hablando todo el tiempo que la transferencia de calor hacia una sola dirección, desde el sistema que tiene mayor energía al que tiene menos.

Figura 1- 2: ley de Fourier



Fuente: <https://www.thermal-engineering.org/>

1.4. ESTRUCTURA Y ENVOLVENTE TÉRMICA

Como resultado de varios estudios y conocimiento empírico se ha determinado que un buen aislamiento térmico es sinónimo de eficiencia térmica o capacidad para ahorrar energía usada en calentar o enfriar un ambiente. Paralelamente al usar materiales con excelentes propiedades aislantes en la mayoría de los casos se sacrifican las propiedades mecánicas de elementos que pueden significar puentes térmicos, pero a su vez son piezas clave para la sustentación de la estructura en situaciones como la que amerita el territorio chileno. A raíz de investigaciones vigentes es que hay nuevos materiales con propiedades que se adecuen a las necesidades, en este caso que no se vean afectadas las estructuras en temas de estabilidad mecánica y eficiencia térmica que es lo que más se busca actualmente.

1.4.1. Estructura reticular

Una estructura reticular o reticulada es una estructura formada por un conjunto de secciones interconectadas y entrecruzadas unidas por medio de nudos articulados o rígidos formando triángulos.

Cuando la estructura está formada por nudos articulados, las barras solo trabajan a esfuerzo axial (tracción o compresión), mientras que si los nudos son rígidos las barras trabajarán con esfuerzo axial, cortante y momento flector.

Otro nombre que reciben en ingeniería estructural es de armadura o celosía.

1.4.2. Envolverte térmica

Se ha de saber que los materiales térmicos forman parte de la disciplina del aislamiento térmico, junto con técnicas correctas de instalación que se aplican en los elementos constructivos que separan un espacio de ambiente controlado de otro total o parcialmente diferente para reducir de manera considerable la transferencia de calor entre ellos. En resumen, la envolvente térmica está compuesta por todos los cerramientos que limitan los recintos habitables del exterior. Estos cerramientos pueden ser, pisos, muros opacos como las paredes o translúcidos como las ventanas, y techumbres.

La transferencia de calor se denomina k , sin embargo, también se usa la letra griega lambda " λ ". Si se busca en libros físicos o documentos digitales se pueden encontrar tablas de comparación para materiales térmicos y sus distintas magnitudes referidas a la transferencia de calor con la letra k o la letra λ , por lo tanto, los parámetros que convienen son menos grosor y menos transferencia de calor, esto ayuda a tomar decisiones referidas

a la disponibilidad del material junto con el precio y adaptación al tipo de envoltente. La idea siempre es invertir en menos material y posea una eficacia similar o mejor que el común y a un precio accesible, sin embargo, los proyectos de aislamiento térmico suelen ser caros, pero a largo plazo el ahorro energético es visible en los gastos anuales para enfriar y calentar el ambiente intervenido.

1.5. SOFTWARE DE DISEÑO

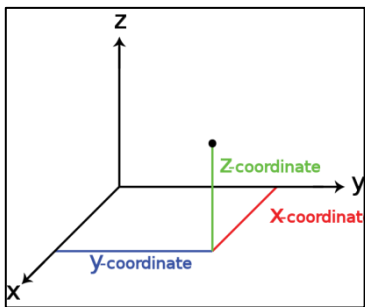
Los orígenes de la simulación se remontan a la segunda Guerra Mundial cuando los matemáticos, John Von Neumann y Stanislaw Marcin Ulam, tenían el resto de resolver un problema complejo relacionado con el comportamiento de los neutrones. Los experimentos basados en prueba y error eran muy caros y el problema era demasiado complicado para ser abordado mediante técnicas analíticas. La aproximación que eligieron se basa en la utilización de números aleatorios y distribuciones de probabilidad. Durante la Guerra Fría se intensificó el uso de la simulación para resolver problemas de interés militar; trayectorias y dinámicas de satélites artificiales, guiar misiles, etc. Muchos de estos problemas exigen la resolución de sistemas de ecuaciones diferenciales no lineales. Para abordar estos problemas se utilizaron computadoras analógicas que usaban elementos electrónicos para resolver operaciones matemáticas: integración, suma, multiplicación, generación de funciones, etc.

En la actualidad aún se define la simulación como la utilización de un modelo de sistemas, que trata de acercarse más a las características de la realidad, a fin de reproducir la esencia de las operaciones reales.

Evidentemente aún se usan estas simulaciones con el propósito de ahorrar en estudios previos y proyecciones más precisas.

Hoy en día los programas de simulación poseen una interfaz que permite simular un espacio similar al de la vida real y al mismo tiempo brinda la oportunidad de navegar en él, tanto en 2 y 3 dimensiones, pero ¿Qué significa 2 y 3 dimensiones?

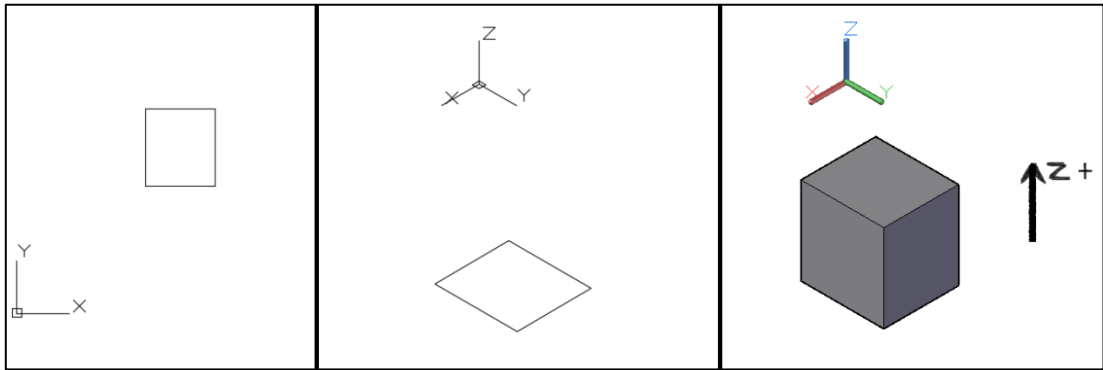
Figura 1- 3: coordenadas



Fuente: Google

La imagen de ejemplo muestra las coordenadas del eje Y con coordenadas del eje X en el plano cartesiano, pero existe una coordenada que da la profundidad pasando de un plano de dos dimensiones a uno con volumen de tres dimensiones. Para mayor claridad acá hay una imagen que representa mejor lo que se plantea con esto de las coordenadas.

Figura 1- 4: vistas



Fuente: AutoCAD

En la primera viñeta hay un cuadrado en dos dimensiones, en la siguiente viñeta se aprecia el mismo cuadrado en una vista isométrica, como observador desde la esquina superior. Y en el último cuadro se observa que el cuadrado se le añadió una nueva magnitud en un eje perpendicular al plano. Ahora existe un volumen.

1.5.1. Revit

AutoCAD de Autodesk es muy famoso, muchas y empresas y dibujantes en su mayoría saben de él. Y actualmente se ha de saber que también existen muchos programas similares producidos por Autodesk y por otras compañías, hechos para tareas específicas, enfocadas en aumentar la eficiencia de los proyectos que se requieran lograr. Revit también es uno de esos programas que usa una interfaz de 2 y 3 dimensiones y que tiene un enfoque para modelado arquitectónico y estructural. Pero hay una diferencia muy grande en la interfaz, en la manera que está dispuesto el programa para hacer modificaciones al proyecto y las compatibilidades que tiene con otros programas que se suelen usar en conjunto para darle mayor aprovechamiento a los archivos e información. Por ejemplo, en AutoCAD se pueden hacer modelos en 3D, en Inventor y en Maya también, pero lo realmente importante es como se administra ese flujo de información, y cuál es el fuerte del programa, ya que Maya es para hacer modelos 3D y animaciones renderizadas enfocadas al diseño. En este caso, Revit es una potente herramienta que permite compartir un proyecto con personas que también estén involucradas, reduciendo el tiempo desarrollo

de este, de forma que se pueda avanzar en menos tiempo a diferencia de algún método convencional u otro método que prescinda de la interconectividad.

1.5.2. Inventor

Autodesk Inventor es un programa utilizado para realizar diseños tanto mecánicos como estructurales que facilitan la comprensión a través de la simulación, con cálculos programados y una amplia biblioteca de materiales con sus respectivas características que permiten agilizar resultados derivados de modelos 3d a una plantilla 2d totalmente personalizable.

1.6. BIM

BIM es la sigla para Building Information Modeling o Modelado de Información de Construcción. Esta es una modalidad que se está utilizando actualmente y es hasta la fecha la manera más eficiente de desarrollar un proyecto completo de estructuras, debido a que los participantes pueden avanzar de forma paralela en cada una de las disciplinas que se ven involucradas, como lo son la electricidad, la fontanería, el saneamiento, la arquitectura y la ingeniería estructural, cada uno con ingeniería de detalle. Y una de las cosas más importantes es que hay una gran biblioteca de elementos los cuales poseen propiedades que se pueden cuantificar en un documento a la hora de recopilar toda la información del proyecto, lo que facilita bastante el trabajo y ahorra un importante tramo de tiempo, ya que en proyectos con abundantes planos (fabricación, montaje, etc..) no es necesario actualizar uno a uno la información que reside en ellos, solo hay que cambiar los parámetros de cada elemento original para que todo lo que esté relacionado siga el mismo curso. AutoCAD o cualquier otro software CAD puede ser muy versátil, pero para lograr esas hazañas se necesitarían varios plugin o complementos que no todos saben encontrar, lo cual es muy probable que no sean gratis dada su complejidad de programación. En programas como Revit, todas esas garantías son básicas.

CAPITULO 2: SITUACION ACTUAL

2.1. DÉFICIT HABITACIONAL

¿Qué es el déficit habitacional?, pues se puede definir como la cantidad de viviendas que se necesitan para solucionar el problema de familias que viven de allegados, más las viviendas que están inhabitables y necesitan ser reparadas. Entendiendo esto, según el estudio CASEN 2017 de la cámara chilena de la construcción (CChC), señala que por una parte encabezan los primeros lugares respecto al porcentaje de la población de cada región Atacama y Tarapacá con un 18%, esto va mermando ligeramente hacia el sur, sin embargo, no es muy grande la diferencia en zona centro sur, dado que la región metropolitana posee un 11% y la región del Biobío un 10%. El mínimo lo posee Magallanes con un 6%. Ahora en referencia al total nacional el problema se hace una campana, porque el mayor porcentaje lo posee la región metropolitana con un 42,5%, lo secunda Valparaíso con 9,8% y en tercer lugar tenemos a la región del Biobío con un 8,3%.

Tabla 1-1: Déficit habitacional a nivel nacional CASEN 2017

REGIÓN	POR UNIDADES	% RESPECTO DE SU POBLACIÓN TOTAL	% RESPECTO DÉFICIT TOTAL NACIONAL
Arica y Parinacota	9.273	15%	1,3%
Tarapacá	23.007	18%	3.1%
Atacama	18.962	18%	2,6%
Antofagasta	25,568	12%	3,5%
Coquimbo	66.648	13%	5%
Valparaíso	72.489	10%	9,8%
R. Metropolitana	314.488	11%	42,5%
O'Higgins	26.018	7%	3,5%
Maule	36.978	9%	5%
Biobio	61.021	10%	8,3%
Araucanía	44.290	11%	6%
Los Ríos	12.195	9%	1,6%
Los Lagos	29.565	9%	4%
Aysén	3.172	8%	0,4%
Magallanes	3.601	6%	0,5%

Fuente: www.minvu.cl

2.2. TIPOS DE CONSTRUCCIONES DEL PAIS

2.2.1. Clasificación de estructuras

Existen distintos tipos de construcciones que de acuerdo con el Artículo 5.3.1 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción se clasifican según el material que predomina y al tipo de estructura.

Esta información permite generar una idea de costes en la estructura a realizar de acuerdo con el Cuestionario de Atributos de la Construcción.

Clase A: Construcciones con estructura soportante de acero. Entrepisos de perfiles de acero o losas de hormigón armado.

Clase B: Construcciones con estructura soportante de hormigón armado o estructura mixta de acero con hormigón armado. Entrepisos de losas de hormigón armado.

Clase C: Construcciones con muros soportantes de albañilería de ladrillo confinado entre pilares y cadenas de hormigón armado. Entrepisos de losas de hormigón armado o entramados de madera.

Clase D: Construcciones con muros soportantes de albañilería de bloques o de piedra, confinados entre pilares y cadenas de hormigón armado. Entrepisos de losas de hormigón armado o entramados de madera.

Clase E: Construcciones con estructura soportante de madera. Paneles de madera, de fibrocemento, de yeso cartón o similares, incluidas las tabiquerías de adobe. Entrepisos de madera.

Clase F: Construcciones de adobe, tierra cemento u otros materiales livianos aglomerados con cemento. Entrepisos de madera.

Clase G: Construcciones prefabricadas con estructura metálica. Paneles de madera, prefabricados de hormigón, yeso cartón o similares.

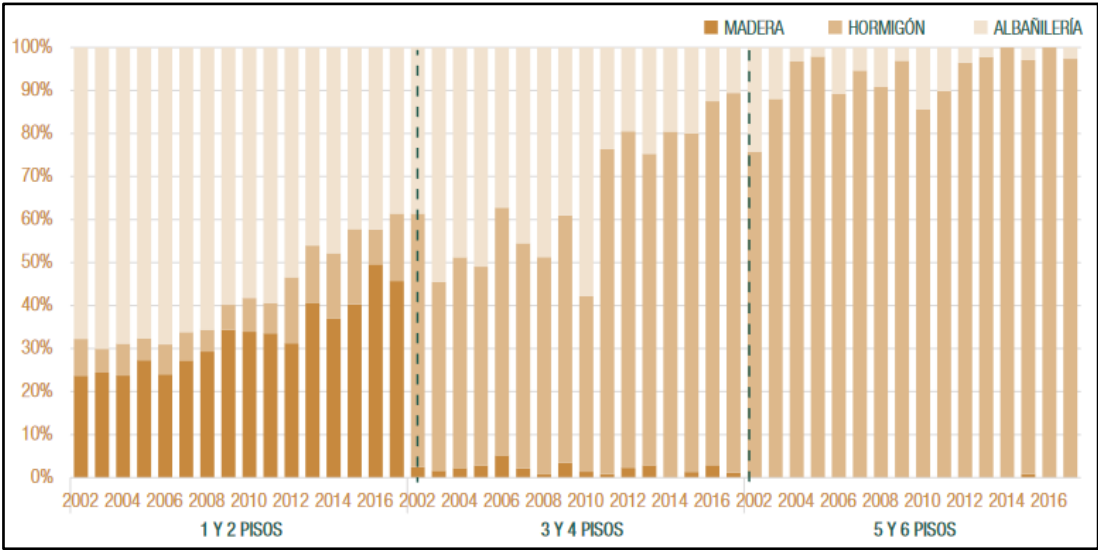
Clase H: Construcciones prefabricadas de madera. Paneles de madera, yeso cartón, fibrocemento o similares.

Clase I: Construcciones de placas o panales prefabricados. Paneles de hormigón liviano, fibrocemento o paneles de poliestireno entre malla de acero para recibir mortero proyectado.

2.2.2. Estructuras más usadas

Según el CIM (Centro de Innovación en Madera), en base a información declarada por el INE (Instituto Nacional de Estadísticas), los materiales más utilizados para estructuras tipo vivienda de 1 a 2, viéndose del año 2002 al año 2017 al principio de este periodo predominaba la albañilería, sin embargo, comenzó a tomar fuerza en porcentaje la madera convirtiéndose de un 20% a un 45% aproximadamente. No obstante, para las viviendas de 3 a 6 pisos la madera es casi invisible su participación siendo el más grande actor el hormigón.

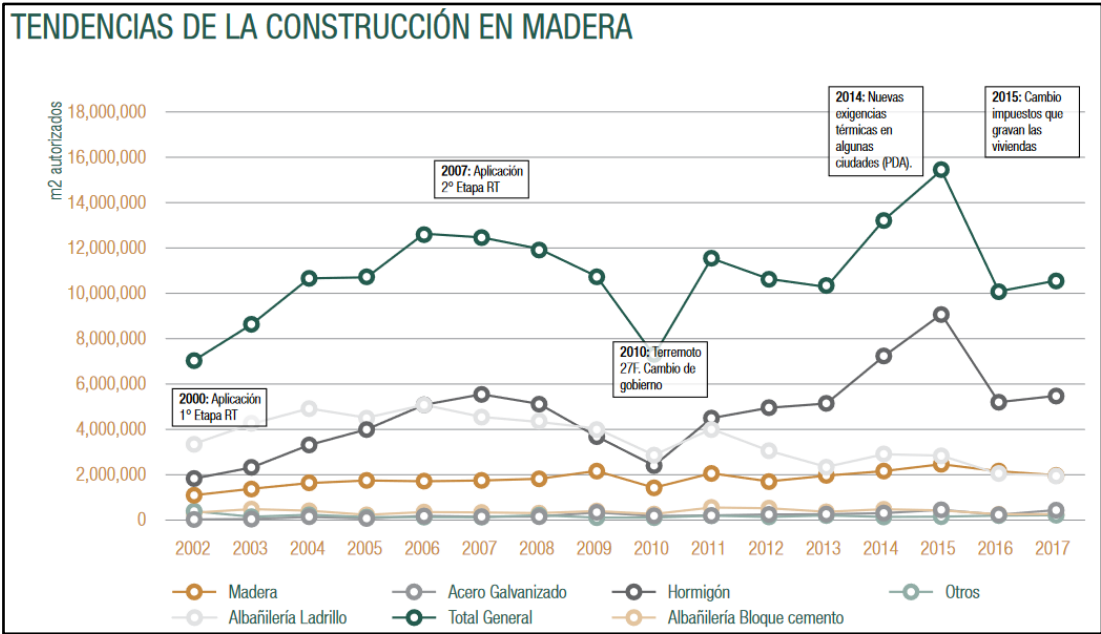
Tabla 2-1: Materiales más usados en construcción 2002 al 2016



Fuente:

La madera ha aumentado su presencia en el país en un 5% en un periodo de 5 años y ha pasado a ser el segundo material más utilizado en las construcciones chilenas, desplazando a la albañilería y solamente superado por el hormigón armado. Esto, se acentúa aún más en el sector vivienda, siendo el segundo material utilizado desde el 2016 y el primero en edificaciones de viviendas de 1 y 2 pisos.

Tabla 3-1: Tendencias de la construcción en madera 2002-2017



Fuente:

2.2.3. Casas en impresión 3d

Aún está en desarrollo el estudio por razones de normas sísmicas nacionales. Por esa razón los investigadores y profesionales están trabajando para desarrollar mezclas de hormigón y diseños resistentes. La idea es destinarlas para cubrir las altas demandas de las viviendas sociales.

Varias entidades están involucradas en este estudio, entre ellos Universidad del Bio-Bio (UBB), la Universidad Federico Santa María (USM) y la Universidad Católica (UC), patrocinados por el Centro Interdisciplinario para la Productividad y Construcción Sustentable (CIPYCS) y empresas de ese sector con el mismo fin.

El gran desafío como se menciona al principio es un diseño que esté certificado para ser construido bajo las exigentes normas sísmicas de Chile, y también que sean compatibles con ideas que se puedan aprovechar para los problemas de aislación térmica. Aún las máquinas de extrusión acopladas a brazos robóticos son una inversión bastante importante, pero, así como las primeras máquinas de impresión 3d en resina o filamento, también habrá tecnologías que permitan un ahorro importante. En el caso que esto diese un resultado favorable en los próximos años, se podrá implementar directamente en el déficit habitacional. Hasta la fecha se han hecho módulos, pero con piezas trasladables de concreto armado, diseñados para ser acoplados in situ.

2.3. NORMATIVAS

ISO es un acrónimo de International Organization for Standardization y en inglés significa Organización Internacional para la Estandarización, son de las normas de las que más se suele hablar y las más conocidas. Son normas que establecen niveles reconocidos de calidad, eficiencia y seguridad mundial, y certifican que al cumplirlas se está llevando a cabo la tarea de la manera más correcta posible, y evita que haya imprevistos que suelen observarse en la retroalimentación de los resultados que suelen ser negativos para corregirlos a futuro.

Se utilizan normativas preestablecidas para ahorrar tiempo en prueba y error, pero no significa que no se puedan añadir procedimientos adicionales de parte de la empresa en particular para proyectos en específico. Otro ejemplo cercano son las Nch, normas chilenas que tienen validez en todo el largo y ancho del país. Normas que tienen relación directa con el tema de las estructuras, advierten acerca de la información que estudios han recopilado en el tiempo refiriéndose al terreno en el cual se va a establecer una estructura. Se hace mención del tipo de suelo clasificados por zonas y así varias.

2.3.1. Norma NCh 203 Acero Estructural

Existe un informe que fue iniciado en noviembre del 2017 por el Instituto Chileno del Acero (ICHA) con el propósito de aclarar los alcances legales y normativos que tiene la NCh 203 del uso del acero estructural y, por ende, de las estructuras de acero que conciernen a Chile. En consideración que esta norma es obligatoria en todo el territorio chileno y la producción de aceros de esta índole esta reducida y sustituida por aceros importados, es de gran interés de este instituto aclarar la situación ya que la aplicación de estos aceros se destina principalmente a obras y estructuras edificadas en un país de gran sismicidad.

2.3.2. Norma NCh 431 Cargas de nieve

En esta norma se establecen los valores mínimos de las sobrecargas de nieve que deben emplearse en los cálculos estructurales de las construcciones ubicadas en el territorio nacional excluido el territorio Antártico chileno.

Esta norma se aplica en los cálculos estructurales de todas las construcciones que puedan quedar expuestas a cargas de nieve.

Como referencia se toma la ya mencionada norma NCh 427 de construcción-especificaciones para el cálculo, fabricación y construcciones de estructura de acero.

2.3.3. Norma NCh 432 Cálculo de la acción del viento sobre las construcciones

Esta norma establece la forma en la que debe considerarse la acción del viento en el cálculo de construcciones. Se aplica en todos los cálculos de resistencia de todo tipo de construcciones dentro del país con exclusión del Territorio Antártico chileno. Tiene como referencia la recientemente mencionada Norma NCh 431 de cargas de nieve.

2.3.4. Norma NCh 433 Diseño sísmico de edificios

Esta norma se refiere a las exigencias sísmicas que deben cumplir los equipos y otros elementos secundarios de edificios. Se incluyen recomendaciones sobre la evaluación del daño sísmico y su reparación. Sin embargo, esta norma no se aplica al diseño sísmico de otras obras civiles tales como puentes, presas, túneles acueductos, muelles, canales. Tampoco se aplica a edificios industriales ni a instalaciones industriales. El diseño de estas obras se debe regir por la norma chilena correspondiente. Solo es aplicable a materiales o sistemas que tengan una norma técnica de diseño sísmico o que en su defecto se pueda

demostrar mediante ensayos cíclicos no lineales (se refiere a los ensayos a los tipos de terrenos en relación con su comportamiento en movimientos sísmicos), que tienen resistencia y ductilidad equivalente a los requerimientos de esta norma para materiales sísmicos convencionales.

Como referencia se toman la norma Nch 427 Construcción – Especificaciones para el cálculo, fabricación y construcción de estructuras de acero. Nch 430 Hormigón armado – Requisitos de diseño y cálculo. NCh 431 Construcción – Cargas de nieve. NCh 432 Cálculo de la acción del viento sobre las construcciones. NCh 1198 Madera – Construcciones en madera – Cálculo. NCh 1537 Diseño estructural – Cargas permanentes y sobrecargas de uso. Nch 1928 Albañilería armada – Requisitos para el diseño y cálculo. NCh 2123 Albañilería confinada – Requisitos de diseño y cálculo. La albañilería confinada a diferencia de la armada es que esta como enmarcada en un cuadro de hormigón armado confinando el paño de albañilería. NCh 3171 Diseño estructural – Disposiciones generales y combinaciones de cargas.

2.3.5. Norma NCh 2369-2003

Esta norma se complementa con la NCH 433 y establece los requisitos para el diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales livianas o pesadas. Se aplica a las estructuras como ductos y cañerías y a los equipos de proceso, mecánicos y eléctricos y a sus anclajes. También aplica a las bodegas o recintos de vocación industrial, y a las construcciones estructuradas con columnas en voladizo. No aplica a industrias como centrales industriales, centrales de energía eléctrica y líneas de transmisión, presas, traques de relaves, puentes, túneles, muelles gravitacionales, muros de contención, líneas de ductos enterradas, etc.

2.3.6. Norma NCh 427 Calculo Estructural

La norma NCh 427, permite diseñar cualquier tipo de construcción de acero en la cual se emplean perfiles laminados, armados (es decir, remachados, apernados, soldados, incluso híbridos) y plegados, ya que, uno solo es el material, el acero, uno solo el problema, diseñar, y las diferencias solo radican en la fabricación del perfil y las formas geométricas resultantes, lo que implica un comportamiento estructural levemente diferente, el que se ha considerado en algunos casos empleando distintos factores de seguridad y en otros, aplicando los resultados experimentales para determinación de las exigencias de diseño.

2.3.7. Norma NCh 1079 Arquitectura y construcción-Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para diseño arquitectónico.

Esta norma establece una zonificación climático habitacional para Chile, con el objeto de facilitar un adecuado diseño arquitectónico.

2.3.8. Calificación Energética de Vivienda

La certificación que da el Ministerio de Vivienda y Urbanismo en Chile se llama CEV, esta sigla significa Calificación Energética de Viviendas. Es un instrumento diseñado el año 2012 el MINVU, en conjunto con el Ministerio de Energía y que busca mejorar la calidad de vida de las familias, a través de la entrega de información objetiva y estandarizada. Esta herramienta entrega información a las familias acerca de la eficiencia energética de las viviendas, permitiéndoles tomar una decisión informada a la hora de comprar una vivienda y así optar por la que represente un mayor confort térmico y/o por la que considere el uso de equipos eficientes o con energías renovables no convencionales, lo que se puede traducir en una mayor cantidad de ahorro en calefacción, enfriamiento, iluminación y agua caliente sanitaria.

Esta herramienta es de uso voluntario que califica la eficiencia energética de una vivienda en su etapa de uso. Las viviendas calificadas contarán con una etiqueta con colores, porcentajes y letras, que van desde la A+ a la G, donde esta última es la menos eficiente, mientras que la letra E representa el estándar de la construcción actual, establecido en el artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC).

2.3.9 Normas de eficiencia térmica

La norma que tiene que ver directamente con eficiencia térmica es NCh853-2007 Acondicionamiento térmico - Envoltente térmica de edificios-Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas. El propósito de esta norma es establecer los procedimientos de cálculo para determinar las resistencias y transmitancias térmicas de elementos constructivos, en particular los de la envoltente térmica, tales como muros perimetrales, complejos de techumbres y pisos, y en general, cualquier otro elemento que separe ambientes de temperaturas distintas. Los procedimientos de cálculo que se establecen en esta norma están basados en el supuesto que el flujo térmico se desarrolla de acuerdo con la ley de Fourier, en régimen estacionario. Los valores determinados según esta norma son útiles para el cálculo de transmisión de calor, potencia de calefacción, refrigeración, energía y aislaciones térmicas de envoltentes en la edificación.

2.4. BENEFICIOS DE UNA ESTRUCTURA MODULAR

De una forma notable los módulos con eficiencia térmica han alcanzado una alta popularidad en el mercado de estructuras habitables, de manera que muchas empresas se están dedicando a producir de forma masiva este tipo de habitáculos. Primeramente, las construcciones modulares si bien requieren de un equipo técnico o ingenieril detrás del diseño, es una ventaja absoluta en eficiencia de cálculo y control de los materiales integrados al proyecto. El tiempo empleado en desarrollar una o varias estructuras se reduce significativamente mediante software de diseño y a través de una biblioteca bien ordenada en una base de datos.

Muchas de las restricciones se anulan como la renovación de ciertas secciones estructurales que solo se podían intervenir de un método destructivo, ahora es únicamente necesaria la sustracción y montaje de manera simple y en menor tiempo.

Paralelamente promueve una cultura que busca un aprovechamiento volumétrico a discreción del dueño del diseño, que busca la comodidad y la previsualización de los recursos utilizados si se usan los simuladores adecuados y que usan normativas y cálculos predefinidos y configurables.

Como demuestra la tabla estadística en el capítulo 1, las estructuras en madera son cada vez más comunes. Adicionalmente se producen muchos otros materiales aparte de la madera que tienen bajo coeficiente de conductividad térmica. Esto promueve en el mercado una solución más atractiva a los problemas de déficit habitacional, dando paso a un producto con mejores prestaciones con gran calidad de ingeniería y reduciendo gastos innecesarios durante el proceso.

En resumen, es una excelente oportunidad de reducción de costos de traslado y cantidad de material, cantidad de gente involucrada del proyecto in situ, tiempo de armado, flexibilidad de diseño, y todo con garantía de calidad profesional en referencia a las normas de construcción para que la estructura no sufra daños por motivos exógenos.

CAPITULO 3: SIMULACION 3D POR SOFTWARE

3.1. PROCESO DE DISEÑO DEL MODULO

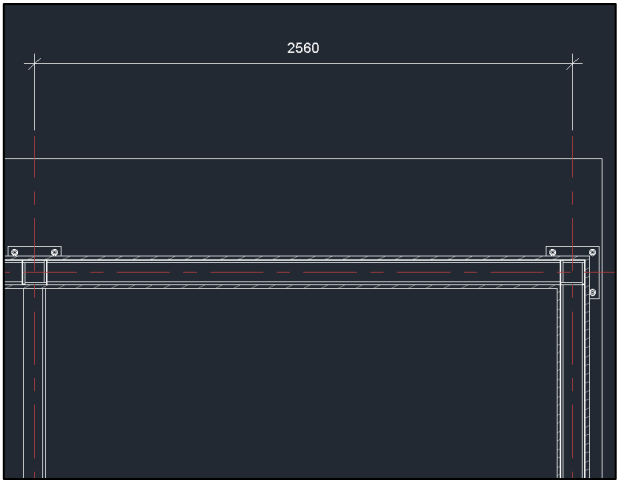
Se describirán los procedimientos que se usaron para el diseño de un módulo estructural con dimensiones similares a los de un contenedor de 20 pies. También ha de tenerse en cuenta que no es el único método para lograr un diseño preciso y eficiente dado que la tecnología va en aumento y es probable que salgan al mercado mejores softwares de diseño o simplemente dedicados para el mercado de módulos estructurales.

También se advierte que esto no es un libro completo de comandos y conocimientos acerca de los programas que están involucrados, solo estarán los pasos a seguir para el proceso de diseño de un módulo estructural con eficiencia térmica usando el programa Revit, Inventor y AutoCAD.

3.1.1. Ejes de simetría

En el diseño estructural, los ejes de simetría son líneas imaginarias que dividen una estructura de forma simétrica, son la piedra angular para desarrollar cualquier plano con cotas de referencia. La sencilla razón es que, al priorizar las cotas de los ejes, se evitan mediciones erróneas en referencia a otros elementos que están mal ubicados o no se tiene mucha información de estos. De no seguir el procedimiento recomendado, afectaría de manera negativa a un proyecto que involucre perforaciones para anclaje con pernos, puesto que no van a coincidir como dicta el diseño, y habrá un desfase aun mayor cada vez que se incurra al error mencionado. Sin embargo, si se usase el eje designado de simetría como eje de referencia, este reducirá el nivel de incertidumbre significativamente, porque son medidas inamovibles que suelen estar asociadas a las columnas de una estructura. La otra ventaja es que Revit trabaja en su totalidad con ejes para facilitar la ubicación de toda clase de dibujo con vista en planta.

Figura 3- 1: Ejes de simetría



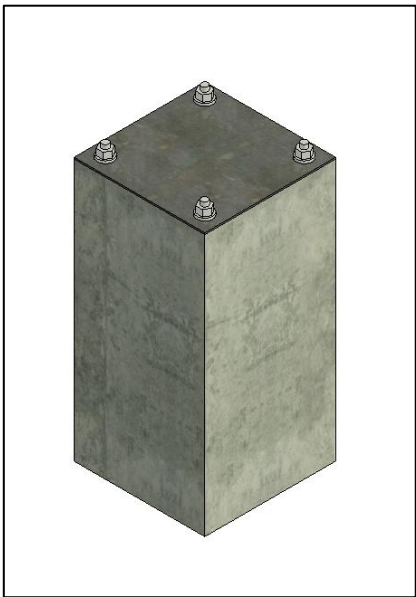
Fuente: Propia Revit 2025

3.1.2. Placas de anclaje y dados de hormigón

La placa base y superior de las columnas se conforma de una placa de acero, soldada en ambos extremos de la columna. Sus dimensiones son de 250x250mm y de no menos de 3 mm de espesor. Es necesario dejar una distancia de al menos 30mm al borde del largo por cada lado.

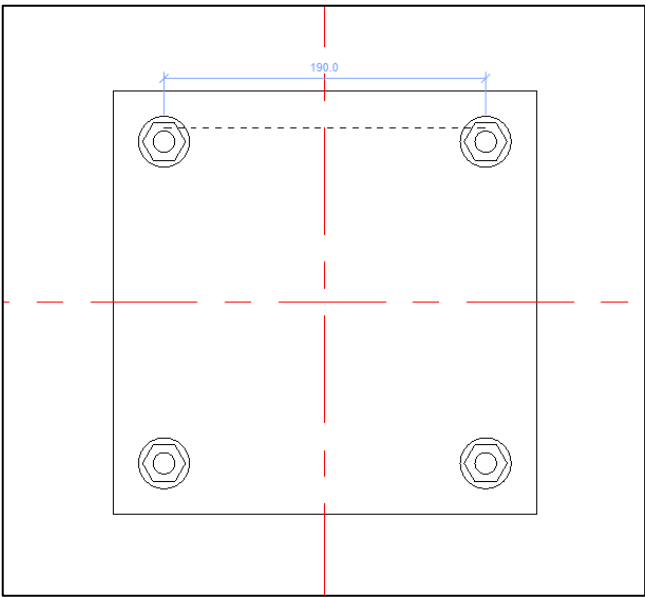
Los dados de hormigón deben tener dimensiones ancho y largo igual, y considerar medio metro de longitud de profundidad para evitar problemas con el centro de gravedad.

Figura 3- 2: dado de hormigón



Fuente: Propia Revit 2025

Figura 3- 3: placas de anclaje



Fuente: Propia Revit 2025

3.1.3. Inserción de pilares o columnas a Revit

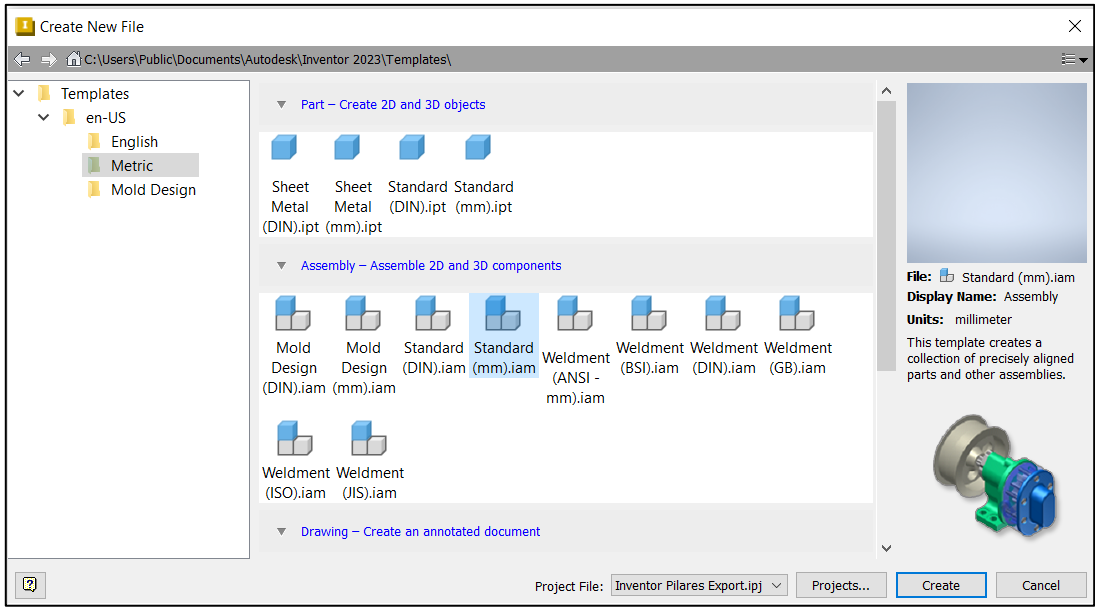
Al entrar en contacto con Revit, es muy común ver algo llamado familia. Las familias en Revit son componentes inteligentes que encapsulan información geométrica y paramétrica, definiendo así su comportamiento y representación en el modelo. La mayoría de las familias estándar (muros, puertas, ventanas, etc.) suelen estar disponibles en bibliotecas prediseñadas. Sin embargo, cuando se requiere un elemento específico no incluido en estas bibliotecas, como una columna con un diseño particular, existen dos opciones principales:

Buscar en repositorios en línea: Numerosas comunidades de usuarios de Revit comparten familias personalizadas de forma gratuita o comercial. Estas pueden adaptarse y utilizarse directamente en el proyecto.

Crear la familia desde cero: Si no se encuentra una familia adecuada en línea, se puede crear una nueva utilizando herramientas como AutoCAD o Inventor. Estos programas permiten modelar la geometría base de la familia, la cual puede luego importarse a Revit y parametrizarse para adaptarla al entorno BIM.

Para este proyecto como el pilar no está predeterminado entre las familias, por lo que se utilizará el segundo método, y como software para estructuras lo ideal sería Inventor.

Figura 3- 4: crear ensambles

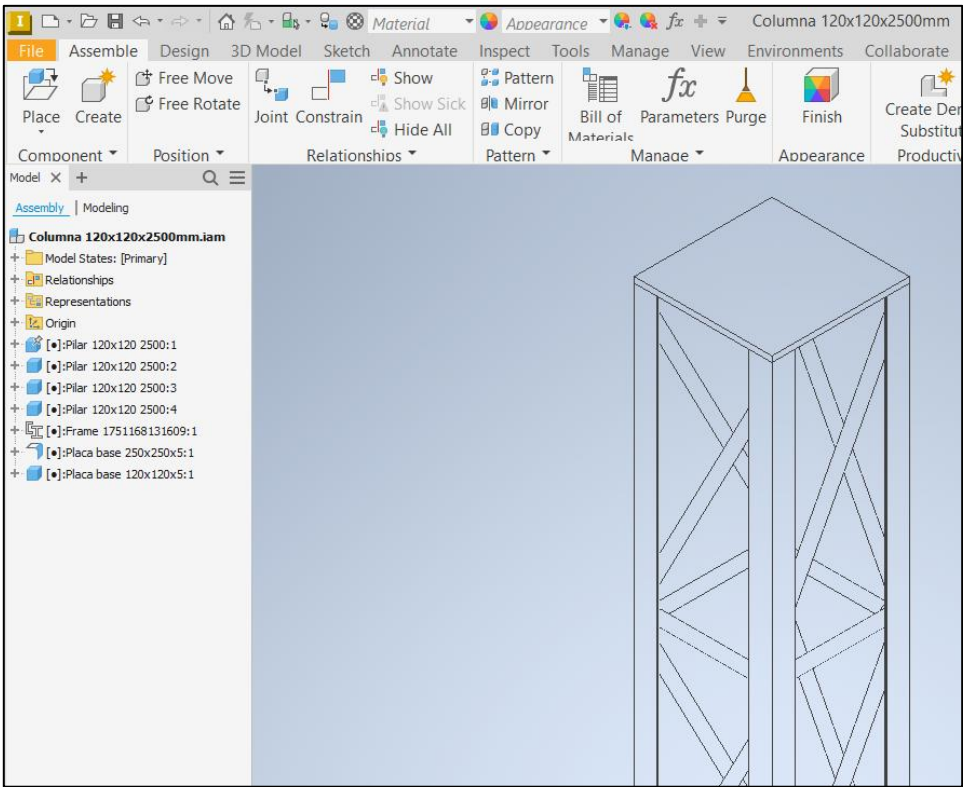


Fuente: Propia Inventor 2025

Las medidas pueden variar acomodándose al proyecto personal. Primeramente, se debe diseñar el pilar de celosía, también llamado reticulado o más conocido en Chile como armadura, de 120 mm de ancho por 120 mm de largo y una altura de 2500mm. El espaciamiento entre elementos horizontales será de 250mm.

Esta armadura estará compuesta por tres elementos, un ángulo de 20x20 de 3mm de espesor y una barra de acero con estriado de 10 mm de diámetro, también conocido como barra de construcción.

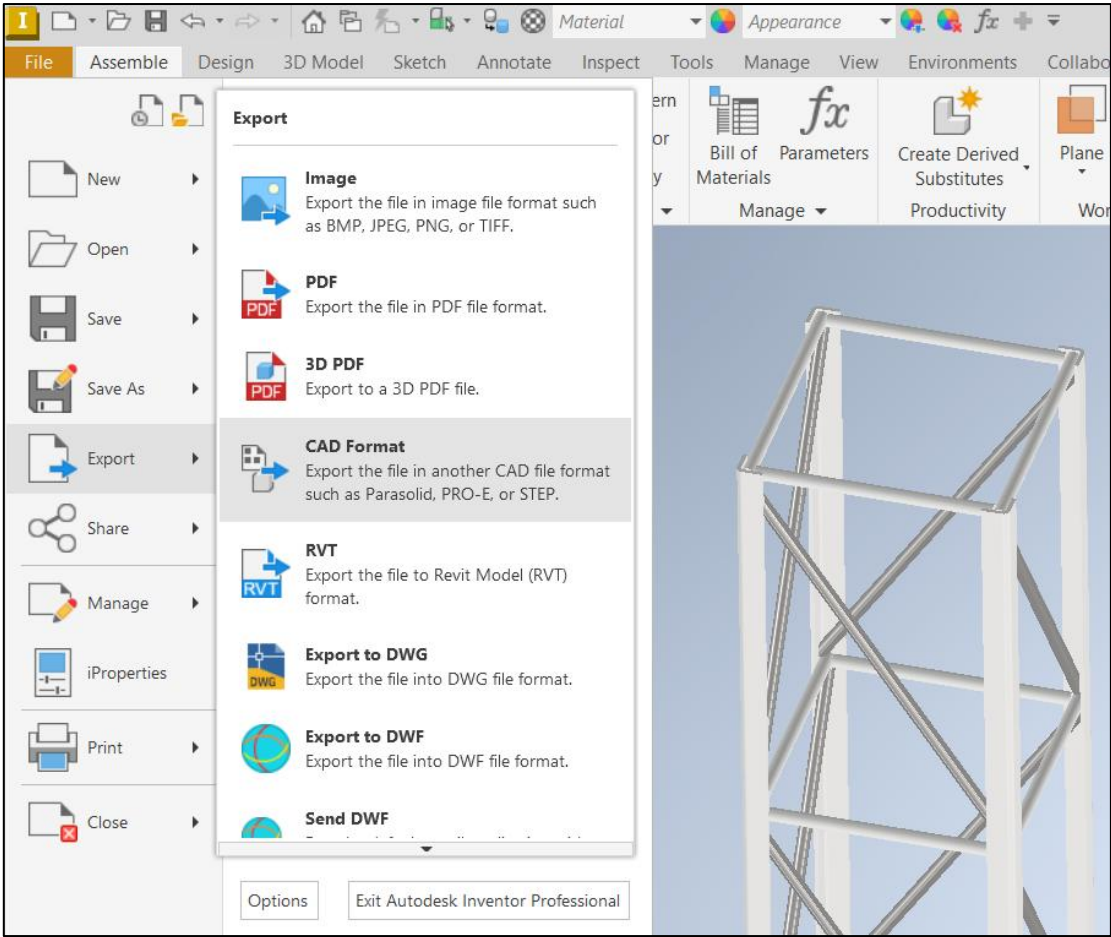
Figura 3- 5: columna Inventor



Fuente: Propia Inventor 2025

Al terminar el modelo, si se desarrolló la columna en AutoCAD el archivo no contempla ninguna modificación ajena a guardar el archivo tal cual está. Esto se debe a que Revit permite importar archivos con la extensión “.dwg”, que es la extensión común de archivos de AutoCAD. Sin embargo, si se hizo en Inventor hay que exportar exclusivamente en esa extensión.

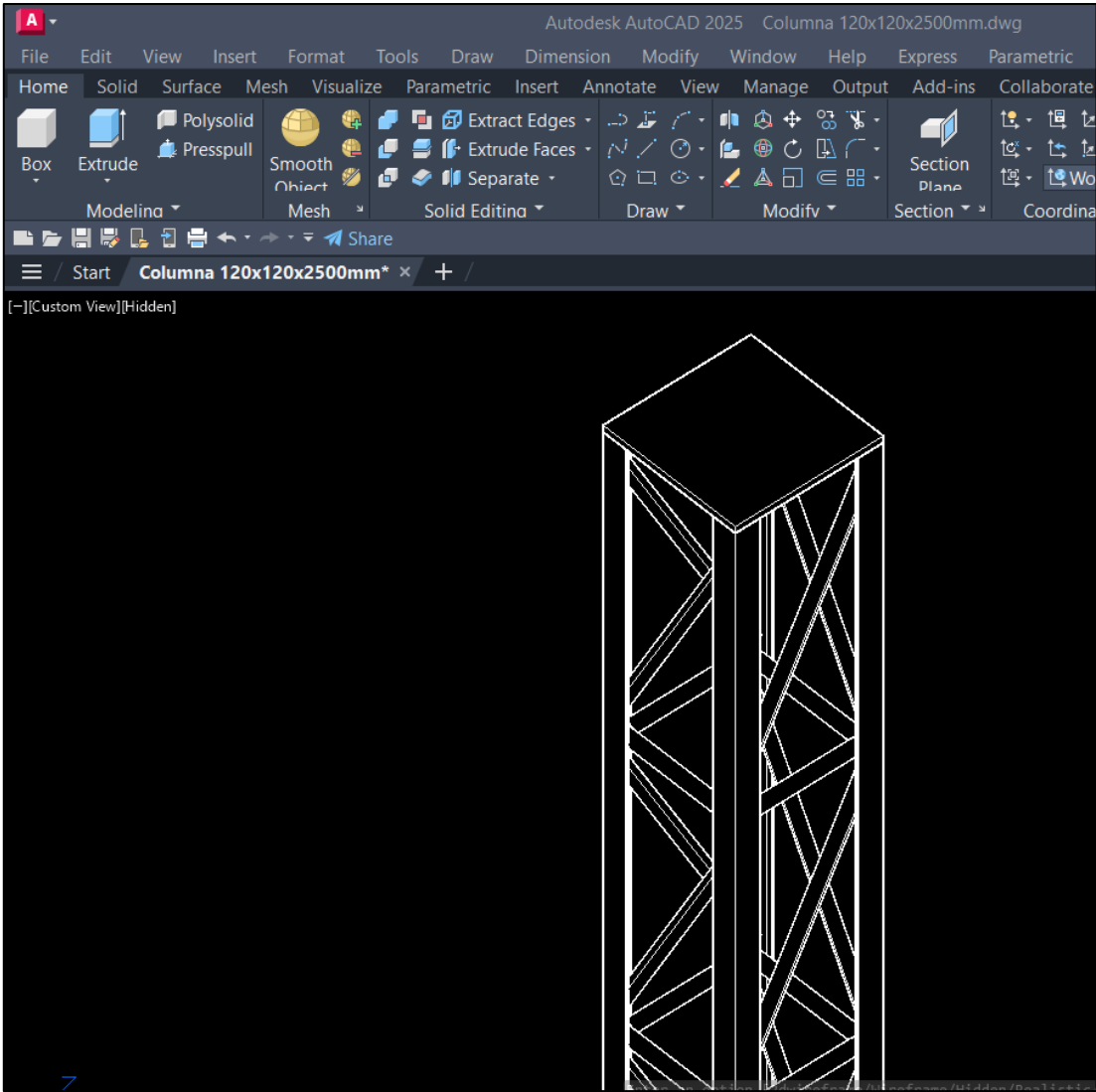
Figura 3- 6: exportar a formato CAD



Fuente: Propia Inventor 2025

Un dato importante antes de importar desde Revit, es revisar que en el modelo 3d dentro de AutoCAD estén las UCS correctamente orientadas, y que el origen del eje Z coincida con la base del modelo. En otras palabras, que las coordenadas sean las mismas que van a ser exportadas al modelo en Revit.

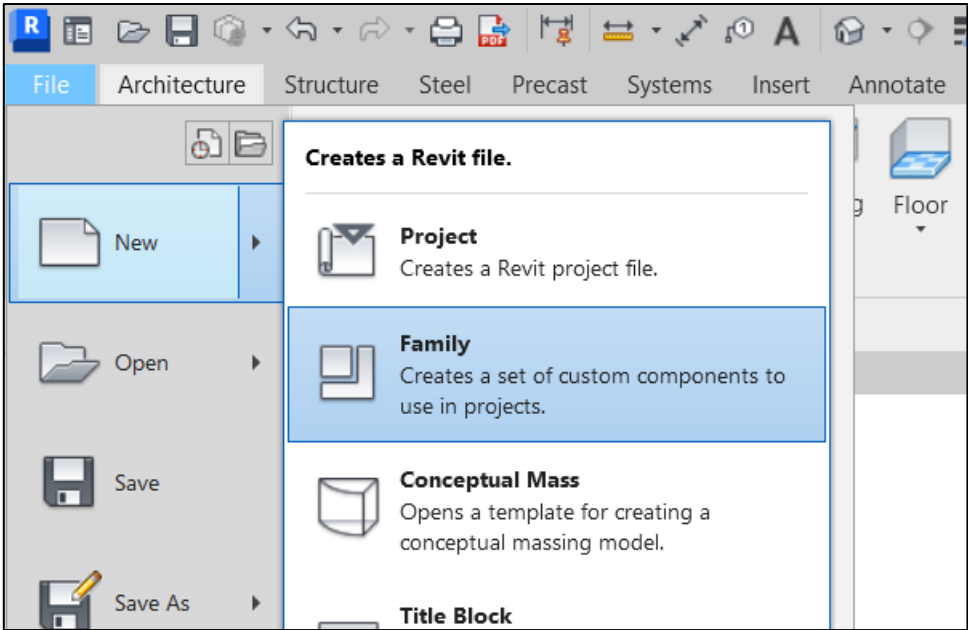
Figura 3- 7: columna en AutoCAD



Fuente: AutoCAD 2025

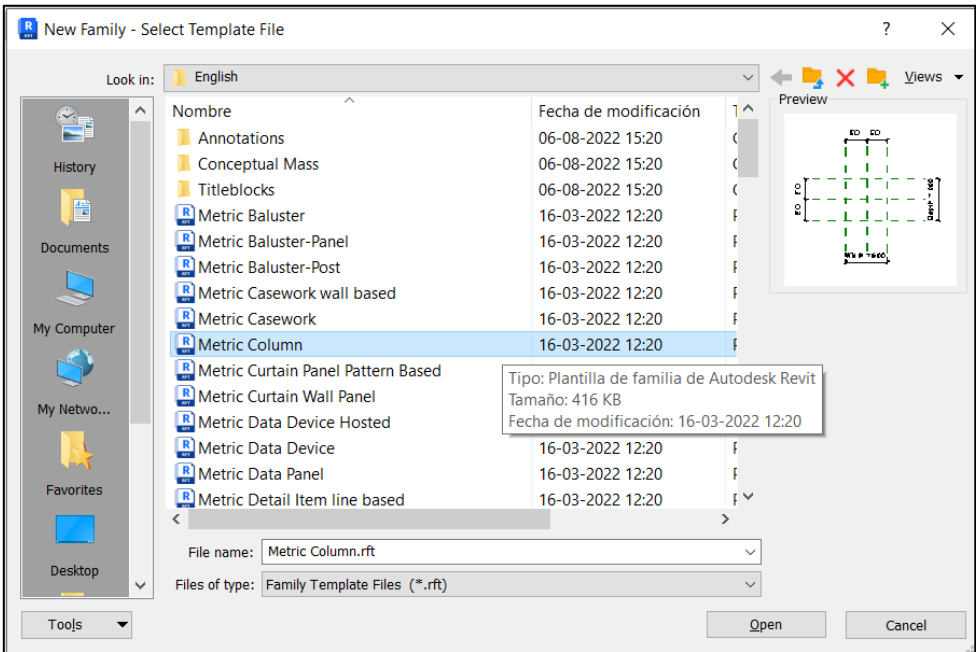
Ya creado el archivo en la extensión “.dwg”, y revisado que todo esté en orden, el siguiente paso es abrir un archivo nuevo en Revit, y seleccionar Familia.

Figura 3- 8: crear familia



Fuente: Propia Revit 2025

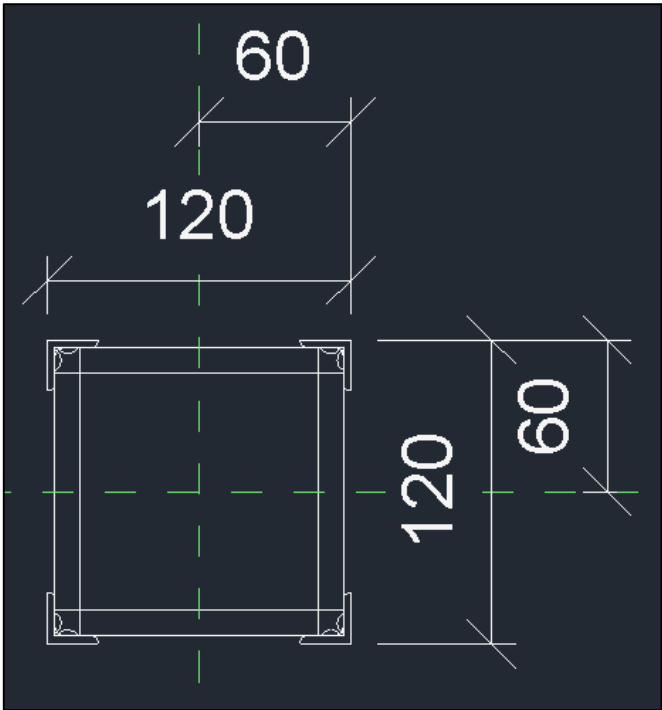
Figura 3- 9: columnas métricas



Fuente: Propia Revit 2025

Se selecciona el archivo con extensión “.rft” que tenga nombre Metric Column o pilar métrico, que es el formato de columnas preconfigurado en el sistema métrico.

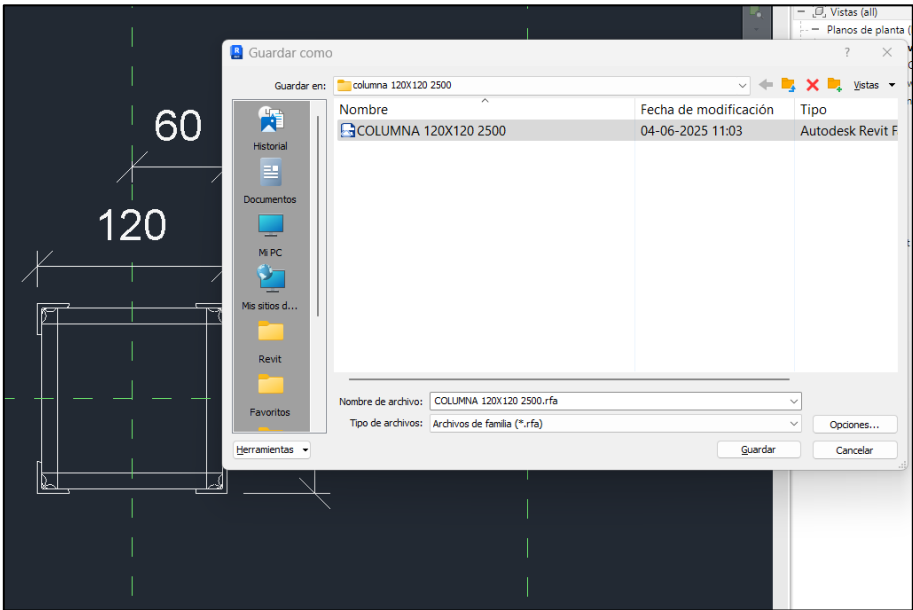
Figura 3- 10: ejes de simetría columna



Fuente: Propia Revit 2025

En la pestaña insertar, se debe buscar en el apartado importar, y luego “importar CAD”. Se busca el archivo que se creó en dwg y luego se centra con los ejes de simetría predefinidos en la plantilla de columnas permiten centrar desde una vista de planta de forma precisa la columna que se desarrolló en Inventor. Al asociar las cotas a estos ejes, se asegura la alineación correcta del elemento.

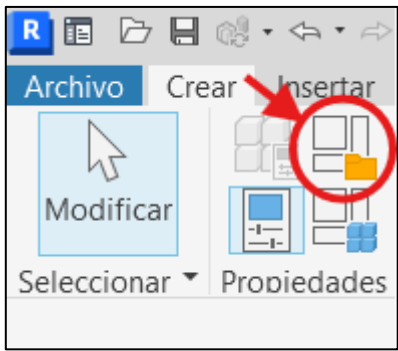
Figura 3- 11: guardar familia



Fuente: Propia Revit 2025

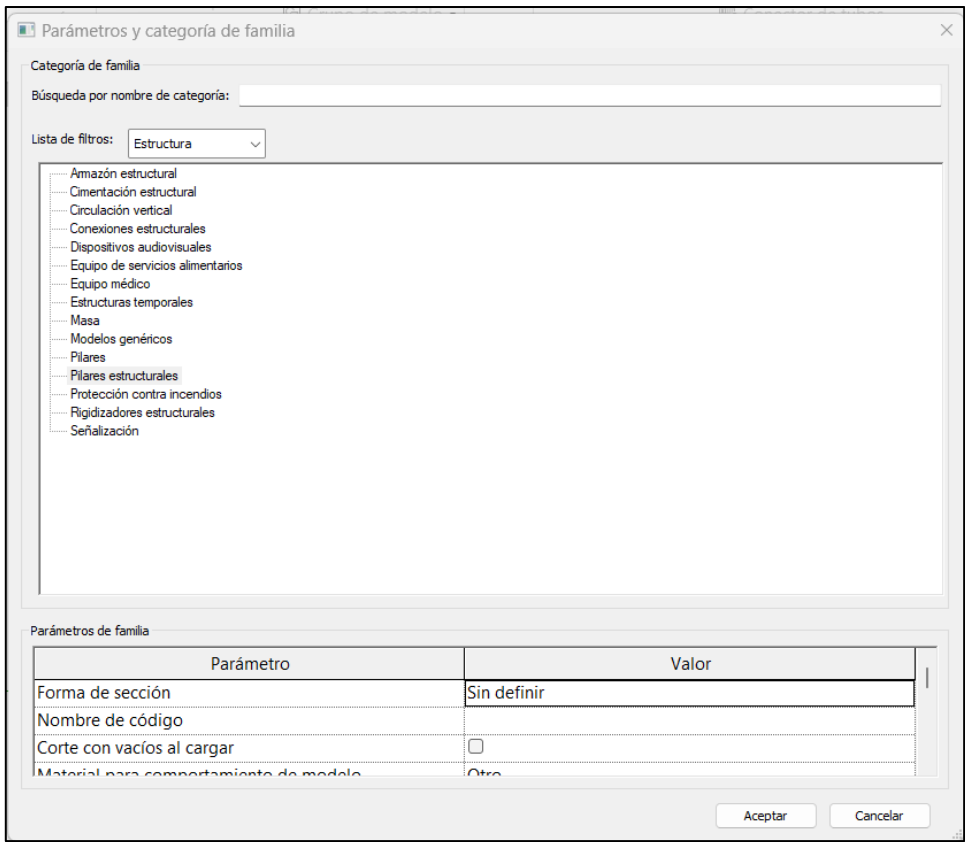
Esta opción se llama parámetros y categoría de familia, y sirve para clasificar previamente el tipo de columna que se quiere importar al proyecto.

Figura 3- 12: parámetros y categoría de familia



Fuente: Propia Revit 2025

Figura 3- 13: opción pilares estructurales

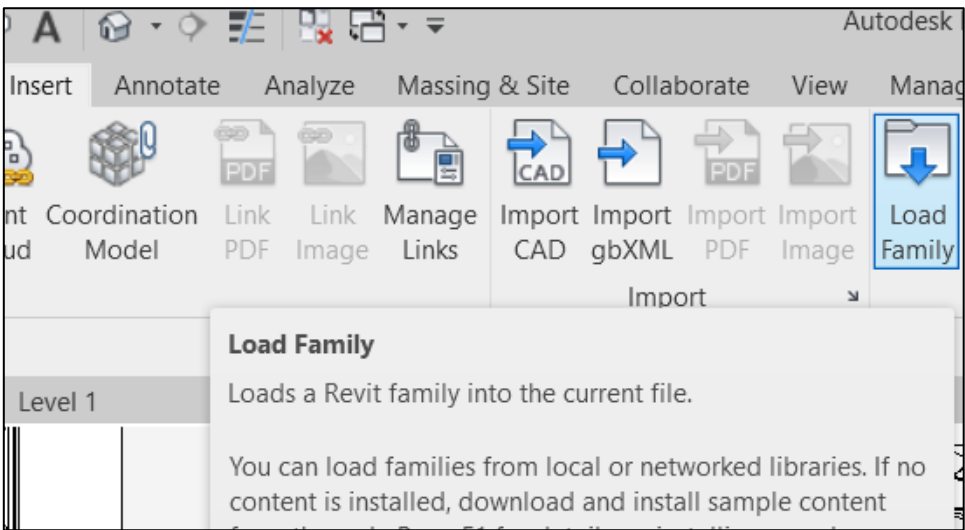


Fuente: Propia Revit 2025

Se selecciona en la lista de filtros la palabra estructura, y luego en la lista desplegada se selecciona pilares estructurales para luego aceptar. Entonces la naturaleza del pilar esta categorizado como pilares estructurales a la hora de importarlo en el proyecto.

Ya centrado y categorizado, se debe guardar como familia las cuales tienen la extensión “.rfa” a diferencia de los proyectos en Revit que son “.rvt”. Cualquier carpeta sirve siempre y cuando sea sencillo reconocer la ruta para buscar y usarse en los proyectos. Se recomienda crear una carpeta designada para las familias personalizadas, y así tener a mano un catálogo de elementos creados para usar a disposición de cada proyecto.

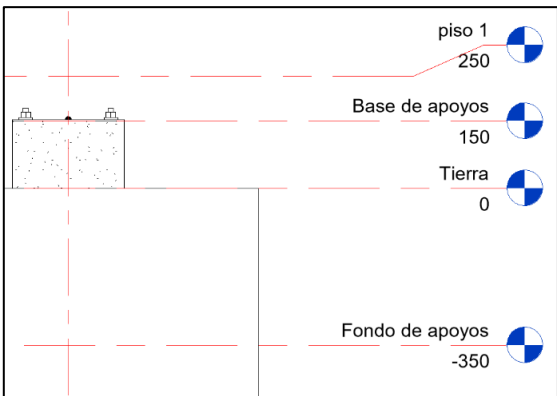
Figura 3- 14: cargar familia



Fuente: Propia Revit 2025

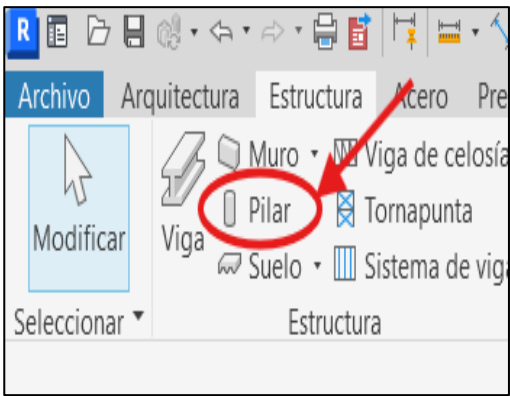
En esta etapa se deduce que ya hay un proyecto activo por parte de Revit en el cual se crearon elevaciones y plantas correspondientes para insertar la columna nueva. Por consiguiente, en la pestaña de insertar hay una opción que dice cargar Familia, se selecciona y se abrirá una ventana que permite buscar la ruta de la familia que se creó con el nombre que corresponde con el fin de identificarla de manera sencilla.

Figura 3- 15: elevaciones



Fuente: Propia Revit 2025

Figura 3- 16: opción pilar estructural



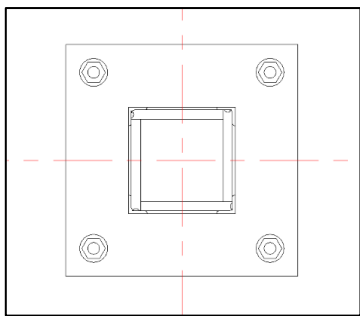
Fuente: Propia Revit 2025

Se debe elegir desde la pestaña estructura y la opción pilar para seleccionar la columna cargada al proyecto, y es recomendable insertar la columna diseñada en la pestaña de la

planta que tenga el nombre relación al inicio de la superficie de los apoyos, en este caso sería la planta llamada Base de apoyos, que esta sobresaliente a 150 mm de la tierra y enterrada a 350 mm en la tierra.

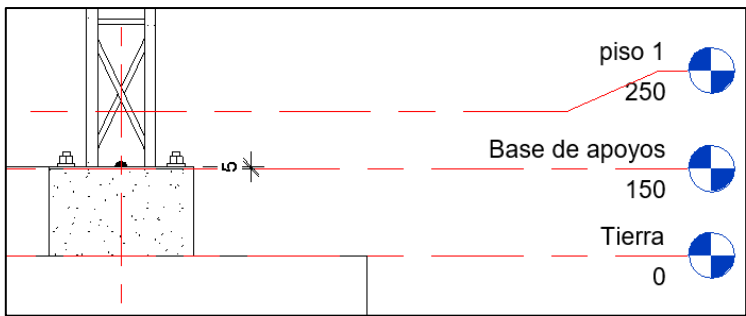
Ahora, al insertar dicha columna quedará a la misma elevación de la superficie de la base de apoyos, en otras palabras, sus coordenadas en Z deben coincidir, sin embargo, se debe calcular una holgura extra respecto al espacio que ocupa la placa base, en este caso serán los 5 mm de la placa de 250x250mm. Así también en planta sus centros en los ejes de simetría de cada elemento. Si el pilar es diseñado con las placas incluidas esta holgura no es necesaria tomarse en cuenta.

Figura 3- 17: planta pilar



Fuente: Propia Revit 2025

Figura 3- 18: elevación pilar

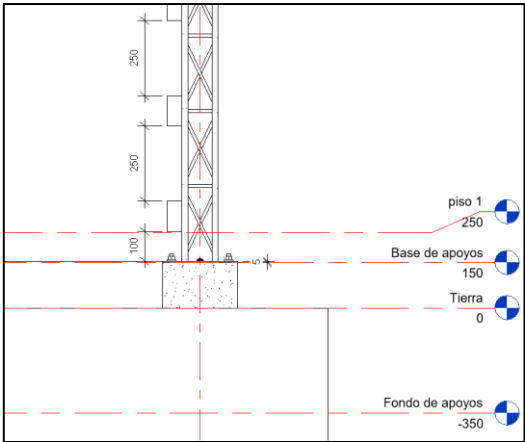


Fuente: Propia Revit 2025

3.1.4. Materiales adicionales

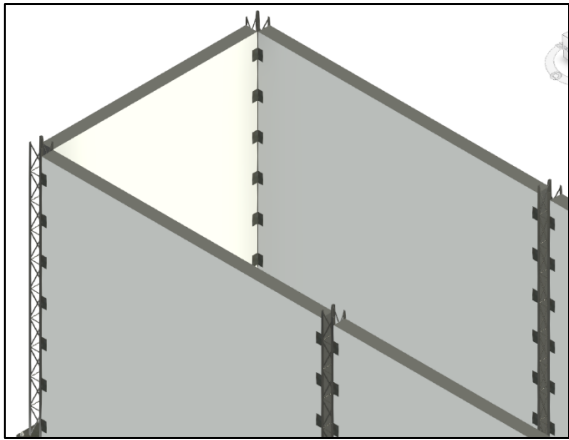
El núcleo del proyecto son el diseño de las columnas, por sus cualidades ideales para una estructura modular, sin embargo, para lograr una eficiencia térmica decente y conservar una estructura modular liviana, una opción bastante aceptable sería usar paneles SIP. En simples palabras, los paneles SIP son estructuras hechas de dos materiales protagonistas que son en ambas caras dos planchas de OSB, dichas planchas son fabricadas con virutas de madera en capas de distintas direcciones, lo cual le da una resistencia estructural extra. Y en el interior, o sea entre ambas planchas de OSB, una sección cuadrada de poliestireno expandido, creando un sándwich. Las dimensiones estándar de los paneles son de 2440 x 1220 mm y el fabricante recomienda un espesor para envoltorio exterior de 114 mm hacia adelante para lograr un mínimo de eficiencia térmica. Como se mencionó previamente en este capítulo, hay diferentes páginas web con información gratuita de familias específicas para Revit y con todas sus especificaciones de materialidad. Esto permite agilizar el proceso de crear un material desde cero, integrándolo inmediatamente en el proyecto.

Figura 3- 19: elevación oeste



Fuente: Propia Revit 2025

Figura 3- 20: isométrico



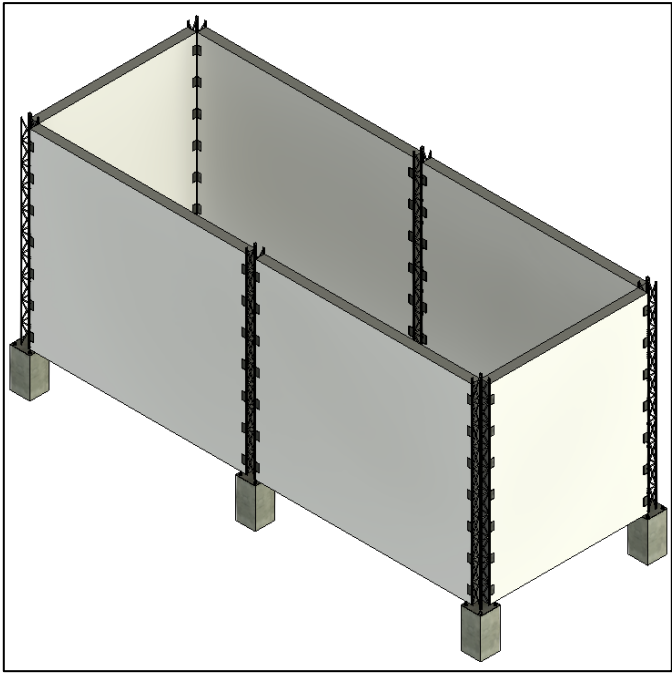
Fuente: Propia Revit 2025

Se utilizarán placas de 100x50x3mm soldadas a las columnas para sujetar los paneles SIP.

3.1.5. Estructura diseñada

A continuación, se expone el diseño estructural desarrollado para esta edificación, enfocándose en la definición de los elementos primarios descritos previamente, y que conforman la estructura portante. Este diseño, correspondiente a la fase de obra negra, y establece la base para la futura incorporación de acabados y terminaciones. Es importante señalar que, en el contexto de este trabajo, el diseño se presenta de forma integral, aunque en la práctica representaría la etapa inicial de construcción.

Figura 3- 21: modulo vista isométrica



Fuente: Propia Revit 2025

Esta fase se compone de seis apoyos de concreto 250x250x500mm, hundidos en 350mm de profundidad, seis placas de 250x250x5mm, 6 pilares reticulados de 120x120x2500mm, 174 placas de 100x50x3mm para sujetar los paneles SIP.

Un contenedor de 20 pies, los cuales son los que se utilizan más a menudo en proyectos habitacionales según el mercado de las cabañas pequeñas, suelen medir aproximadamente 6100mm de largo por 2440mm de ancho y 2590mm de alto sin contar terminaciones adicionales exteriores. Sin embargo, la estructura diseñada en Revit mide 5240mm de largo y 2680 de ancho, de manera externa y considerando las caras de sus columnas al descubierto, el largo y ancho final externo e interno dependerán de los espesores de los materiales finales. ¿Por qué esta discrepancia con un patrón ya diseñado y en el cual está basado este proyecto? Resulta que estas medidas son el derivado del estándar de los paneles SIP que se encuentran a la venta, debido a que el panel OSB suele venderse en 1220mm de ancho por 2440 de largo, a esto se le conoce como aprovechamiento de material y ayuda a utilizar las dimensiones de la manera más adecuada ayudando a la economía del proyecto y el orden del inventario disponible.

Existen muchas opciones y distribuciones para esta categoría de estructura de un solo nivel, pueden acomodarse de distintas maneras y seguir agregando módulos. Como ejemplo se diseñó esta vivienda de 1 nivel de 25 metros cuadrados.

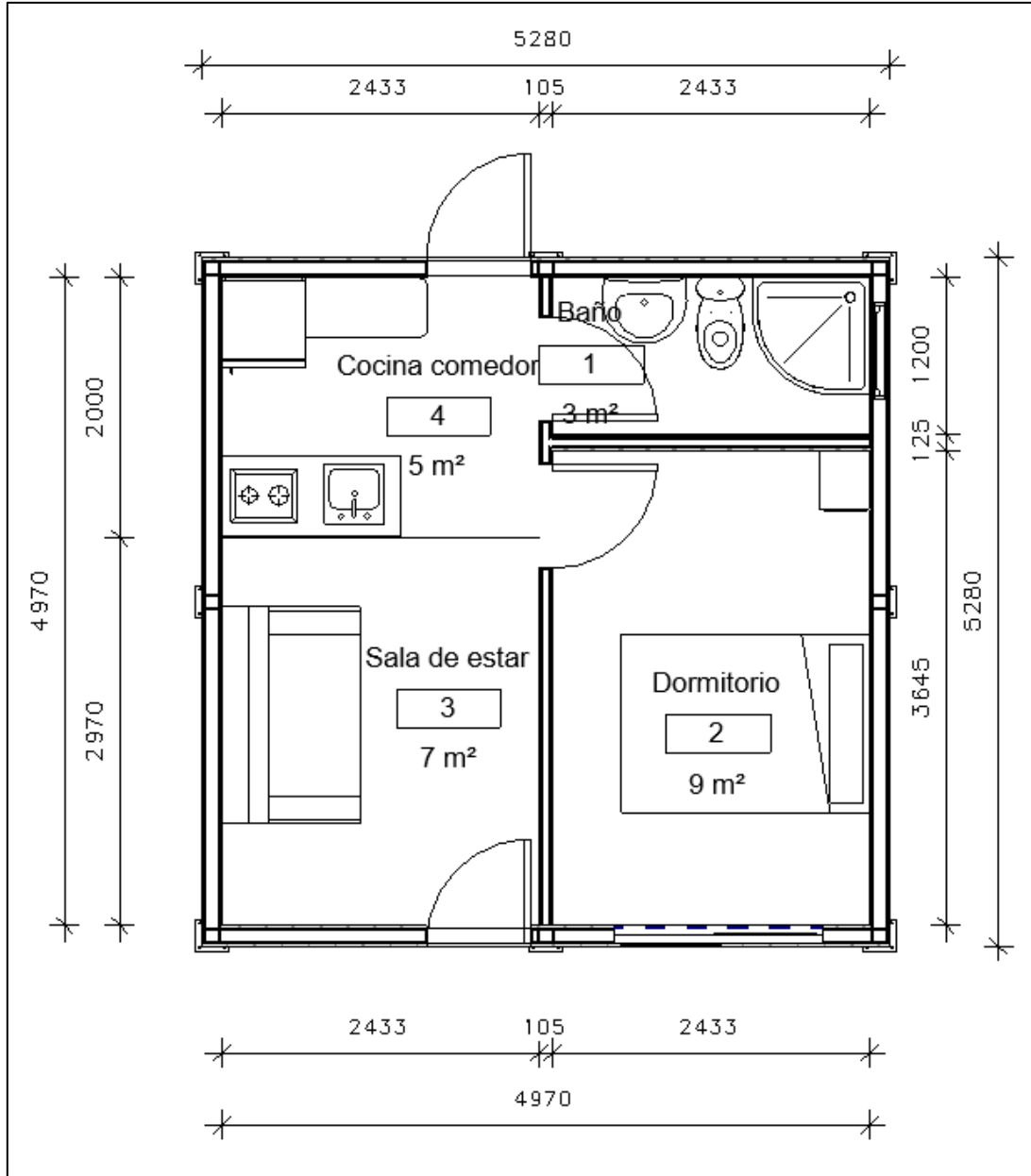
Figura 3- 22: Isométrico vivienda 25m2



Fuente: Propia Revit 2025

La anterior imagen muestra una simulación del modelo de 25 metros cuadrados hecho por dos módulos. Aumentan las columnas de 6 a 8 para sujetar el techo, y para soportar la base 2 dados de apoyo adicionales. Los paneles SIP también aumentan de 12 a 16 unidades.

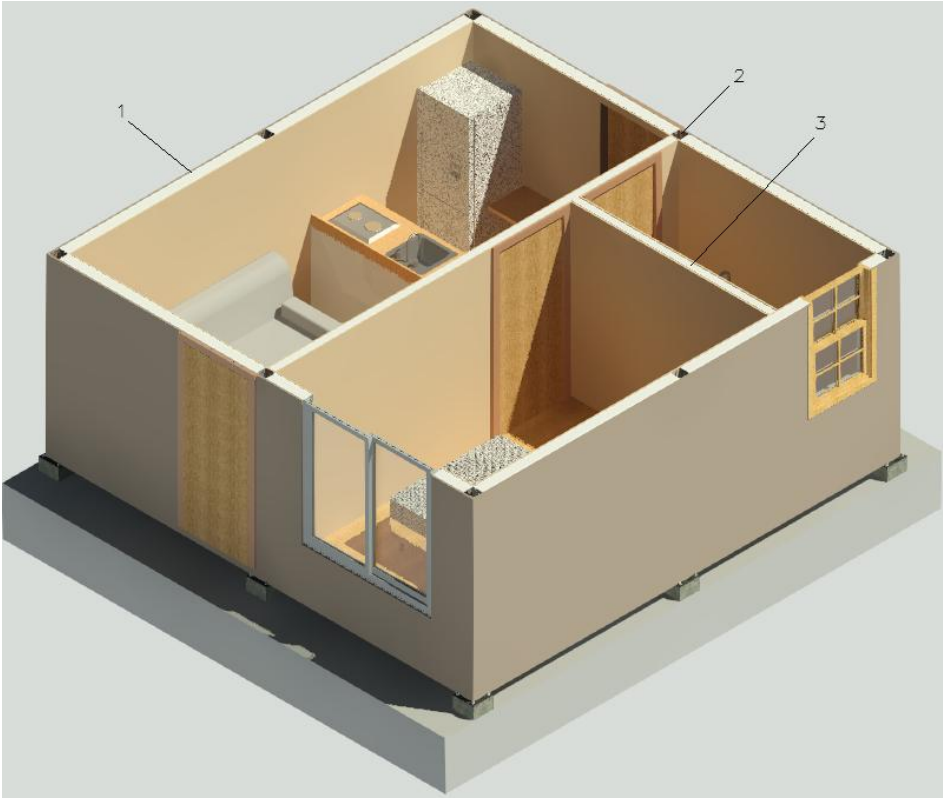
Figura 3- 23: Planta vivienda 25m2



Fuente: Propia Revit 2025

Como se puede apreciar en la imagen de la planta arquitectónica, es una estructura de un nivel conformado por 2 módulos. Estos módulos al ser adaptados a las dimensiones de una plancha de OSB que son las que conforman el sándwich de panel SIP, sus medidas son 1220 por 2440mm y se obtiene un cuadrado de 5.28 por 5.25m lo que dan aproximadamente 25metros cuadrados de vivienda.

Figura 3- 24: Corte Isométrico vivienda 25m2



Fuente: Propia Revit 2025

Como se puede apreciar en este renderizado, el numero 1 representa las paredes exteriores está hechos de panel SIP de 114mm de espesor, cubierto con siding interior y exterior. Luego en el numero 2 se puede visualizar las columnas de 120x120 de reticulado. Y finalmente el numero 3 corresponde a la tabiquería interior que divide las habitaciones, que están hechas con panel SIP de 75mm de espesor y cubiertas con siding interior.

CAPITULO 4: ESTUDIO TECNICO Y ECONOMICO

4.1. METODO DE ANALISIS

Los métodos que se aplicarán a la estructura serán están asociados a las normas mencionadas en el capítulo 2. Cabe recalcar que los datos necesarios para hacer los cálculos de cada análisis, están en sus respectivos documentos asociados a las normas. El resto son variables que sencillamente se pueden sacar del modelo

4.1.1. Análisis sísmico

El procedimiento más adecuado para esta estructura es uno de los tres procedimientos de métodos lineales, que es el análisis estático o de fuerzas equivalentes. Estos son solamente para estructuras de hasta 20m de altura, siempre que su respuesta sísmica se pueda asimilar a la de un sistema de un grado de libertad. Como la estructura mide a lo más 5 metros con un segundo nivel, cumple las características.

El cálculo se logra a través de la ecuación:

$$Q_0 = CIP$$

En que:

Q_0 = esfuerzo de corte en la base

C = coeficiente sísmico

I = coeficiente de importancia

P = peso total de edificio sobre el nivel basal. Para estos efectos, se debe considerar como nivel basal el plano que separa la fundación de la estructura, salvo indicación en contrario del profesional especialista.

Todas las variables menos el peso de la estructura, se encuentran en el documento de la norma NCh2369-2003.

El coeficiente sísmico está en la siguiente tabla

Figura 4- 1: coeficiente sísmico

R	$C_{m\acute{a}x.}$		
	$\xi = 0,02$	$\xi = 0,03$	$\xi = 0,05$
1	0,79	0,68	0,55
2	0,60	0,49	0,42
3	0,40	0,34	0,28
4	0,32	0,27	0,22
5	0,26	0,23	0,18
NOTA - Los valores indicados son válidos para la zona sísmica 3. Para las zonas sísmicas 2 y 1, los valores de esta tabla se deben multiplicar por 0,75 y 0,50, respectivamente.			

Fuente: NCh2369-2003

Para decidir qué valor tomar del factor de amortiguamiento, se debe analizar la estructura y determinar a qué tipo de sistema resistente corresponde en la siguiente tabla.

Figura 4- 2: factor de amortiguamiento

Sistema resistente	ξ
Manto de acero soldado; chimeneas, silos, tolvas, tanques a presión, torres de proceso, cañerías, etc.	0,02
Manto de acero apernado o remachado	0,03
Marcos de acero soldados con o sin arriostramiento	0,02
Marcos de acero con uniones de terreno apernadas, con o sin arriostramiento	0,03
Estructuras de hormigón armado y albañilería	0,05
Estructuras prefabricadas de hormigón armado puramente gravitacionales	0,05
Estructuras prefabricadas de hormigón armado con uniones húmedas, no dilatadas de los elementos no estructurales e incorporados en el modelo estructural	0,05
Estructuras prefabricadas de hormigón armado con uniones húmedas dilatadas de los elementos no estructurales	0,03
Estructuras prefabricadas de hormigón armado con uniones secas, dilatadas y no dilatadas:	0,03
Con conexiones apernadas y conexiones mediante barras embebidas en mortero de relleno	
Con conexiones soldadas	
Otras estructuras no incluidas o asimilables a las de esta lista	0,02
NOTAS	
1) En caso que se use un análisis con interacción suelo-estructura en que resulten valores de la razón de amortiguamiento del primer modo mayores que los indicados en esta tablas, el incremento de esta razón no podra ser superior al 50% de los valores indicados. Los valores para los restantes modos deben ser los indicados en esta tabla.	
2) En caso de duda sobre la clasificación de un sistema resistente, debe aplicarse la disposición 4.7.	

Fuente: NCh2369-2003

La estructura del proyecto se relacionará con el sistema resistente de marcos de acero soldado con o sin arriostramiento. Esto daría un factor de amortiguamiento de 0,02. Lo representa la letra xi (ξ).

Figura 4- 3: factor de modificación de la respuesta

Sistema resistente	R
1. Estructuras diseñadas para permanecer elásticas	1
2. Otras estructuras no incluidas o asimilables a las de esta lista ¹⁾	2
3. Estructuras de acero	
3.1 Edificios y estructuras de marcos dúctiles de acero con elementos no estructurales dilatados	5
3.2 Edificios y estructuras de marcos dúctiles de acero con elementos no estructurales no dilatados e incorporados en el modelo estructural	3
3.3 Edificios y estructuras de marcos arriostrados, con anclajes dúctiles	5
3.4 Edificios industriales de un piso, con o sin puente grúa, y con arriostramiento continuo de techo	5
3.5 Edificios industriales de un piso, sin puente-grúa, sin arriostramiento continuo de techo, que satisfacen 11.1.2	3
3.6 Naves de acero livianas que satisfacen las condiciones de 11.2.1	4
3.7 Estructuras de péndulo invertido ²⁾	3
3.8 Estructuras sísmicas isostáticas	3
3.9 Estructuras de plancha o manto de acero, cuyo comportamiento sísmico está controlado por el fenómeno de pandeo local	3
4. Estructuras de hormigón armado	
4.1 Edificio de estructuras de marcos dúctiles de hormigón armado con elementos no estructurales dilatados	5
4.2 Edificios y estructuras de marcos dúctiles de hormigón armado con elementos no estructurales no dilatados e incorporados en el modelo estructural	3
4.3 Edificios y estructuras de hormigón armado, con muros de corte	5
4.4 Edificios industriales de un piso, con o sin puente grúa, y con arriostramiento continuo de techo	5
4.5 Edificios industriales de un piso, sin puente-grúa, sin arriostramiento continuo de techo, que satisfacen 11.1.2	3

Fuente: NCh2369-2003

Claramente cae en una estructura arriostrada con anclajes dúctiles, por lo tanto, su R es 5. Con esas dos variables R y ξ , se puede determinar que el coeficiente sísmico es de 0,26. Lo siguiente es la clasificación del coeficiente de importancia que depende de la categoría de la estructura según la siguiente lista.

Figura 4- 4: categoría

Para los efectos de la aplicación de esta norma, las estructuras y equipos se clasifican en categorías según su importancia, como sigue:
- Categoría C1. Obras críticas, por cualquiera de las razones siguientes: a) Vitales, que se deben mantener en funcionamiento para controlar incendios o explosiones y daño ecológico, y atender las necesidades de salud y primeros auxilios a los afectados. b) Peligrosas, cuya falla involucra riesgo de incendio, explosión o envenenamiento del aire o las aguas. c) Esenciales, cuya falla puede causar detenciones prolongadas y pérdidas serias de producción.
- Categoría C2. Obras normales, que pueden tener fallas menores susceptibles de reparación rápida que no causan detenciones prolongadas ni pérdidas importantes de producción y que tampoco pueden poner en peligro otras obras de la categoría C1.
- Categoría C3. Obras y equipos menores, o provisionales, cuya falla sísmica no ocasiona detenciones prolongadas, ni tampoco puede poner en peligro otras obras de las categorías C1 y C2.

Fuente: NCh2369-2003

Figura 4- 5: coeficiente de importancia

A cada categoría le corresponde un coeficiente de importancia I, cuyo valor es el siguiente:
C1 I = 1,20
C2 I = 1,00
C3 I = 0,80

Fuente: NCh2369-2003

En este caso la estructura corresponde a una obra normal, categoría C2. Por lo tanto, I equivale a 1,00. Ahora, las deformaciones máximas que se presentarán a continuación, representan el límite máximo de desplazamiento que permite la estructura al aplicar el esfuerzo de corte base. Este esfuerzo en la simulación de Inventor es aplicado de manera radial, justo en una de las caras de la placa base superior, con la base inferior anclada e inamovible, para corroborar que efectivamente con un análisis de estrés, dicha columna no supera el máximo permitido según la norma

Figura 4- 6: deformaciones máximas

6.3 Deformaciones sísmicas máximas Las deformaciones sísmicas se deben limitar a valores que no causen daños a cañerías, sistemas eléctricos u otros elementos unidos a la estructura que es necesario proteger. En todo caso, las deformaciones calculadas con la expresión (6-1) no deben exceder los valores siguientes:	
a) Estructuras de hormigón prefabricado constituidas exclusivamente por un sistema sismorresistente en base a muros conectados por uniones secas.	
$d^{m\grave{a}x.} = 0,002 \ h$	(6-4)
b) Estructuras de muros de albañilería con particiones rigidamente unidas a la estructura.	
$d^{m\grave{a}x.} = 0,003 \ h$	(6-5)

Fuente: NCh2369-2003

Figura 4- 7: efecto P-delta

c) Marcos no arriostrados con rellenos de albañilería dilatados.	
$d^{m\grave{a}x.} = 0,0075 \ h$	(6-6)
d) Otras estructuras.	
$d^{m\grave{a}x.} = 0,015 \ h$	(6-7)
en que:	
h = altura del piso o entre dos puntos ubicados sobre una misma vertical.	
Las limitaciones anteriores pueden ser obviadas si se demuestra que una deformación mayor puede ser tolerada por los elementos estructurales y los no estructurales.	
6.4 Efecto P-Delta	
El efecto P-Delta se debe considerar cuando las deformaciones sísmicas excedan el valor:	
$d = 0,015 \ h$	(6-8)

Fuente: NCh2369-2003

En total se tienen los siguientes valores para la columna de 120x120x2500mm:

$Q_0 = 0,92 \text{ TON}$

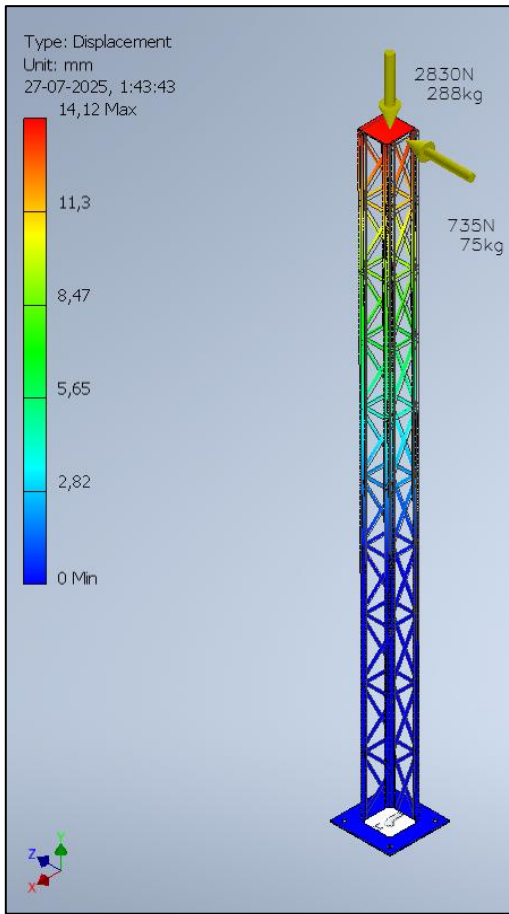
$C = 0,26$

$I = 1$

$P = 2310\text{kg} = 2,31 \text{ TON}$

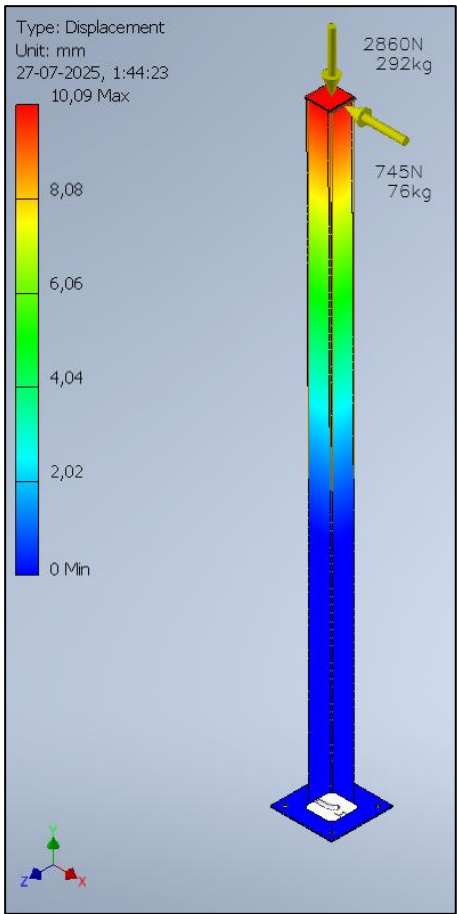
El peso de los 2300 kilos corresponde a la estructura total que se conforma desde la base de las columnas hasta los niveles superiores con el envolvente incluido y las tabiquerías. El esfuerzo corte base de 0,92 toneladas, es el producto de las otras 3 variables $C \cdot I \cdot P$. Este resultado se distribuye por la cantidad exacta de columnas que conforman la estructura. Serían 0,92 dividido 8, da 0,053 toneladas que es igual a 115 kilogramos de esfuerzo corte base en una sola columna. Según el párrafo de las deformaciones máximas, el efecto p-delta coincide con deformaciones del tipo de estructuras similares a la del proyecto. Por lo tanto, nuestra ecuación es la altura del entrepiso multiplicado por 0,015. Si se reemplaza la altura por 2500 mm altura de la columna diseñada que coincide con la columna del entrepiso, da un valor de 37,5 mm de distancia de deformación admitida.

Figura 4- 8: desplazamiento reticulado 120x120x2500mm



Fuente: Autodesk Propia Inventor 2025

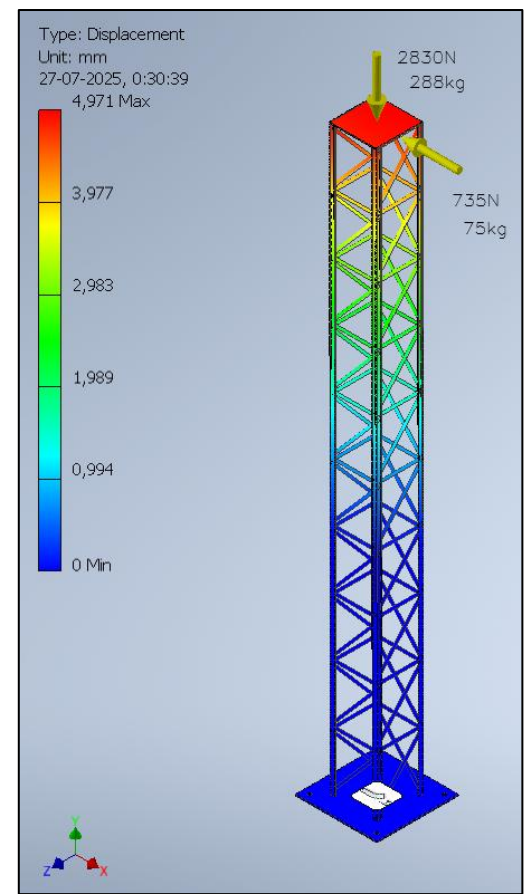
Figura 4- 9: desplazamiento tubular 100x100x3x2500mm



Fuente: Autodesk Propia Inventor 2025

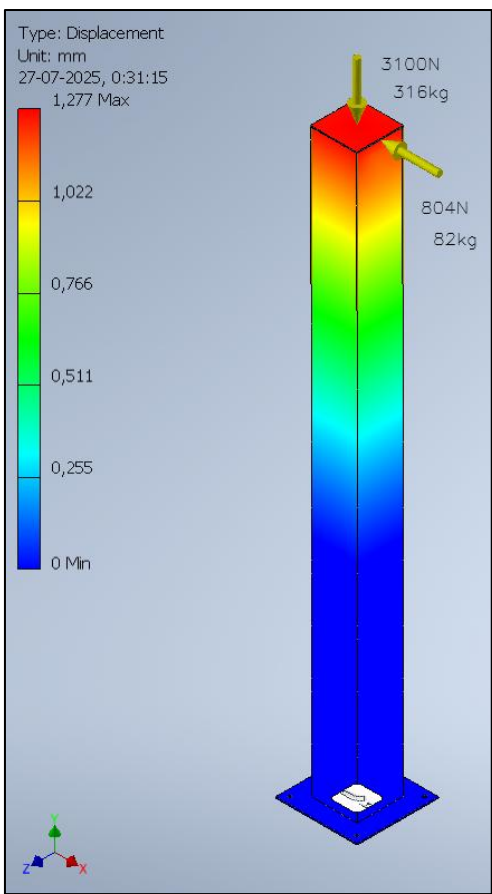
La columna del diseño con celosía de 120x120mm con una altura de 2500mm está sometida a un esfuerzo corte base de 75 kg y el desplazamiento es de un máximo da un valor de 14,12 mm. Este resultado multiplicado por el factor de modificación de respuesta da 71 mm, por lo que excede bastante la deformación máxima admitida que es de 37,5mm. De igual forma, en un contexto de comparación, se tomó en cuenta la típica columna de perfil tubular 100x100x3 mm y la misma altura, también soldada a placas bases como la columna anterior, aplicándose los mismos estudios arrojó que tiene una distancia de deformación de unos 10,09 milímetros aproximadamente, esa cifra multiplicándose por el factor de modificación de respuesta logrando el producto de 50 milímetros, esto genera un delta de 21 milímetros comparado con la columna armadura. Cabe mencionar, que una de las desventajas de los perfiles cuadrados, es que vienen en un catálogo de medidas específicas, por ejemplo, de 75x75 milímetros , luego 100x100, 150x150, 200x200 y así, con sus distintos espesores para cada uno. Esto desemboca en una limitante fuerte cuando se requiere evitar el sobredimensionamiento, porque ahora con los datos registrados de la simulación bajo la norma sísmica, los perfiles usados no son los que satisfacen los requerimientos para la estructura.

Figura 4- 10: desplazamiento reticulado 200x200x2500mm



Fuente: Autodesk Propia Inventor 2025

Figura 4- 11: desplazamiento TUB 200x200x4x2500mm



Fuente: Autodesk Propia Inventor 2025

Ahora la columna con diseño de reticulado de 200x200x2500mm está sometida a un esfuerzo corte base de 75 kg y el desplazamiento es de un máximo de 5 milímetros aproximadamente. Este resultado multiplicado por el factor de modificación de respuesta da 25 milímetros, que son menos que los 37,5 milímetros de la deformación máxima admitida. Es interesante como con tan solo extender de manera transversal un poco de material de barras de acero para aumentar las dimensiones desde 120 a 200mm logra aumentar drásticamente su resistencia a la deformación manteniendo prácticamente el mismo peso. Así mismo, la columna de un perfil tubular 200x200x3 milímetros siendo sometida a la a una fuerza corte base de 82kg demuestra una enorme resistencia a la deformación con apenas 1,3mm de desplazamiento de los 37,5mm postulados como limitante. Todos estos valores se actualizaron de acuerdo al peso que representaba la estructura completa con el diseño de columna correspondiente.

4.2. CUANTIFICACION DE LA ESTRUCTURA MODULAR

4.2.1. Materiales de acero

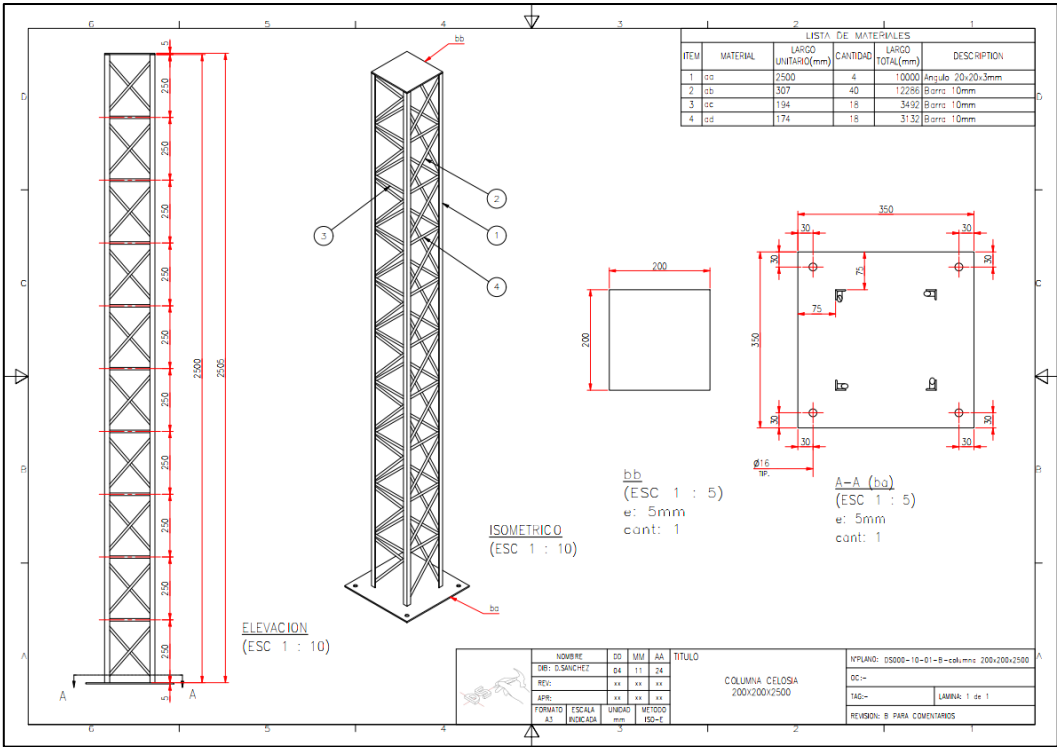
Los materiales de acero que se utilizaron para diseñar el reticulado estructural que conforma la columna de 200x200x3mm por 2500mm de altura (añadiendo además los milímetros de espesor de las placas sería una altura de 2510mm), consta de ángulos doblados de 20x20x3 mm, y barras de construcción de 10 mm de diámetro. En total se necesitan para construir una columna, 10000mm de ángulo doblado 20x20x3mm, y 18910mm de barra de acero estriado de 10mm de diámetro. Además, dos placas, una de 200x200x5mm para la parte superior y otra de 350x350x5mm para la base. Es decir que, en la práctica, se necesitan 2 tiras de ángulos de 6000mm, y 4 tiras de barras, más una placa de 200x200mm de 5mm de espesor y una placa de 350x350mm por 5mm.

Figura 4- 13: cantidad de acero columna x1

LISTA DE MATERIALES					
ITEM	MATERIAL	LARGO UNITARIO(mm)	CANTIDAD	LARGO TOTAL(mm)	DESCRIPTION
1	aa	2500	4	10000	Angulo 20x20x3mm
2	ab	307	40	12286	Barra 10mm
3	ac	194	18	3492	Barra 10mm
4	ad	174	18	3132	Barra 10mm

Fuente: propia Inventor 2025

Figura 4- 14: Lay-out columna



Fuente: propia Inventor 2025

Esto aplica para una sola columna. A continuación, se hará la sumatoria de todas las columnas involucradas en el proyecto, las cuales son 8.

Figura 4- 15: cubicación total columnas de acero

COLUMNA 200x200x2500								
LISTA								
ITEM	CANTIDAD		MATERIAL	LARGO (mm)	MARCA TALLER	PESO (kg)		OBSERVACIONES Y MARCAS
	TOTAL	PARC.				UNIT.	TOTAL	
1	8	1	C-200		E-07	26,4	211,2	
2	32	4	L20x20x3	2500	aa	2,1	8,4	Angulo 20x20x3mm
3	320	40	B10	307	ab	0,2	8,0	barra estructural 10mm
4	144	18	B10	194	ac	0,1	1,8	barra estructural 10mm
5	144	18	B10	174	ad	0,1	1,8	barra estructural 10mm
6	8	1	PL350x5	350	ba	4,8	4,8	placa base
7	8	1	PL200x5	200	bb	1,6	1,6	placa base

Fuente: propia Excel 2019

El valor total incluye el IVA y es un aproximado del coste del material que componen 8 columnas.

Figura 4- 16: Aprovechamiento de material

Aprovechamiento de material

Hojas del archivo utilizadas

8

Área total utilizada

1512320 97%

Área total desperdiciada

47680 3%

Cortes totales

608

Longitud total de corte

6080

Grosor del corte

0

Paneles

307×10 ab x320 \ 194×10 ac x144 \ 174×10 ad x144

Hojas en inventario

6000×10 Barra 10mm x26

Solo barras de 10mm diámetro

Hoja del archivo

6000×10

Cant.

3

Área utilizada

59940 100%

Área desperdiciada

60 0%

Cortes

31

Longitud de corte

310

Paneles

31

Paneles desperdiciados

1

Panel

Etiqueta

Cant.

194×10

ac

30

174×10

ad

1

Hoja del archivo

6000×10

Cant.

1

Área utilizada

59800 100%

Área desperdiciada

200 0%

Cortes

25

Longitud de corte

250

Paneles

25

Paneles desperdiciados

1

Panel

Etiqueta

Cant.

307×10

ab

10

194×10

ac

15

Hoja del archivo

6000×10

Cant.

1

Área utilizada

59800 100%

Área desperdiciada

200 0%

Cortes

25

Longitud de corte

250

Paneles

25

Paneles desperdiciados

1

Panel

Etiqueta

Cant.

307×10

ab

10

194×10

ac

15

Hoja del archivo

6000×10

Cant.

1

Área utilizada

59630 99%

Área desperdiciada

370 1%

Cortes

22

Longitud de corte

220

Paneles

22

Paneles desperdiciados

1

Panel

Etiqueta

Cant.

307×10

ab

15

194×10

ac

7

Hoja del archivo

6000×10

Cant.

3

Área utilizada

59160 99%

Área desperdiciada

840 1%

Cortes

34

Longitud de corte

340

Paneles

34

Paneles desperdiciados

1

Panel

Etiqueta

Cant.

174×10

ad

34

Hoja del archivo

6000×10

Cant.

1

Área utilizada

59080 98%

Área desperdiciada

920 2%

Cortes

32

Longitud de corte

320

Paneles

32

Paneles desperdiciados

1

Panel

Etiqueta

Cant.

194×10

ac

17

174×10

ad

15

Hoja del archivo

6000×10

Cant.

15

Área utilizada

58330 97%

Área desperdiciada

1670 3%

Cortes

19

Longitud de corte

190

Paneles

19

Paneles desperdiciados

1

Panel

Etiqueta

Cant.

307×10

ab

19

Hoja del archivo

6000×10

Cant.

1

Área utilizada

41760 70%

Área desperdiciada

18240 30%

Cortes

24

Longitud de corte

240

Paneles

24

Paneles desperdiciados

1

Panel

Etiqueta

Cant.

174×10

ad

24

Fuente: propia Cutlist Optimizer

Para aprovechar el material al máximo, se usará un programa llamado Cutlist Optimizer disponible en la tienda oficial de Android. El cual es bastante útil para generar cortes, con sus respectivos tags y dimensiones. Sobre todo, cuando existen varios cortes de un mismo material. En esta situación hay segmentos de 3 largos distintos para la barra de 10mm de diámetro. Una llamada “ab” tiene 307mm de largo con 320 unidades, son las barras diagonales de la columna. La siguiente es “ac” y tiene 195mm de largo, son 144 unidades y corresponde a una de las barras laterales, y la última es “ad” de 174 mm con la misma cantidad de 144 unidades, corresponde a las barras laterales que se unen con “ac” formando el cuadrado por dentro. Todo esto repartido en 26 barras de 10mm de diámetro. Con los ángulos no es necesario hacer esto, dado que los cortes llegan al 2500, entonces se necesitan 2 barras por columna, porque son 6000mm de tiras de ángulo, y solo se necesitan 5000mm por cada pilar.

Ahora, se aprovechará de hacer un cálculo simple a modo de comparación para corroborar si efectivamente es más barato o no fabricar estas celosías o es más eficiente comprar tubular de 200x200x3mm.

COLUMNA RETICULADA 200X200X2500MM

Costo de Materiales (para 8 columnas): \$320,000 CLP

Costo de Mano de Obra (Fabricación en Taller): \$218,000 CLP

Costo de Mano de Obra (Soldadura en Obra): \$102,273 CLP

Costo Total Estimado: \$640,273 CLP

COLUMNA DE PERFIL TUBULAR CUADRADO 200X200X3MM

Costo de Materiales (para 8 columnas): \$599,960 CLP (\$149,990 c/u de 6000mm)

Costo de las Placas de Acero (para 8 columnas): \$73,064 CLP

Costo de Mano de Obra (Soldadura en Obra): \$102,273 CLP

Costo Total Estimado: \$775,307 CLP

Las columnas reticuladas tienen cierta ventaja económica sobre los tubulares. Pero las ventajas económicas no solo se justifican en la compra de materiales. También existen otros puntos importantes en los cuales la celosía es mucho más compatible con el proyecto.

Ventajas de armadura:

Ingeniería de Precisión: Su fabricación con plantilla garantiza una alta calidad y uniformidad en serie.

Eficiencia Superior: Su menor peso reduce los costos de manejo y montaje, y su diseño minimiza los puentes térmicos, mejorando el desempeño energético de la vivienda.

Ventajas del Perfil Tubular:

Simplicidad de Fabricación: Se reduce a un corte y una soldadura en los extremos, lo que es su única ventaja real en este contexto.

4.2.2. Otros materiales

PANELES SIP

SIP 114mm (16 unidades):

Costo unitario: \$64.500 CLP/panel

Total: 16 paneles x \$64.500 CLP = \$1.032.000 CLP

SIP 75mm (15 m²):

Costo por m²: \$23.600 CLP/m²

Total: 15 m² x \$23.600 CLP = \$354.000 CLP

SUBTOTAL PANELES: \$1.386.000 CLP

TECHUMBRE

Tejas asfálticas (30 m²):

Costo por m²: \$8.000 CLP/m²

Total: 30 m² x \$8.000 CLP = \$240.000 CLP

Listones para techo (costaneras):

Costo total: \$90.000 CLP

SUBTOTAL TECHUMBRE: \$330.000 CLP

ESTRUCTURA Y REVESTIMIENTOS

Terciado estructural (26 m²):

Costo por m²: \$9.332 CLP/m²

Total: 26 m² x \$9.332 CLP = \$242.640 CLP

Vigas de pino 8x2 pulgadas (40 metros lineales):

Costo por metro lineal: \$6.000 CLP/metro

Total: 40 metros x \$6.000 CLP = \$240.000 CLP

Siding interior vinílico (72 m²):

Costo por m²: \$7.785 CLP/m²

Total: 72 m² x \$7.785 CLP = \$560.500 CLP

SUBTOTAL ESTRUCTURA Y REVESTIMIENTOS: \$1.043.140 CLP

REVESTIMIENTOS DE PISO

Se consideró usar la herramienta de Revit que aparece en la pestaña de arquitectura, luego en el apartado de habitación y área, ahí es donde se crea una habitación para el nivel que se está observando de planta. Para poder calcular los muros, se multiplicó las dimensiones del perímetro de piso que aparecen en las cotas del plano con la altura, y se le sustrajo el área de ventana y puerta. Para eso hay que observar donde hay puertas y ventanas.

Terciado estructural para piso:

Costo total: \$261.296 CLP

Cerámica (Baño y Cocina):

Cajas necesarias: 23 cajas

Costo por caja: \$17.753 CLP

Total: \$408.319 CLP

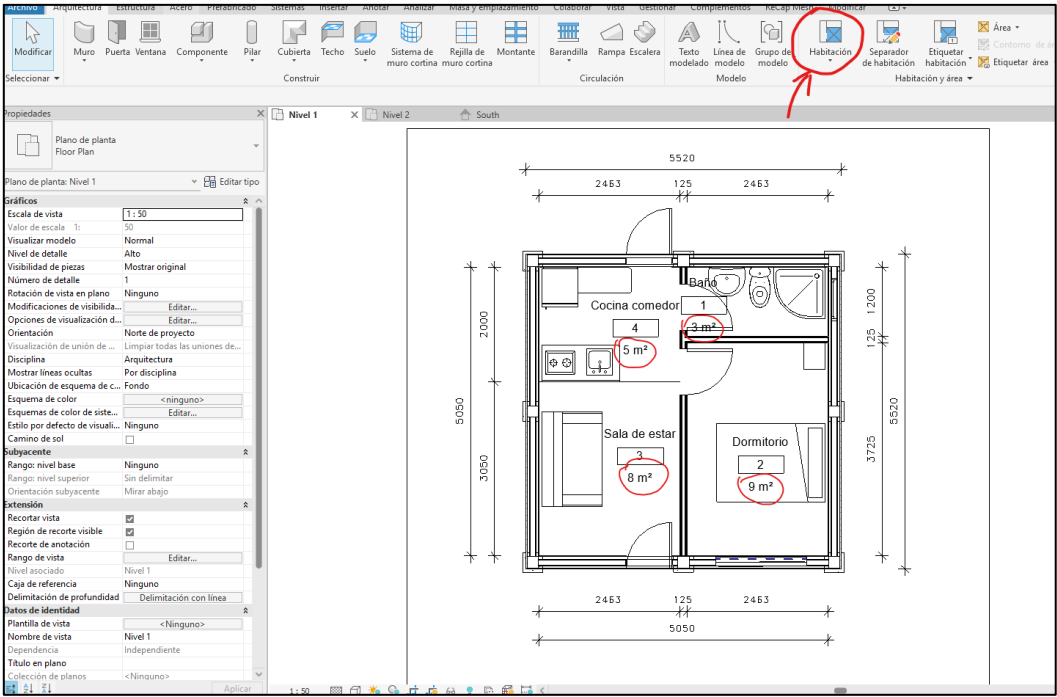
Piso flotante (Sala de estar y Dormitorio):

Cajas necesarias: 8 unidades

Costo por caja: \$21.576 CLP

Total: \$172.608 CLP

Figura 4- 14: arquitectura - habitación



Fuente: propia Revit 2025

SUBTOTAL REVESTIMIENTOS DE PISO: \$842.223 CLP

PUERTAS, VENTANAS Y ACCESORIOS

Puertas y Ventanas:

2 puertas interiores: \$70.000 CLP

2 puertas exteriores: \$205.980 CLP

1 ventana 750x1200mm: \$78.990 CLP

1 ventana 1600x1600mm: \$599.990 CLP

Marcos de Puertas y Ventanas:

Costo total: \$276.560 CLP

Herrajes para Puertas:

Costo total: \$97.000 CLP

Molduras de Pino:

Unidades necesarias: 8 unidades

Costo unitario: \$2.990 CLP

Total: \$23.920 CLP

SUBTOTAL PUERTAS, VENTANAS Y ACCESORIOS: \$1.352.440 CLP

INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Componentes de la Caja Eléctrica: \$64.000 CLP

Cables: \$128.700 CLP

SUBTOTAL INSTALACIÓN ELÉCTRICA: \$192.700 CLP

GRAN TOTAL ESTIMADO: \$4.046.503 CLP

PRESUPUESTO FINAL DE PROYECTO

Costo total de materiales: \$4.046.503 CLP

MANO DE OBRA (promedio del rango):

Cálculo: $(\$2.240.000 + \$3.360.000) / 2 = \$2.800.000 \text{ CLP}$

Se asumirá que se encontró un maestro que lo haga en \$2.500.000 CLP

GRAN TOTAL (MATERIALES + MANO DE OBRA):

$\$4.050.000 \text{ CLP} + \$2.500.000 \text{ CLP} = \$6.550.000 \text{ CLP}$

$\$6.550.000 \text{ CLP} + \$640.273 \text{ CLP (columnas reticuladas)} = \$7.190.273 \text{ CLP}$

Aproximado de \$7.200.000 CLP

4.3. CRONOGRAMA Y AJUSTES

CRONOGRAMA DE MONTAJE (AJUSTADO)

Fundación (Dados): 2 días

Estructura del Piso: 1 día

Montaje de Paneles SIP: 1 día

Estructura y Cubierta del Techo: 2 días

Instalación de Puertas y Ventanas: 1 día

Instalación Eléctrica: 1 día

Terminaciones Interiores: 1,5 días

TOTAL, DE DÍAS HÁBILES ESTIMADO: 9,5 DÍAS

Este cronograma ajustado es una aproximación en el caso que la estructura se ensamble in situ. Sin embargo, tanto el cronograma como el precio se verían afectados si se arrienda un camión con brazo hidráulico.

PRESUPUESTO CON MANO DE OBRA PARCIAL

Costo total de materiales y celosías: \$4.690.273 CLP

Mano de obra (sólo por el techo): \$650.000 CLP

Arriendo de camión con brazo hidráulico: \$240.000 CLP

GRAN TOTAL DEL PROYECTO (APROXIMADO):

$\$4.690.273 \text{ CLP} + \$650.000 \text{ CLP} + \$240.000 \text{ CLP} = \$5.580.273 \text{ CLP}$

Y por último si se contratasen un maestro y ayudante de manera indefinida por varios proyectos. El hecho que hubiese o no camión con brazo hidráulico significaría mayores ingresos por cantidad de proyecto, pero el costo inicial del camión y con su brazo se dejará como un presupuesto sin valor, dado que no se busca desarrollar un flujo de caja en este capítulo.

MANO DE OBRA (SUELDO FIJO MENSUAL)

Sueldo promedio maestro: \$875.000 CLP/mes

Sueldo promedio ayudante: \$525.000 CLP/mes

Costo total mano de obra: $\$875.000 + \$525.000 = \$1.400.000$ CLP

NUEVO PRESUPUESTO TOTAL ESTIMADO

Materiales y celosías: \$4.690.273 CLP

Mano de obra (sueldo fijo): \$1.400.000 CLP

Gran Total del Proyecto: $\$4.690.273 + \$1.400.000 = \$6.090.273$ CLP

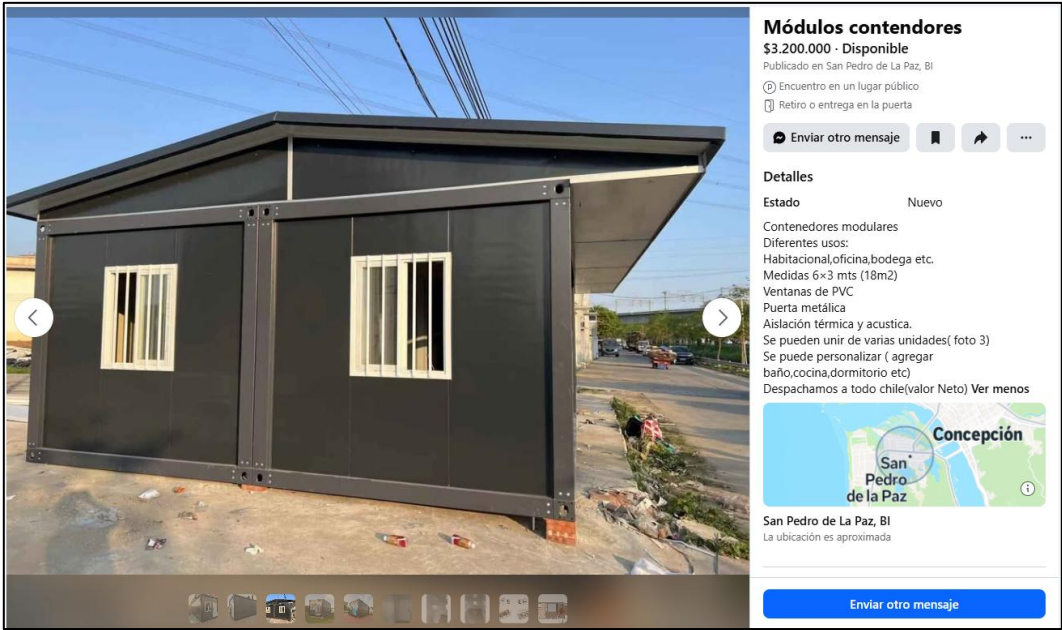
En total sale aproximadamente \$6.100.000 CLP fabricar 1 contendor al mes, en cambio si sale otro en el mismo mes, no se agregaría el sueldo del maestro y el ayudante. Así que dependiendo de esto se puede negociar un aumento de sueldo a uno más oneroso.

Si fuere el caso de alta demanda, si sería conveniente la maquinaria para mejorar la producción.

Ahora el cronograma ajustado con la maquinaria adecuada como el camión pluma se puede bajar a 1 o 2 días el trabajo que solo interviene el techo de la vivienda.

4.4. OTRAS OPCIONES DEL MERCADO

Figura 4- 17: Marketplace Facebook módulos contenedores36m2



Fuente: Marketplace Facebook

Se contactó a la persona encargada de vender los módulos, sin embargo, su especialidad son los comunes de 6x3 metros, los cuales tienen un valor de 3 millones 200 mil pesos chilenos. Para desarrollar los habitáculos de mayor área como los de la imagen, se necesita modificar los ya fabricados. Esto es un detalle muy importante, porque quiere decir que el producto ya esta terminado y listo para llevar y necesita un brazo hidráulico para subir y bajar la estructura, por ende, no hay forma que pueda trasladar los módulos ya soldados uno al lado del otro. En resumen, no son contenedores marítimos. Son módulos estructurales tipo contenedores, con materiales de baja transmitancia térmica.

Puntos a favor:

Los módulos de 6x3 metros son de traslado sencillo habiendo disponible un camión con brazo hidráulico.

Los módulos están listos para llegar y amoblar, con red eléctrica instalada.

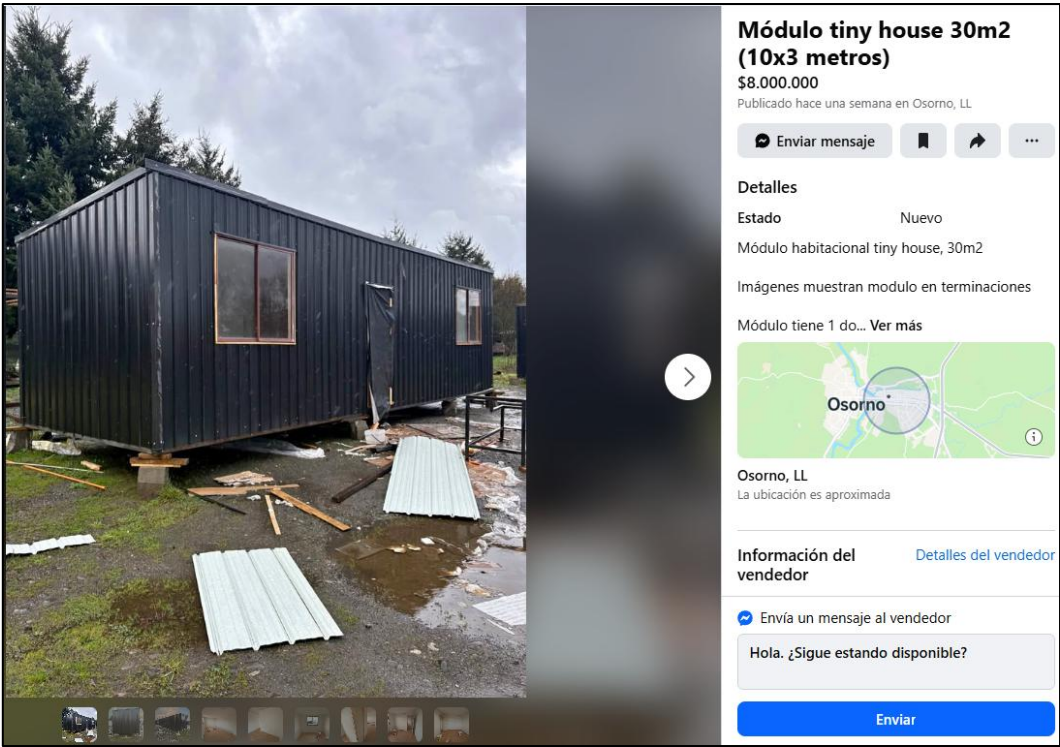
El valor de los módulos coincide con el promedio del valor actual en el mercado

Puntos en contra:

Los módulos son materiales de baja transmitancia térmica pero la estructura de acero no es compatible con el resto de la estructura para lograr una mejor eficiencia térmica.

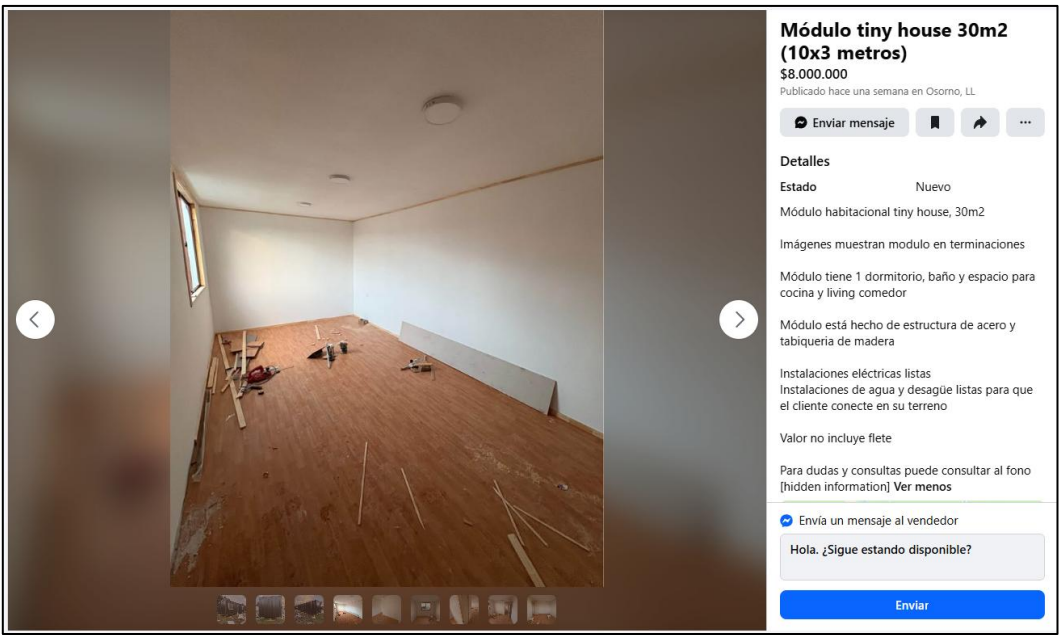
Son módulos que dependen de un camión con brazo hidráulico.

Figura 4- 18: Marketplace Facebook Tiny House 30m2



Fuente: Marketplace Facebook

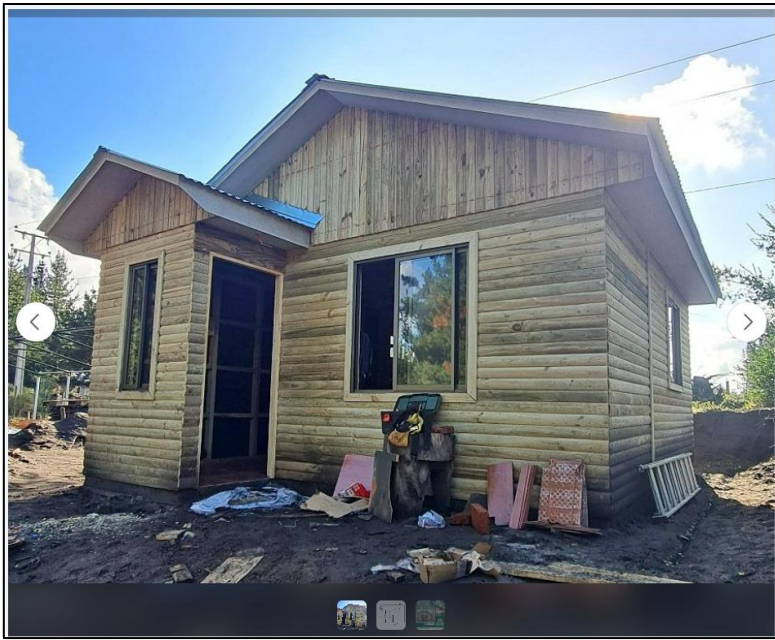
Figura 4- 19: Marketplace Facebook Tiny House 30m2



Fuente: Marketplace Facebook

El módulo tiny house es similar pero unido a lo largo, logrando las dimensiones de área similares al del proyecto. El valor no dista mucho y todo dependerá como se gestione el material, el traslado y la mano de obra.

Figura 4- 20: Marketplace Facebook m2



OFERTA CASA PREFABRICADA 25M2
\$1.990.000 · Disponible
Publicado en Concepción, BI

[Enviar mensaje](#) [Guardar](#) [Compartir](#) [Más](#)

Detalles

Estado

Nuevo

🔥 LAS + VENDIDAS POR - 🔥

📍 CONCEPCIÓN (BIO BIO) Y ALREDEDORES

📅 VÁLIDO HASTA EL 15 DE AGOSTO DE 2025

APROVECHA ESTA OFERTA DE KIT BÁSICO + PUERTAS Y VENTANAS

INCLUYE:

- 🔥 PANELES EXTERIORES FORRADOS CON MEDIA LUNA *IMPREGNADA*
- 🔥 FRONTONES FORRADOS CON MEDIA LUNA *IMPREGNADA*
- 🔥 FIELTEO PERIMETRAL
- 🔥 PANELES INTERIORES SIN FORRO
- 🔥 CERCHAS
- 🔥 COSTANERAS
- 🔥 ZINC ACANALADO
- 🔥 CABALLETE
- 🔥 PUERTAS INTERIORES
- 🔥 PUERTAS EXTERIORES
- 🔥 TODAS LAS VENTANAS

☒ Envía un mensaje al vendedor

Hola. ¿Sigues estando disponible?

Enviar

Fuente: Marketplace Facebook

Las casas prefabricadas son similares, la gran diferencia es que, si depende del terreno en el que se va a depositar la casa, y dependiendo del modelo se puede o no trasladar armada o se lleva por parte y se termina in situ.

Los materiales son de baja calidad, y las tabiquerías interiores no están terminadas. Sin embargo, es mucho más barata que el resto de módulos. La estabilidad de la estructura no esta justificada, ni tampoco los materiales usados para la eficiencia térmica.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El sobredimensionamiento no es atractivo en varios aspectos. Primeramente, cada columna de perfil tubular de 200x200x3mm y 2500mm de altura pesan aproximadamente 50kg, en cambio las de reticulado de 200x200mm pesan 26kg. Si se multiplica por 8 columnas que conforman la estructura, hacen un total de 400kg las tubulares, y 208kg las reticuladas. O sea que con un delta de 192kg, hay punto a favor de las celosías para realizar estructuras modulares más livianas. Otra de las cualidades de este tipo de columnas, es su compatibilidad con el resto de materialidad que tiene la estructura, ayudando enormemente a evitar puentes térmicos. Por lo tanto, un tubular de acero es menos beneficioso para conservar el ambiente que un reticulado. Además, que se facilita el montaje y el traslado.

En síntesis, los reticulados mejoran varios aspectos sin perder mucho en características mecánicas, y mejora enormemente la compatibilidad con los materiales de baja transmitancia térmica.

Se puede lograr un mayor margen de ganancia con los módulos estructurales con celosía, el tema es jugar con el presupuesto, la demanda del producto y analizar el servicio que se necesita para ensamblar y construir. Además, existe mayor confiabilidad en este proyecto porque existe un estudio de ingeniería de detalle, planos arquitectónicos, planos de ensambles y fabricación y un estudio técnico.

En la teoría es totalmente replicable, sin embargo, faltan las herramientas y el espacio para poder llevar a cabo a la realidad estos procesos previos a la venta.

LINKOGRAFIA Y FUENTES DE LA INFORMACIÓN

EMPRESA DE ESTRUCTURA MODULAR LÍDER EN CHILE

DEFINICIÓN DE MÓDULO

<https://definicion.de/modulo/>

DEFINICIÓN DE ESTRUCTURAS MODULARES

https://wiki.ead.pucv.cl/index.php/Estructuras_Modulares

CLASIFICACIÓN DE TIPOS DE CONSTRUCCIONES

<https://www.arqydom.cl/categorias-y-tipos-de-construcciones/>

<https://scsarquitecto.cl/clasificacion-categoria-construcciones/>

TABLAS DE MATERIALES OCUPADOS EN CHILE

<https://construye2025.cl/download/187/documentos-de-interes/6861/la-construccion-de-viviendas-en-madera-en-chile-un-pilar-para-el-desarrollo-sostenible-y-la-agenda-de-reactivacion.pdf>

CASAS 3D EN CHILE

<https://www.cdt.cl/las-primeras-casas-chilenas-impresas-en-24-horas-podrian-ser-realidad-en-2023/>

INTRODUCCION A LA SIMULACIÓN

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/5884/tesis.pdf?sequence=1>

HISTORIA DE REVIT

<https://ibim.cl/empresa/37836/>

RESISTENCIA TERMICA DEFINICIÓN

<https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-la-resistencia-termica-resistividad-termica-definicion/>

http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F_DE_T-165.htm

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA

<https://www.calificacionenergetica.cl/que-evalua-la-calificacion-energetica-de-viviendas/>

ESTRUCTURA RETICULAR

https://es.wikipedia.org/wiki/Estructura_reticular

[https://es.wikipedia.org/wiki/Armadura_\(estructura\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Armadura_(estructura))

MATERIALES AISLANTES

https://es.wikipedia.org/wiki/Aislamiento_t%C3%A9rmico

ENVOLVENTE TÉRMICO

https://cchc.cl/uploads/comunicacion/archivos/manual_CDT_2016.pdf

INFORMACION DEL MERCADO (ESTRUCTURAS MODULARES)

<https://www.facebook.com/marketplace>

INFORMACION DEL MERCADO (SALARIOS)

<https://cl.computrabajo.com/salarios>

<https://www.laborum.cl/salarios>

<https://cl.jooble.org/trabajo>

INFORMACION DEL MERCADO (MATERIALES)

<https://www.sodimac.cl/sodimac-cl>

<https://www.easy.cl/>

<https://acenorchile.com/>

<https://www.multiaceros.cl/>

<https://www.electrocom-chile.cl/>