UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

ARQUITECTURA. USM

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE ARQUITECTURA
VALPARAISO-CHILE

Diseño para la manufactura y el montaje de una escalera modular para el modelo de vivienda Ditec-E2E prefabricada en planta

Memoria de titulación para optar al título de Arquitecto
Modalidad I+D, Diciembre 2025

Alumno:
Mauricio Esteban Avalos Rojas

Profesor Guía:
Sr. Luis Felipe González Böhme

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

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

Título del trabajo: Diseño para la manufactura y el montaje de una escalera modular para el modelo de vivienda Difec-E26 prefabricada en planta

Nombre del candidato(a): Mauricio Esteban Arellos Rojas

Carrera / Grado: Arquitectura.

Campus: casa central **Departamento:** Arquitectura.

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Luis Felipe Gonzalez, 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 (marcar una opción)

X 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 (**marcar una opción**):

☐ 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: 21-10-2026 **Firma:**

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 21-10-2026 **Firma:**

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a mi madre, Lidia, por ser mi principal sostén en los momentos más difíciles, por su fortaleza, su tranquilidad y por enseñarme a confiar en Dios y en los tiempos de la vida. A mi abuela Cecilia, por su cuidado constante, su apoyo cotidiano y por ser uno de los pilares fundamentales de mi formación personal. A mis abuelos, Sergio Mario y Hernán, gracias por las enseñanzas transmitidas a través del ejemplo, la generosidad y la curiosidad por aprender, valores que han marcado mi camino.

A mis imágenes paternas, en especial a mi tío Nano y a mi abuelo Hernán, agradezco el valor del esfuerzo, la disciplina y la constancia frente a la vida. A mis tías y tíos, gracias por el apoyo, la confianza y las enseñanzas recibidas a lo largo de los años.

A mis profesores, agradezco su profesionalismo y exigencia, fundamentales en mi formación académica y personal. A mis hermanos, primos y familia, gracias por el respaldo, la confianza y por enseñarme que la vida también se construye desde la compañía y la alegría.

A Constanza, la madre de mi hijo, gracias por comprender este proceso y por acompañarme con paciencia en cada etapa. Valoro profundamente que hayas sabido entender los tiempos, las exigencias y también las dudas propias de este camino, compartiendo conmigo tanto el ánimo como el nerviosismo de cada momento importante.

Gracias por tu apoyo constante, por estar incluso cuando el cansancio y la presión se hacían sentir. Y gracias, sobre todo, por el regalo más grande de mi vida: nuestro hijo Mateo, quien llegó mientras culminaba este proceso y le dio un sentido aún más profundo a este logro. Nada de esto habría sido igual sin tu compañía y tu confianza

A los que ya no estan, especialmente a Marcos y Benjamín, gracias por marcar mi vida y acompañarme, incluso desde la ausencia. A mis mascotas, Enzo y Barri, gracias por su compañía incondicional en este proceso.

Finalmente, me agradezco a mí mismo por la constancia, la resiliencia y la capacidad de seguir adelante en los momentos de duda. Hoy agradezco a la vida por enseñarme a valorar lo que tengo, comprender lo que falta y reconocer que siempre es posible levantarse y continuar.

RESUMEN

Chile es un país en constante crecimiento, donde los avances tecnológicos impactan progresivamente en todos los sectores productivos. En este contexto, el rubro de la construcción enfrenta el desafío de adaptarse a nuevos estándares de eficiencia, sostenibilidad y habitabilidad. Las limitaciones del sistema de construcción tradicional caracterizado por extensos tiempos de ejecución, control y escasa estandarización contrastan con las oportunidades que ofrece la construcción industrializada, basada en procesos mecanizados, de prefabricación y control de calidad.

Esta memoria plantea una investigación aplicada sobre el diseño y desarrollo de una escalera modular para viviendas industrializadas en Chile. El estudio toma como caso base la escalera de la vivienda DITEC-E2E, primera solución constructiva industrializada aprobada por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) en el marco del Plan de Emergencia Habitacional. A partir de este referente, se integran criterios de diseño técnico, principios de prefabricación, normativa nacional y factibilidad constructiva en la planta, con el fin de generar una solución adaptable, eficiente y replicable.

Entre estos desafíos se identifica, en primer lugar, que ciertos componentes arquitectónicos continúan requiriendo ajustes o fabricación parcial en terreno. Tal es el caso de las escaleras, cuyo diseño suele ser específico para cada proyecto. Pese a que se ha identificado un esfuerzo por parte de E2E en diseñar y procesar la escalera desde la misma línea de producción, esto provocó interrupciones en la continuidad productiva, adaptaciones e inquietudes respecto de las problemáticas que allí surgieron, tales como el uso del material, el aprovechamiento y adaptación del espacio de trabajo y acopio, además de los recursos necesarios para completar el proceso total. Finalmente, y como se presenta en la vivienda DITEC, se plantea una solución de escalera que responde a consideraciones que van desde el uso del material, maquinaria adecuada en su proceso constructivo y el costo total que esta requiere. Esta condición implica que la industrialización no alcanza aún la totalidad del sistema constructivo que plantea la planta prefabricadora de paneles.

ABSTRACT

Chile is a country in constant growth, where technological advances progressively impact all productive sectors. In this context, the construction sector faces the challenge of adapting to new standards of efficiency, sustainability, and habitability. The limitations of the traditional construction system, characterized by extensive execution times, control, and limited standardization, contrast with the opportunities offered by industrialized construction, based on mechanized processes, prefabrication, and quality control.

This thesis presents an applied research study on the design and development of a modular staircase for industrialized housing in Chile. The study takes as its base case the staircase of the DITEC-E2E housing model, the first industrialized construction solution approved by the Ministry of Housing and Urban Development (MINVU) within the framework of the Housing Emergency Plan. Based on this reference, criteria of technical design, prefabrication principles, national regulations, and constructive feasibility in the plant are integrated, in order to generate an adaptable, efficient, and replicable solution.

Among these challenges, it is identified, first, that certain architectural components continue to require adjustments or partial fabrication on site. Such is the case of staircases, whose design is usually specific to each project. Despite the fact that an effort has been identified on the part of E2E to design and process the staircase from the same production line, this caused interruptions in production continuity, adaptations, and concerns regarding the issues that arose there, such as material use, the utilization and adaptation of the workspace and storage, in addition to the resources required to complete the entire process. Finally, as presented in the DITEC housing model, a staircase solution is proposed that responds to considerations ranging from material use, appropriate machinery in its construction process, and the total cost it requires. This condition implies that industrialization does not yet reach the entirety of the constructive system proposed by the panel prefabrication plant.

ÍNDICE

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS 3

RESUMEN 5

ÍNDICE 9

1. INTRODUCCIÓN 12

1.1. Problema u Oportunidad 15
1.2. Solución propuesta 16
1.3. Análisis del estado del arte 17
1.4. Hipótesis y componente de investigación 21
1.5 Objetivos 22
1.5.1 Objetivo General
1.5.2 Objetivos Específicos
1.6 Metodologías de investigación y desarrollo 23
1.7 Resultados esperados 25

2. MARCO TEÓRICO Y REFERENCIAL 26

2.1 Partes Técnicas de una escalera 27
2.1.1. Especificaciones técnicas fundamentales
2.1.2. Componentes estructurales de la escalera 29
2.1.3. Tipologías 31
2.2. Normativa chilena 32
2.3. EE.TT Proyecto Vivienda Industrializada Minvu-E2E 33
2.4. Planimetria escalera Vivienda Ditec 34
2.5. Tipologías construidas 45
2.6 Empresa E2E y su proceso de industrialización 49
2.6.2 Estaciones de trabajo y maquinaria 50

3. DESARROLLO DEL PROYECTO 53

3.1. Factibilidad técnica y económica 54
3.1.1. Flujo de material a través de la maquina WEINMANN WBZ 160
3.1.2. Tipo de madera 59
3.2. Diseño modular
3.2.1. Configuración final de los tres módulos 60
3.2.2. Detalles constructivos 67
3.3. Ensamblaje y compatibilidad 73

4. CONCLUSIONES PRELIMINARES 79

4.1. Aportes 80
4.2. Limitaciones y proyecciones 81

5. BIBLIOGRAFÍA 83

6. ANEXOS 85

6.1. Prototipos 87
6.2. imagenes proceso de maqueta 1:1 95

INTRODUCCIÓN

La construcción industrializada de viviendas se describe como el acto de ejecutar la vivienda en una planta industrializadora o de fabricación, integrando uno o varios componentes, elementos y/o unidades volumétricas en un proceso global de ejecución y montaje, generalmente con el objetivo de acelerar la construcción en terreno y mejorar el desempeño de la construcción en distintas etapas y áreas de un proyecto que aseguren la calidad, para conformar una parte o la totalidad de la vivienda industrializada, realizando principalmente en el sitio de la obra actividades de montaje y acabado (MINVU, 2025).

Esta tendencia, presente a nivel global, también ha adquirido fuerza en Chile. Durante los últimos años especialmente en el contexto de la pandemia 2020-2021 la demanda por soluciones prefabricadas experimentó un aumento significativo. Paralelamente, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) ha impulsado la industrialización en programas habitacionales de carácter social a través del Plan de Emergencia Habitacional (PEH), cuyo objetivo es construir 260.000 viviendas entre 2022 y 2026. A septiembre de 2025, el plan registra más de 214.588 viviendas entregadas y 127.428 en ejecución, alcanzando un 82,5 % de la meta comprometida (MINVU, 2025). Para fortalecer este avance, el MINVU ha promovido la certificación de empresas prefabricadoras y la aprobación de proyectos tipo, orientándose a la producción de viviendas asequibles y de alta calidad como estrategia para reducir el déficit habitacional.

En este contexto, la **construcción industrializada en madera** ha adquirido un protagonismo creciente, impulsada por las propiedades intrínsecas del material: bajo peso, alta resistencia mecánica, buen desempeño térmico y acústico, y una renovabilidad coherente con los principios de sostenibilidad. Sin embargo, este modelo constructivo presenta desafíos que requieren la incorporación de enfoques y metodologías capaces de integrar adecuadamente el proceso completo y responder a las particularidades de esta forma de construir.

En el panorama chileno, estos desafíos se expresan en barreras estructurales que dificultan la adopción plena del modelo. Según el Consejo de Construcción Industrializada (CCI, 2021) y empresas como E2E, una de las problemáticas persistentes es la fragmentación del proceso productivo: diseño, cálculo estructural, fabricación y montaje continúan operando como etapas disociadas, limitando la eficiencia integral del sistema. Frente a ello, el enfoque **Design for Manufacture and Assembly (DfMA)** surge como una metodología clave para optimizar la construcción industrializada.

DfMA orienta el diseño hacia la eficiencia en fabricación y montaje, **promueve la coordinación temprana** entre los actores de la cadena de valor y facilita la construcción off-site mediante la estandarización y el uso de **"kits de partes"**. Al considerar desde la fase de diseño aspectos como materiales, tolerancias, dimensiones, transporte, logística y condiciones de montaje, esta metodología reduce residuos, mejora la calidad, disminuye costos y minimiza el trabajo en obra, fortaleciendo las ventajas asociadas a la prefabricación.

La presente memoria para optar al título de Arquitecto se inserta en este escenario, abordando el desarrollo de la construcción industrializada en madera en Chile y tomando como caso de estudio la vivienda de emergencia DITEC, diseñada por la empresa E2E, una de las impulsoras de tecnologías avanzadas aplicadas a la fabricación y montaje industrializado en madera.

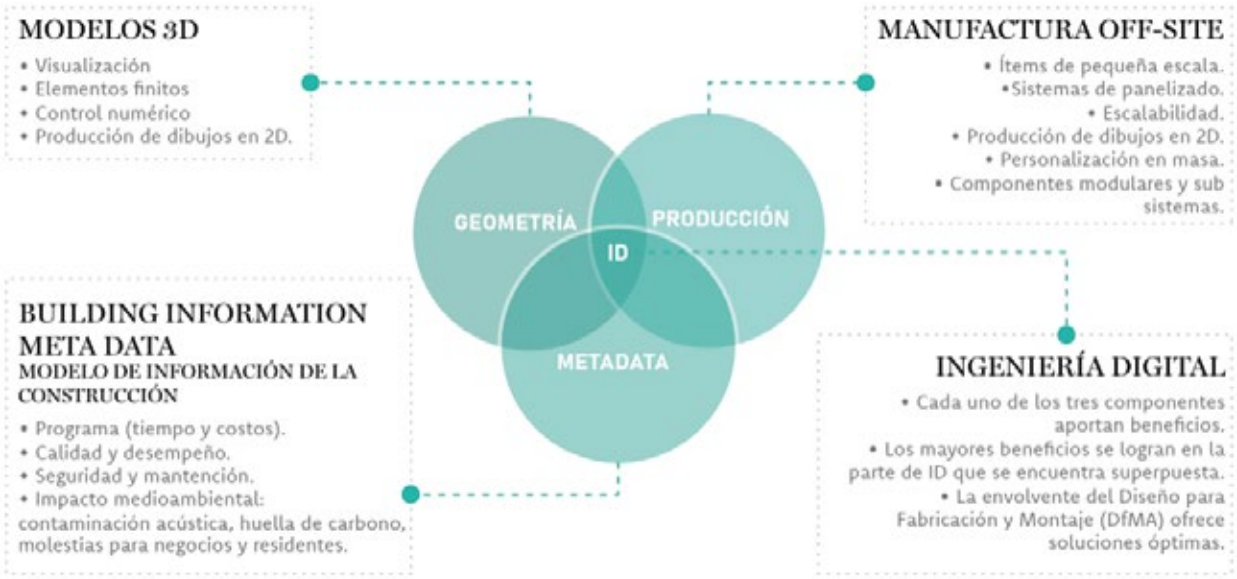


Diagrama 1: Contexto de aplicación DfMA
Fuente: Guía de diseño e industrialización en madera



Construcción Industrializada en Madera, método de paneles Bidimensionales
Fuente: www.madera21.cl



Casa DITEC/E2E FN
Fuente: E2E

1.1 Problema u oportunidad

E2E es una fábrica cuya línea productiva se especializa en la producción de elementos bidimensionales independientes, según lo establecido en la norma oficial de construcción industrializada (MINVU, 2024, D.E. 40). Debido a que su sistema constructivo se basa en paneles con estructura de madera y no contempla la fabricación de unidades volumétricas, su maquinaria está destinada al mecanizado y ensamblaje de paneles. De esta manera, la planta demanda nuevos desarrollos, como una escalera capaz de fabricarse con la misma maquinaria y, a su vez, integrarse en el paquete de entrega de la vivienda industrializada tipo (VIT).

Actualmente, la planta no cuenta con una escalera diseñada, estandarizada ni fabricada bajo criterios de industrialización, lo que genera dificultades de integración al sistema industrializado, generando un vacio/oportunidad dentro del proceso de industrialización.

En principio la empresa opta por fabricar la escalera en serie para la vivienda de emergencia Ditec-E2E en la planta; sin embargo, esta solución ha sido **rechazada** por la dirección técnica DITEC debido a su materialidad y bajo desempeño. La escalera se construye con terciado estructural de 18 mm, un material que ha presentado deformaciones, vibraciones y fallas durante su vida útil. Estas condiciones comprometen su confiabilidad estructural, reducen la percepción de calidad de la vivienda y obligan a implementar soluciones correctivas mediante otros diseños, lo que incrementa los costos y extiende los tiempos de producción, particularmente en el contexto de los pedidos de Vivienda de Emergencia DITEC–E2E.

En consecuencia, la escalera queda fuera del sistema de industrialización, debiendo resolverse en obra de forma tradicional por una empresa constructora, lo que contradice la lógica productiva de E2E basada en la eficiencia, estandarización y control de calidad.

1.2 Solución propuesta

La solución propuesta en este trabajo es el diseño para la manufactura y el montaje (Dfma, Design for Manufacturing and Assembly) de la escalera modular para el modelo de vivienda Ditec-E2E prefabricada en planta

Esta solución se enfocará en mejorar las prestaciones funcionales, operacionales y productivas del elemento escalera existente para la vivienda DITEC-E2E, correspondiendo al tipo de desarrollo Mejorado. El trabajo consistirá en la elaboración de un modelo tridimensional detallado de la escalera modular utilizando el software Rhinoceros, acompañado de la planimetría técnica, la definición del material requerido y la identificación de las estaciones del proceso productivo por las cuales debe pasar para ser fabricada dentro de la planta E2E.
Para ello se desarrollarán tres unidades volumétricas principales. Dos de ellas se dividirán en tramos.
El Módulo 1, correspondiente al inicio de la escalera, se compone de dos zancas y dos escalones unidos mediante mecanizados específicos. Este módulo incorpora un sistema de conexión inferior y superior diseñado para transmitir cargas al piso y asegurar un montaje preciso y estable.
El Módulo 2, denominado módulo descanso, consiste en una caja estructural que permite el cambio de dirección de la escalera. Este elemento incorpora rebajes mecanizados que le permiten recibir al módulo siguiente, para transmitir adecuadamente las cargas.
El Módulo 3, que constituye el tramo principal de la escalera, corresponde al tramo recto y está formado por la mayoría de los escalones y por la estructura principal del conjunto. Este módulo incluye dos zancas unidos por los escalones mediante uniones mecanizadas de precisión, además de las operaciones necesarias para conectarse inferiormente al módulo descanso y superiormente al entrepiso.
Todos los componentes serán producidos mediante operaciones automatizadas en la procesadora de vigas y ensamblados en estaciones manuales.

El nivel de desarrollo esperado es Experimental, obteniendo una solución validada a escala simulada que permita demostrar la factibilidad técnica de una escalera compuesta por unidades volumétricas industrializadas y evaluar su integración al sistema productivo de E2E como posible reemplazo de la escalera actual.

1.3 Análisis del estado del arte

La construcción industrializada en madera ha adquirido especial protagonismo en el país, ya que permite acortar plazos, garantizar altos niveles de precisión y disminuir la huella ambiental del sector, apoyándose en un material renovable como la madera que cuenta con excelente desempeño térmico y estructural. Esta combinación de tecnología, estandarización y sostenibilidad se presenta como una respuesta concreta al déficit habitacional y a los compromisos globales de descarbonización (CCI, 2022).

La industrialización consiste en trasladar una parte significativa del proceso constructivo desde la obra hacia la fábrica, incorporando **prefabricación, digitalización y automatización** como ejes centrales del diseño y la producción. A diferencia de la prefabricación, que se limita a fabricar elementos fuera del sitio, la industrialización integra todo el ciclo constructivo bajo un enfoque sistémico: diseño coordinado, gestión industrial, control de procesos, logística avanzada y montaje en obra con mínima intervención. Este modelo aumenta la productividad entre cinco a diez veces respecto a métodos tradicionales, mejora la seguridad laboral, reduce residuos y disminuye la variabilidad asociada al trabajo en terreno (Carlos Bascou Bentjerodt, 2022).

Resultado de una alianza estratégica (joint venture) entre Arauco y Etex Group, E2E ha desarrollado un modelo productivo basado en la industrialización integral del sistema constructivo en madera, articulando el proceso desde la oficina técnica hasta el montaje en obra. A través de metodologías BIM y tecnologías de automatización digital, los proyectos arquitectónicos se transforman en sistemas constructivos precisos y estandarizados, diseñados para garantizar calidad y repetibilidad.

El **sistema empleado** corresponde a un **marco plataforma** en madera que permite la edificación de muros, pisos, entrepisos, cubiertas y cerchas. Corresponde al sistemas en madera mas utilizado en Chile. La planta combina partidas prefabricadas con otras ejecutadas in situ, optimizando así el flujo constructivo. En condiciones controladas de fábrica, se producen los paneles estructurales de muro y las estructuras de techumbre, los cuales son posteriormente transportados al sitio de montaje, permitiendo una instalación rápida, segura y con una considerable reducción de residuos y tiempos de ejecución.

Los elementos prefabricados en **entramado ligero** pueden producirse en dos formatos principales: **2D (paneles) y 3D (módulos)**.Ambos pueden fabricarse en tres niveles de completitud, que van desde la obra gruesa hasta unidades que incluyen instalaciones y terminaciones.

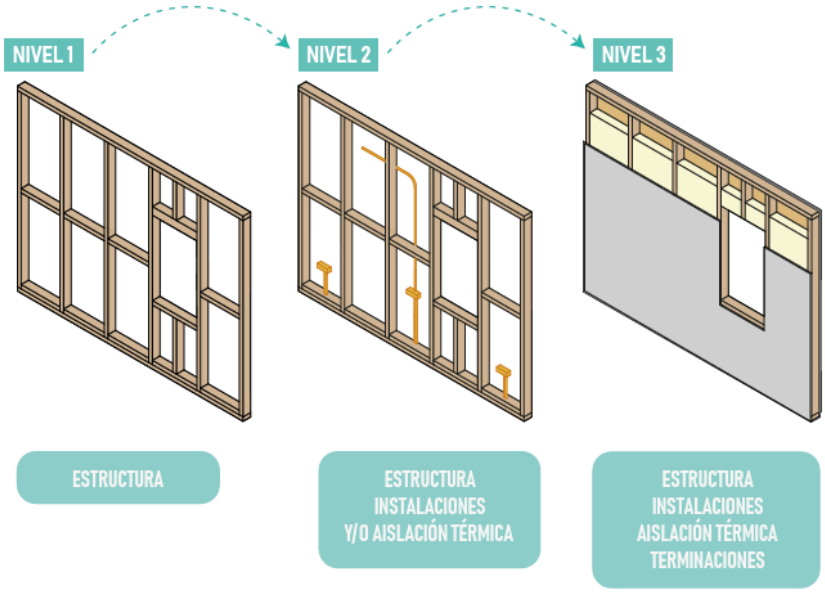


Figura 2: Clasificación de los paneles prefabricados
Fuente: Guía de diseño e industrialización en madera

En este contexto, se observa que ciertos componentes y elementos arquitectónicos continúan fabricandose en obra de manera tradicional, cuando podrian ser parte de la linea de producción industrializada. La planta E2E se encarga de fabricar paneles que corresponden a elemento bidimencionales que no crean espacios por si mismos, sino que en conjunto con otros paneles y elementos. De esta manera la planta fabrica los paneles mas completos que cuentan con estructura, instalaciones, aislación térmica y algunas terminaciónes.

Al desarrollar estos proyectos, la oficina técnica de E2E ajusta cada diseño a las capacidades reales de la planta. Este paso implica una **fragmentación** natural de la **cadena de valor**, donde se toman decisiones según la maquinaria disponible, los materiales, y el método de fabricación de cada componente.

Sin embargo, en este proceso aún persisten brechas. La solución prefabricada presenta márgenes de mejora, como en la integración de ciertos elementos arquitectónicos, entre ellos la escalera. Aunque su diseño es elaborado y controlado por la oficina técnica, su fabricación queda fuera del sistema automatizado, siendo derivada a la constructora en obra.

Esta separación revela una limitación en el nivel de industrialización, ya que interrumpe la trazabilidad del componente, genera variabilidad en su calidad y disminuye la eficiencia del modelo productivo integrado. De esta manera, y analizando esta brecha se pretende que la escalera sea integrada al proceso productivo en planta y sea transportada y posteriormente montada según orden de montajes ya existentes.





Montaje paneles vivienda Ditec-E2E
Fuente: E2E

1.4. Hipótesis y componente de investigación

El principal desafío científico radica en **validar** la adaptabilidad **geométrica, estructural y productiva** del elemento escalera dentro del sistema de fabricación industrializada en madera de paneles en E2E. Esto requiere aplicar un enfoque DfMA, optimizando el diseño para aumentar la producción, entonces la escalera podrá integrarse adecuadamente al proceso automatizado de la planta, siendo procesada en la línea de producción conforme a las capacidades reales de la maquinaria, a la correcta selección de materiales y a un flujo de fabricación claramente definido.
Esta validación se materializará a través del diseño 3d, esquemas, mapas y representaciones de flujo de producción, que describan la obtencion del componente dentro del sistema automatizado, y mediante un prototipo de solución constructiva que permitan comprobar la coherencia entre diseño, forma y factibilidad constructiva del elemento.

Hipótesis 1: Integración DfMA y estandarización del componente

Si la escalera se rediseña como módulos prefabricados estandarizados, ajustado a la normativa de la Vivienda Industrializada Tipo (VIT), y a los principios DfMA, entonces será posible integrarla al flujo de producción industrial de E2E, validando su viabilidad geométrica, constructiva y su trazabilidad, permitiendo su **incorporación** al paquete de entrega de la vivienda de emergencia industrializada tipo y contribuyendo a disminuir la brecha de vivienda en Chile.

Hipótesis 2: Selección del material y viabilidad estructural-productiva

Si se selecciona un material de calidad adecuado para la escalera coherente con los estándares que maneja la planta, entonces será posible validar su desempeño estructural, su durabilidad y su eficiencia productiva, garantizando la factibilidad del elemento dentro de la lógica de construcción industrializada en madera.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Desarrollar y validar el **rediseño de una escalera modular prefabricada**, ajustada a la normativa de la Vivienda Industrializada Tipo (VIT), que **permita su integración geométrica, estructural y productiva en el sistema de fabricación industrializada en madera de E2E**, asegurando su compatibilidad con la maquinaria automatizada, la selección adecuada de materiales y un flujo de fabricación definido.

1.5.2 Objetivos específicos

1. Verificar las capacidades, limitaciones y operaciones de la maquinaria automatizada de E2E, como lo es la **procesadora de vigas**; con el fin de determinar los requerimientos productivos y las restricciones técnicas que condicionan la integración de los componentes de escalera en el flujo de fabricación

2. Definir y seleccionar los materiales adecuados para el desarrollo del elemento escalera, evaluando sus diferentes calidades y dimensiones como alto, ancho y largo que maneja la planta, además de saber la cantidad de material utilizado para la producción.

3. Desarrollar un diseño de modulos que configuren el elemento escalera, validando su adaptabilidad a la estructura de la vivienda Ditec-E2E, así como su trazabilidad, ya sea secuencia de montaje y compatibilidad con el flujo de producción industrial existente.

1.6 Metodología de investigación y desarrollo

La metodología del presente proyecto se enmarca en un enfoque de Investigación + Desarrollo (I+D), orientado a la comprobación de la hipótesis sobre la posibilidad de integrar el elemento escalera modular al proceso de producción industrializada de viviendas en madera desarrollado por la empresa E2E Chile.
El trabajo se estructura en fases que permiten analizar, diseñar, validar y adaptar el nuevo modelo de escalera dentro del flujo productivo existente, garantizando su trazabilidad, eficiencia y coherencia con los estándares de la Vivienda Industrializada Tipo (VIT).

En esta etapa se revisará la normativa nacional aplicable a las viviendas industrializadas de emergencia, con el objetivo de establecer los **parámetros técnicos y dimensionales** que deben cumplir las escaleras para garantizar su seguridad y funcionalidad dentro del sistema constructivo.
A partir de esta revisión, se recopilarán los datos geométricos esenciales del modelo, tales como el tipo y forma de la escalera, así como sus dimensiones completas. Se analizarán sus medidas generales o datos de cabida, que incluyen:
- el ángulo de pendiente,
- la longitud total, ancho y altura
- la huella y contrahuella de cada peldaño y
- tipo y material de escalera utilizado

Luego se analizarán las capacidades y limitaciones de la procesadora de vigas en la planta E2E, con el fin de determinar los requerimientos productivos y las restricciones técnicas como los tipos de mecanizados posibles para definir las operaciones necesarias en relación con las operaciones que puede ejecutar una máquina CNC (control numérico computarizado). En contraste con esto, cuando la procesadora de vigas mecanice los componentes de la escalera, entrará en juego la fase de trabajo manual, con operarios encargados de organizar y fabricar los elementos volumetricos pertenecientes a cada módulo de la escalera.

Acompañado de esto, y a traves de un modelo 3d se deben definir la escuadria de los materiales a utilizar, además de asegurar su calidad para la fabricación, con la finalidad de llevar un registro sobre el material que ingresa, es mecanizado y luego se combierte en el elemento mismo.

Estos aspectos se estudiarán mediante planimetrías de detalle y visualización tridimensional, lo que permitirá determinar los niveles de precisión y ensamblaje requeridos en un sistema estructural de tipo industrial.

Con base en este análisis, se procederá al **rediseño modular del elemento, orientado a incluir su fabricación, transporte y montaje desde la planta** . El nuevo modelo buscará reducir tiempos y costos de producción mediante la división del elemento en submódulos prefabricados, potenciando su trazabilidad dentro del flujo productivo de E2E.

Finalmente, con el modelo de industrialización de la vivienda completamente definido, se realizarán análisis cuantitativos y gráficos que incluyan comparativas de forma, geometría y velocidad de producción, utilizando herramientas como maquetas de estudio y tablas de contenido técnico.

Estos análisis permitirán comparar el proceso actual con el nuevo modelo propuesto y demostrar que la información obtenida puede respaldar la viabilidad de industrializar la escalera modular dentro de la línea de producción de E2E.

1.7 Resultados esperados

Del desarrollo metodológico propuesto, se espera obtener resultados que validen técnica y constructivamente la integración de la escalera modular al proceso industrializado de viviendas en madera fabricadas por E2E Chile, tanto desde el punto de vista geométrico, estructural y productivo.

Los resultados se agrupan en dos ámbitos principales:

1.- Pre diseño de prototipo arquitectónico y constructivo validado.
2.-Integración productiva a la linea de fabricación automatizada.

Este prototipo del producto deberá contar con:

1.- Modelo digital y despiece de los submódulos integrados a la casa Ditec-E2E

2.- Planimetría técnica detallada de la escalera, identificando tipos de mecanizados y uniones

3.- Modelo físico a escala (maqueta), que permita visualizar la configuración constructiva, el sistema de uniones y el comportamiento geométrico del elemento dentro del conjunto arquitectónico.

El segundo resultado esperado corresponde a la incorporación del pre diseño en la lógica productiva de E2E, verificando su trazabilidad y compatibilidad con las estaciones de trabajo y maquinaria existente.

Los principales aspectos a validar son:

1.- Análisis de procesos requeridos para fabricar los componentes y flujo de trabajo para configurar módulos de escalera.

2.- Determinación de la cantidad y tipo de material necesario para fabricar una escalera modular compatible con la vivienda industrializada tipo.

2. MARCO TEÓRICO Y REFERENCIAL

2.1. Partes de una Escalera y Tipos

Al diseñar una escalera bajo criterios técnicos, especialmente en un sistema modular o industrializado, se deben considerar las siguientes especificaciones y componentes estructurales y dimensionales:

2.1.1. Especificaciones técnicas fundamentales

1.- Altura total:
Distancia vertical desde el piso inferior al piso superior terminado. Define la cantidad de peldaños necesarios.

2.- Altura de paso:
Espacio libre vertical entre el borde de un peldaño y techo o cualquier obstáculo superior.

3.- Apertura del piso superior:
Abertura estructural en el entrepiso que permite el paso de la escalera. Su geometría influye en la configuración (recta, en L, en U, etc.).

4.- Cantidad de peldaños:
Se calcula dividiendo la altura total entre la altura de la constrahuella estándar o proyectada.

5.- Huella:
Parte horizontal del peldaño donde se apoya el pié. Dimensión recomendada: 25 a 30 cm, dependiendo del uso.

6.- Contrahuella:
Parte vertical del peldaño. Dimensión recomendada: 17-19 cm. Afecta directamente la pendiente de la escalera

7.- Longitud de zanca (o desarrollo):
Longitud inclinada de la escalera desde el primer al ultimo peldaño. Se calcula con el Teorema de Pitágoras entre la proyección horizontal y altura total.

8.- Profundidad Total o recorrido horizontal:
Distancia horizontal que ocupa la escalera sobre el plano de planta

9.- Ángulo de inclinación:

Normalmente entre 30° a 37°. Afecta la comodidad y seguridad del ascenso.

10.- Relación Huella- Contrahuella (fórmula de Blondel):

2 Contrahuellas+1 huella=63±3 cm

Permite mantener una pisada ergonómica.

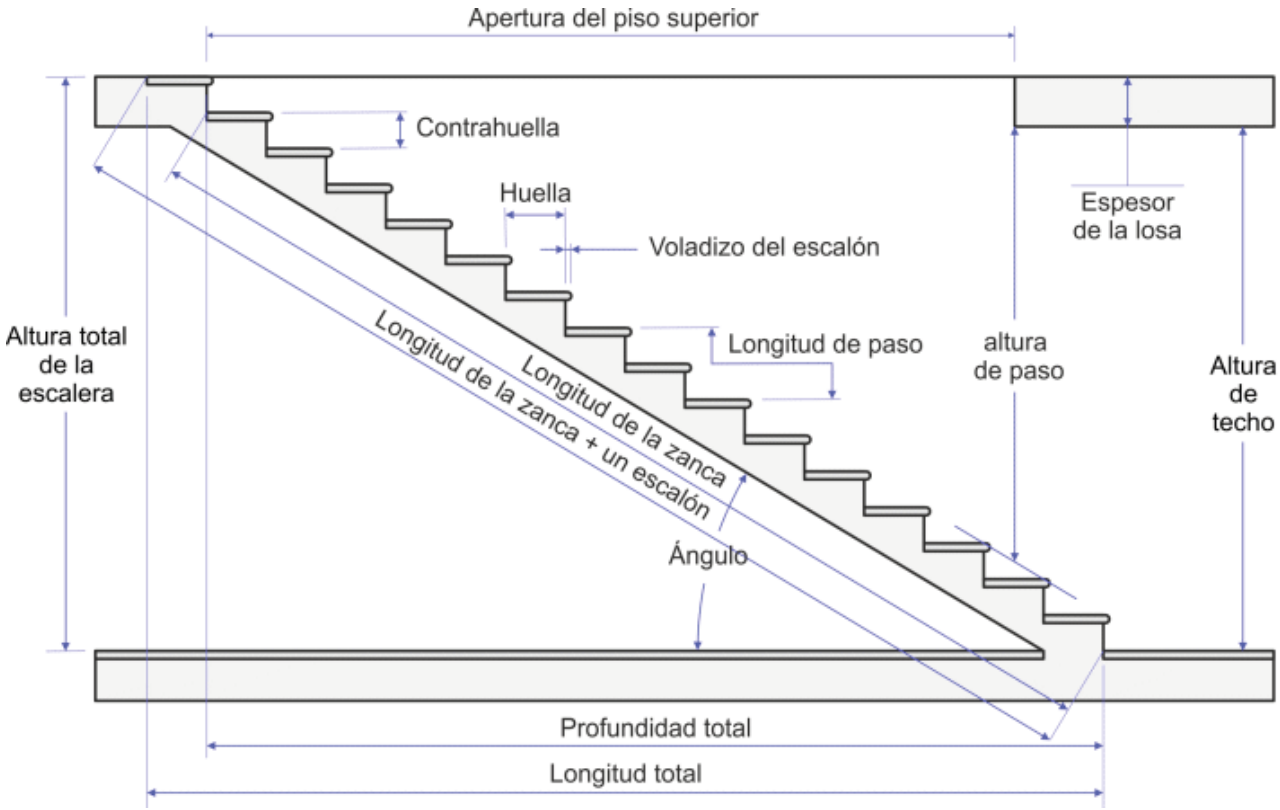


Diagrama de una escalera

Fuente: Calculartodo. (s. f.). Diseñar y calcular las dimensiones de una escalera.

2.1.2. Componentes estructurales de la escalera

1.- Zanca o Limón:
Elemento estructural inclinado que sostiene los peldaños. Puede ser lateral,central o doble. Puede ir embutida o a la vista.

2.- Peldaño:
Conjunto de huella y contrahuella. Es la unidad básica de la escalera.

3.- Descanso o meseta:
Plataforma horizontal intermedia, útil en escaleras largas o con cambio de dirección.

4.- Arranque:
Primer peldaño o base de la escalera. Puede tener un diseño especial (en abanico, redondo, sobredimensionado).

5.- Coronamiento:
Último peldaño que conecta con el nivel superior.

6.- Baranda:
Sistema de protección lateral que incluye pasamanos y barrotes. Es un elemento de seguridad necesario.

7.- Pasamanos:
Parte superior de la baranda, diseñada para ser agarrada con la mano. Altura recomendada entre 90-95 cm desde la huella.

8.- Barrotes o balaustros:
Elementos verticales que soportan el pasamanos.

9.- Faldón:
Cierre lateral estético entre la escalera y el muro o entre la escalera y el suelo.

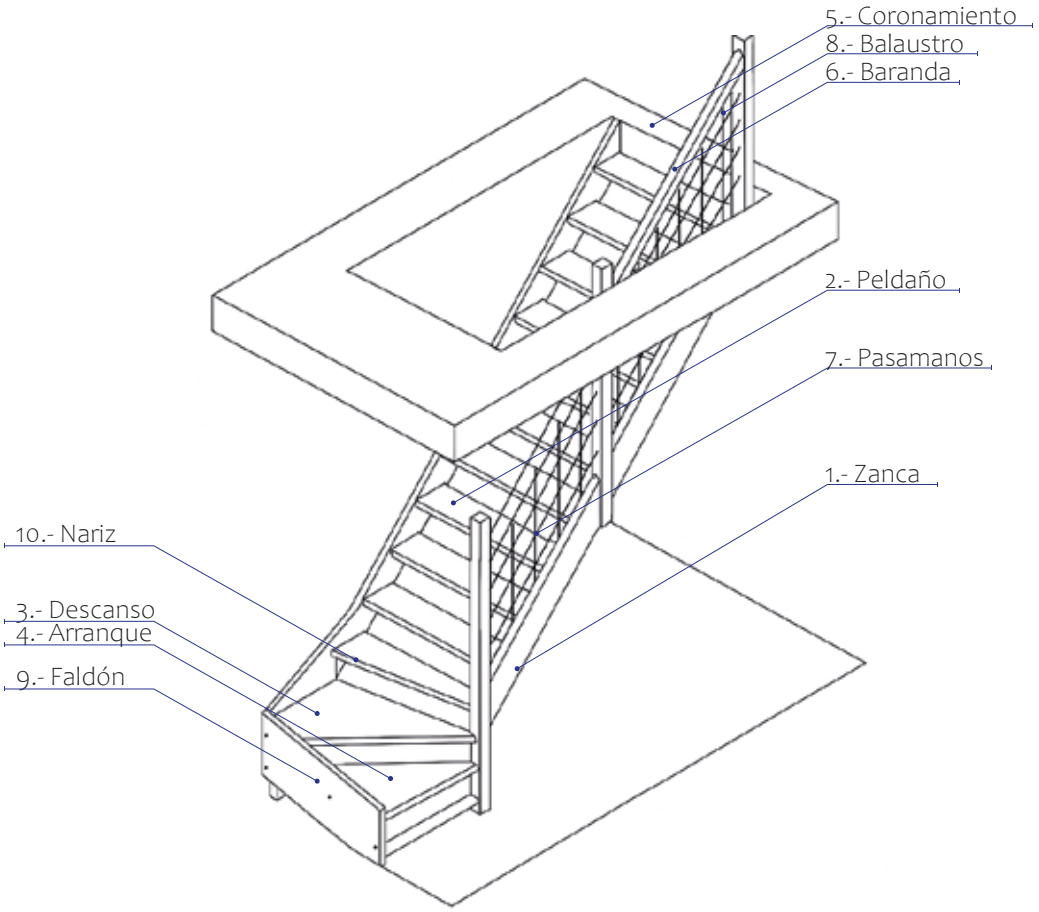
10.- Nariz o Voladizo del peldaño:
Proyección de la huella sobre la contrahuella inferior. Aporta seguridad y continuidad visual.

11.- Fijaciones Estructurales:

Incluyen pernos, tornillos, placas metálicas, anclajes o sistemas de ensamble tipo espiga o cola de milano.

12.- Apoyo inferior y superior:

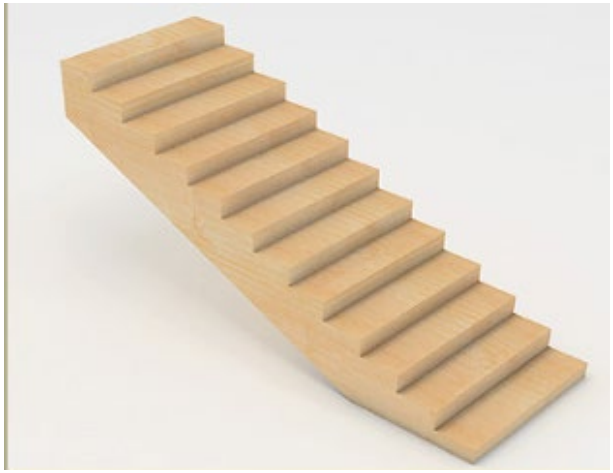
Son las zonas donde se transfiere la carga de la escalera hacia la estructura (viga, losa, tabique,etc.).



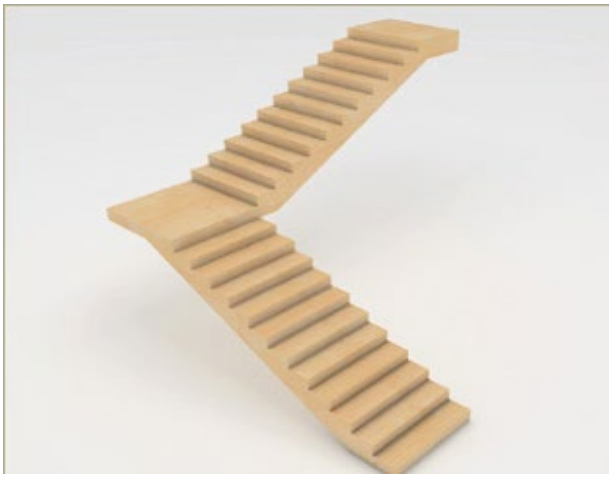
Componentes estructurales de una escalera

Fuente: Elaboración propia

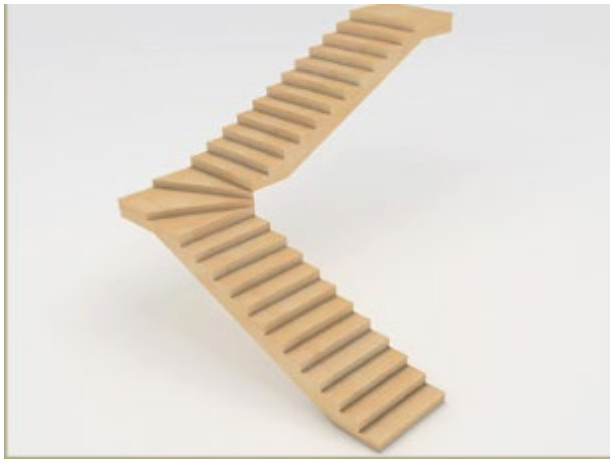
2.1.3. Tipologías



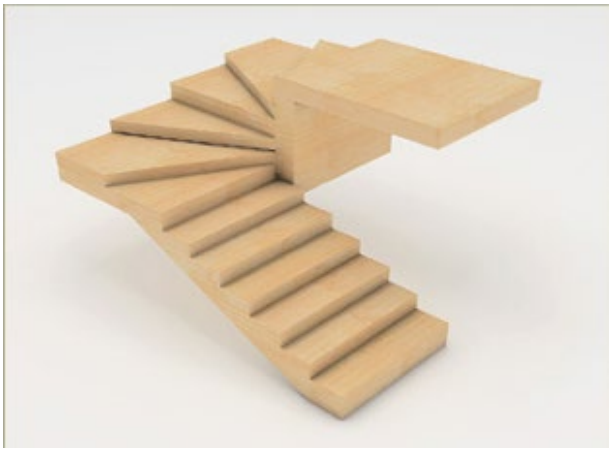
Tramo recto
Mas fácil de construir, pero requiere mas superficie



Dos tramos con descanso
Mas eficiente en el espacio que la del tramo recto



Dos tramos rectos
Requiere menos superficie, pero es mas compleja

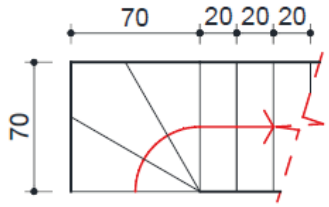
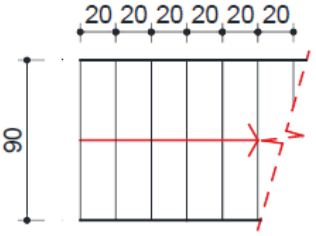
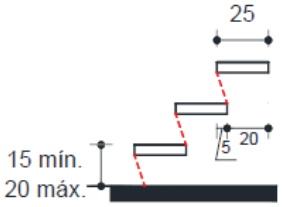


Un tramo con peldaños compensados de media vuelta

2.2. Normativa chilena

En este caso, la normativa que establece los estándares arquitectónicos mínimos para diseño de los proyectos como lo son la vivienda Ditec-E2E es el cuadro normativo y tabla de espacios y usos mínimos para el mobiliario, para proyectos del Fondo Solidario de Elección de Vivienda regulado por el D.S. N° 49, (V. y U.), 2011. Este cuadro normativo divide los espacios por recintos y usos mínimos para vivienda y edificios. En el caso de estudio este nos dice:

1.8. ESCALERAS

REQUISITOS		
• las dimensiones son libres útiles del peldaño de las escaleras no incorpora guardapolvos, limones, pasamanos o cualquier otro elemento.		
DIMENSIONES MÍNIMAS		
Planta escalera interior	**Planta escalera exterior**	**Corte tipo para ambas escaleras**
		
Escalera interior • Se podrán incluir hasta 2 abanicos, compuestos por un máximo de 3 peldaños cada uno. Cada peldaño del abanico deberá tener un ancho mínimo de 20 cm, medido en el punto medio del peldaño. • Bajo la escalera de la vivienda sólo se podrá ubicar mobiliario de closet o despensa. **Escalera exterior** • Aplicable a proyectos acogidos a la Ley Nº 19.537, (V. y U.), de 1997, sobre copropiedad inmobiliaria, que consideren vías de acceso a viviendas mediante escaleras que hayan sido cedidas en uso y goce exclusivo a la vivienda que sirve. • Las escaleras comunes y vías de evacuación deberán cumplir con lo indicado en Art. 4.2.10 a 4.2.16 de la OGUC.		

Cuadro normativo y tabla de espacios y usos mínimos para el mobiliario
Fuente: Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2017).

2.3. Especificaciones Técnicas
Proyecto Vivienda Industrializada Minvu-E2E

4.9 ESCALERA

La escalera se ejecutará de acuerdo con proyecto de arquitectura y cálculo estructural. Se podrán proponer soluciones distintas a las detalladas en el presente proyecto, las que deberán ser aprobadas por SERVIU, sin perjuicio de lo anterior, en cualquiera de los casos se deberá respetar las dimensiones mínimas de huella, contrahuella y ancho, definidas en el Cuadro Normativo RES EX N°7712 del D.S. N°49/2011 aplicable al proyecto.

Para todas las piezas que componen la escalera, incluyendo baranda y pasamanos, se utiliza madera de pino radiata impregnada IPV, seco en cámara y contrachapado según planos de arquitectura y estructura.

Los peldaños se fijan sobre limones de madera de 2x10" o equivalente comercial y piezas de madera en forma de trapezoide de 2x3" o equivalente comercial. El abanico se fija mediante pletinas metálicas de anclaje al piso, según proyecto de estructura.

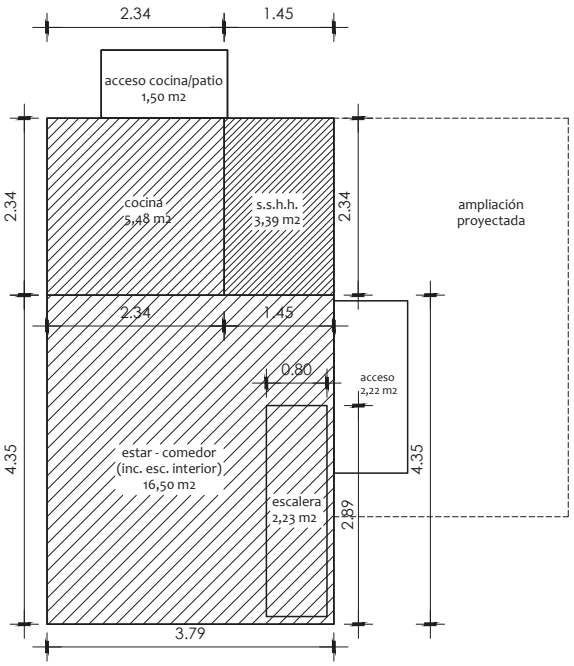
Se consulta pasamanos de pino radiata IPV de 2x4" o equivalente comercial, con bordes redondeados, y fijación directa a muro M070P24 perimetral. La baranda estará conformada por listones de 2x2" de pino IPV, fijada lateralmente al limón de la escalera y al refuerzo del envigado de piso del segundo nivel, de acuerdo con proyectos de arquitectura y cálculo.

Especificaciones técnicas

Fuente: E2E. (2019). Documentación técnica de vivienda de emergencia DITEC [Carpeta de Google Drive].

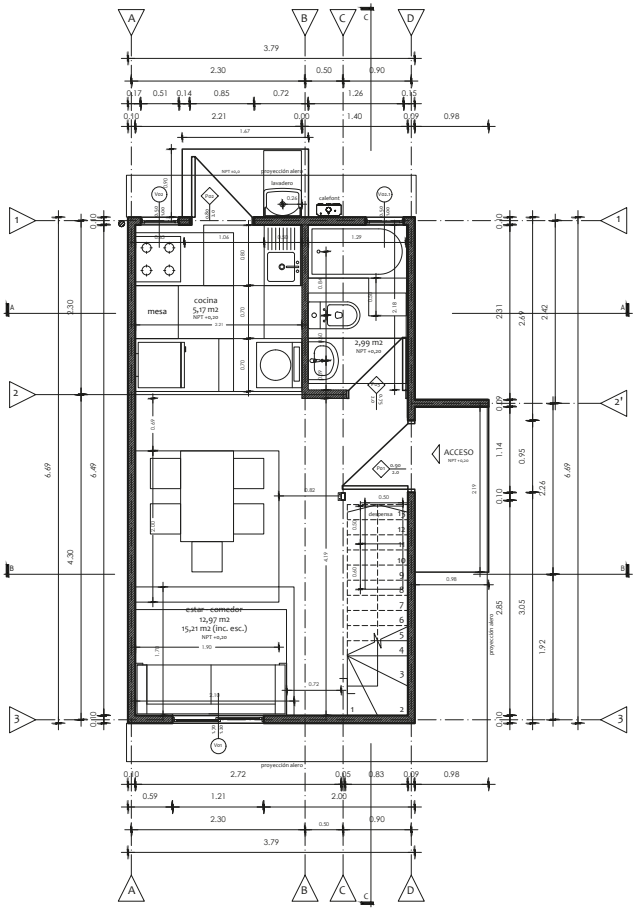
2.4. Planimetria escalera Vivienda Ditec

Planimetria Casa Ditec-E2E



SUPERFICIE CONSTRUIDA PRIMER NIVEL / VIVIENDA BASE

ESCALA 1/100

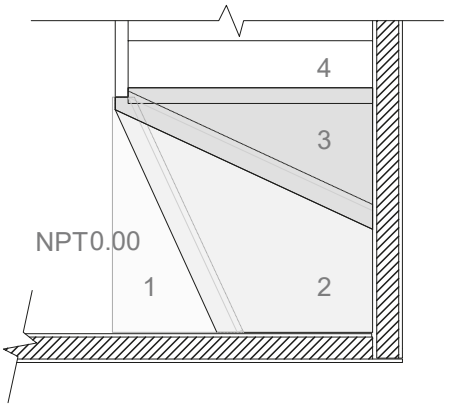


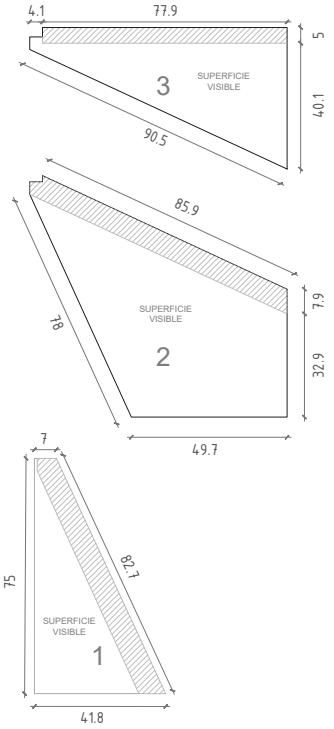
PLANTA PRIMER NIVEL / VIVIENDA BASE

ESCALA 1/50

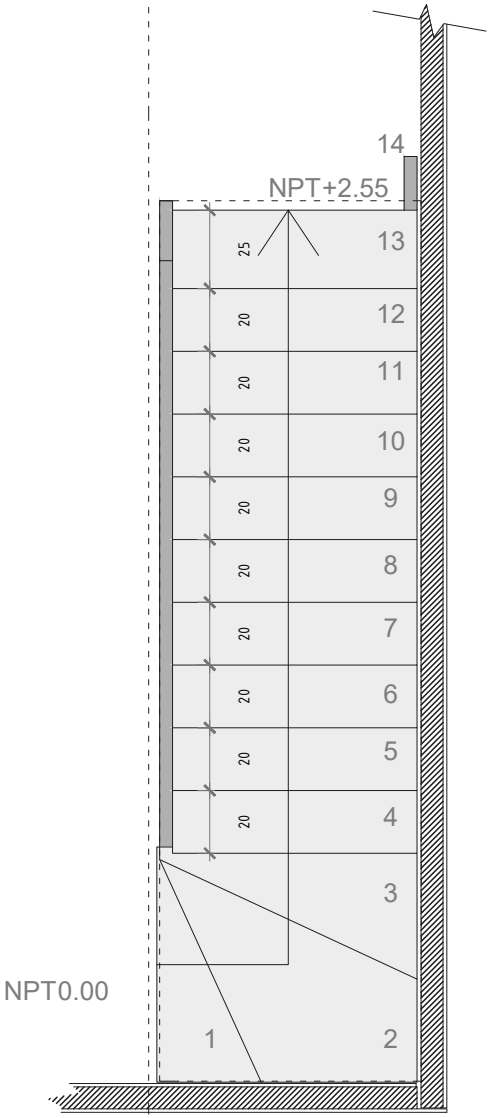
Planimetria Vivienda DITEC-E2E

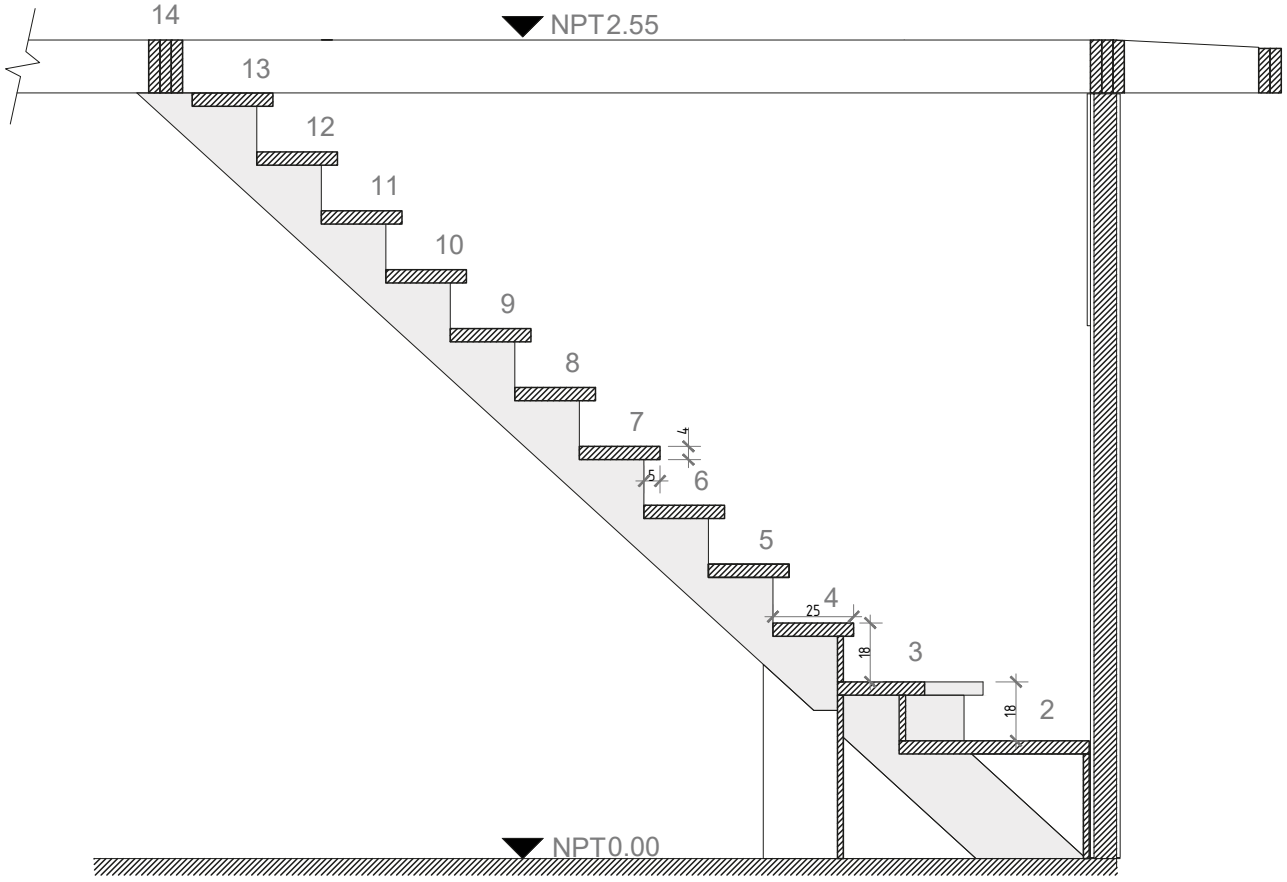
Fuente:E2E. (2019). Documentación técnica de vivienda de emergencia DITEC [Carpeta de Google Drive].


4
3
NPT0.00
1
2

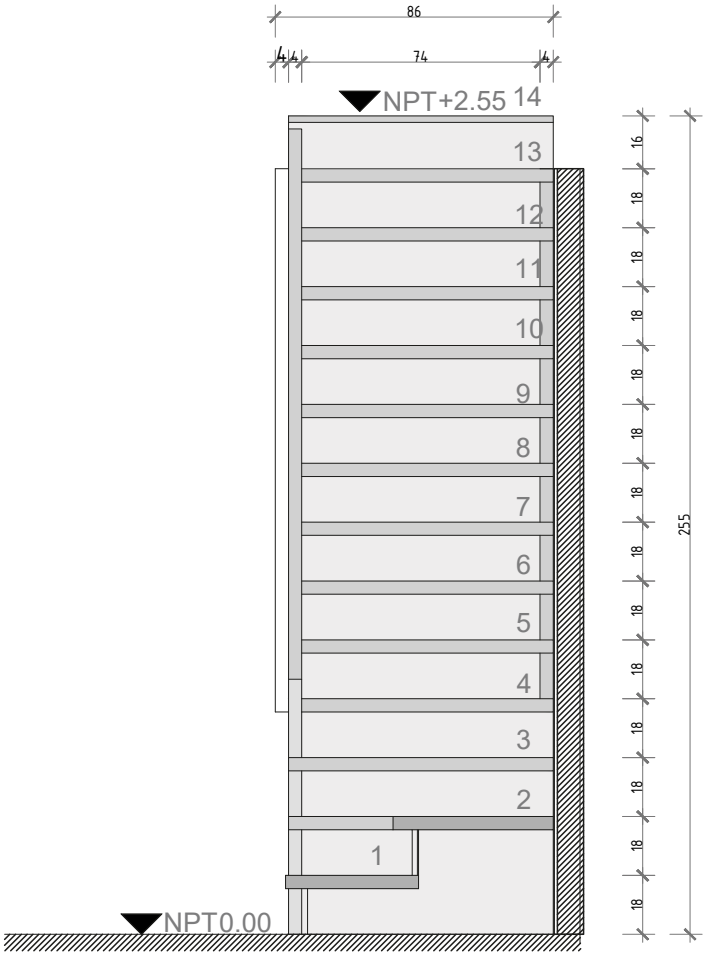

4.1
77.9
5
3
SUPERFICIE VISIBLE
40.1
90.5
85.9
SUPERFICIE VISIBLE
78
7.9
2
32.9
49.7
7
82.7
75
SUPERFICIE VISIBLE
1
41.8

Planta


14
NPT+2.55
25
13
20
12
20
11
20
10
20
9
20
8
20
7
20
6
20
5
20
4
3
NPT0.00
1
2



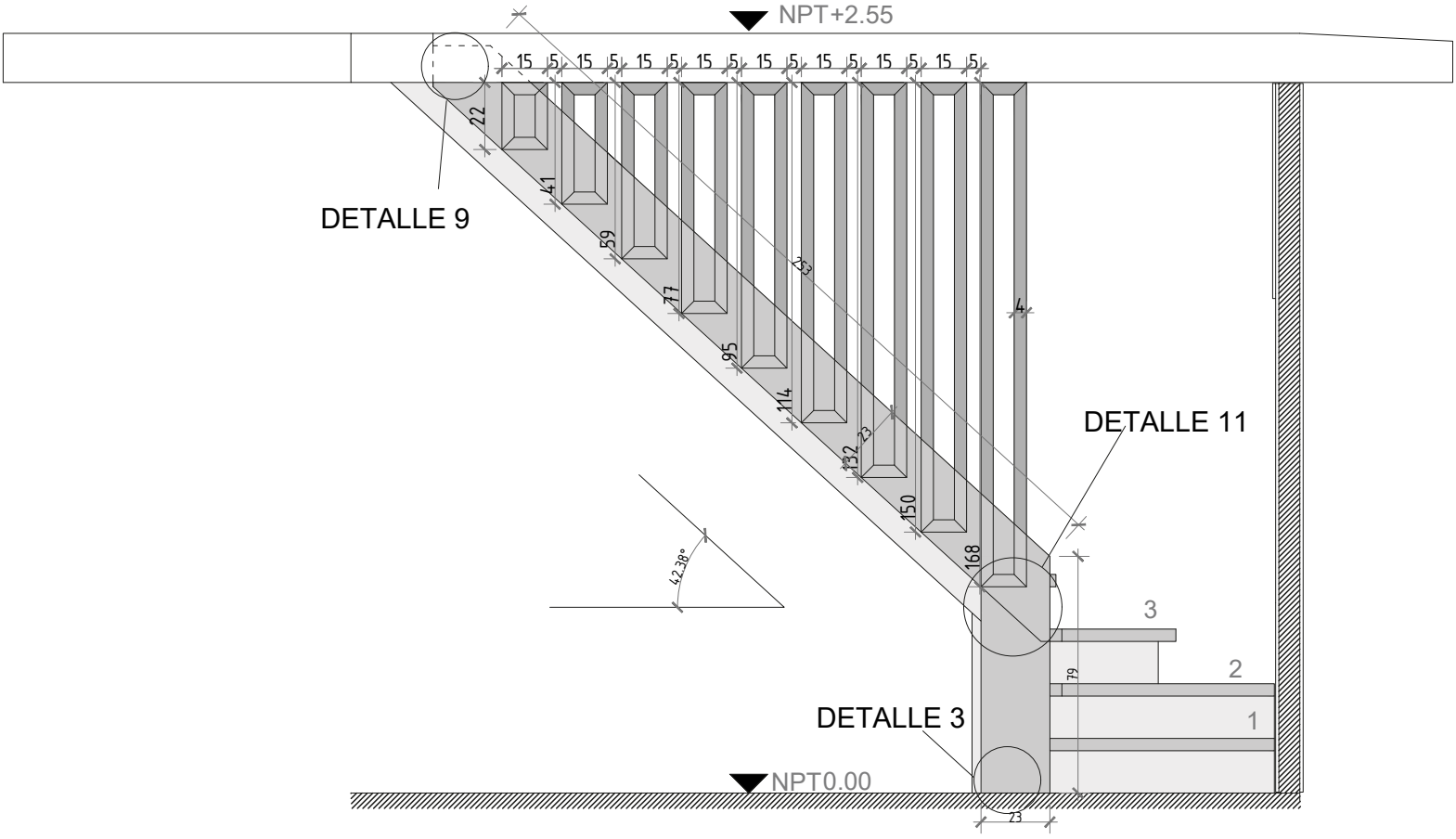
Corte Longitudinal

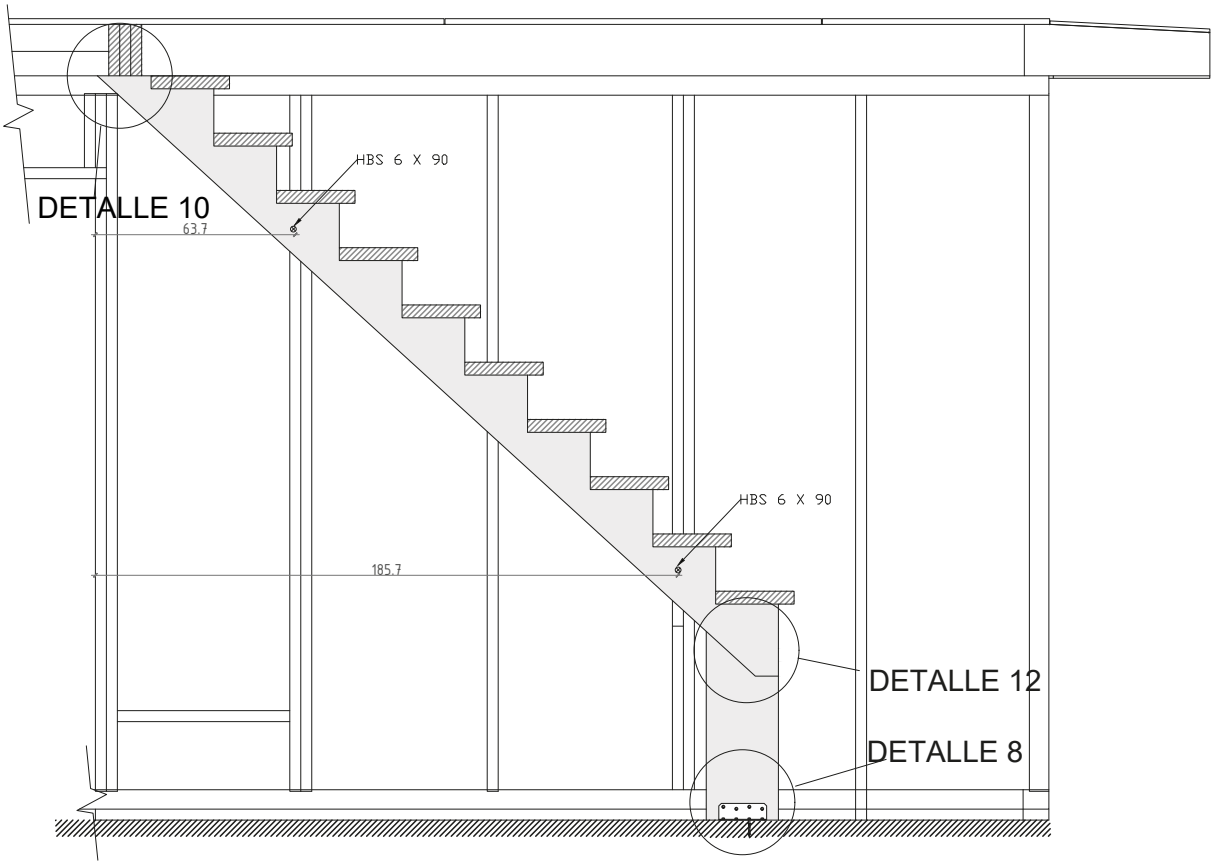


Corte Transversal

Planimetria Vivienda DITEC-E2E

Fuente: E2E. (2019). Documentación técnica de vivienda de emergencia DITEC [Carpeta de Google Drive].


NPT+2.55
15 5 15 5 15 5 15 5 15 5 15 5 15 5 15 5
22
41
59
77
95
114
132
150
168
4
DETALLE 9
DETALLE 11
DETALLE 3
42.38°
3
2
1
79
NPT0.00
23

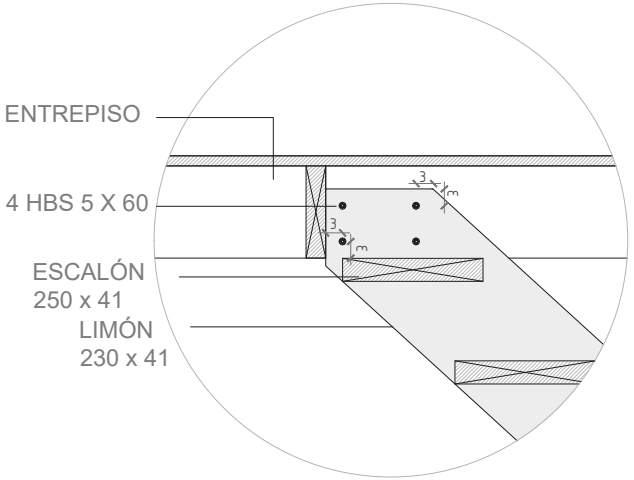


Planimetria Vivienda DITEC-E2E

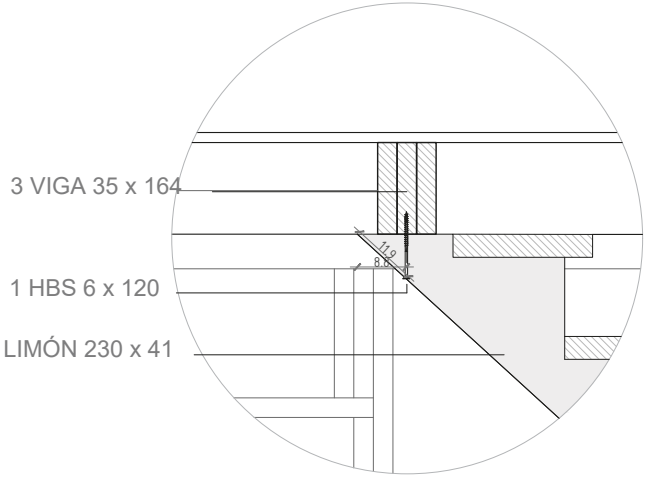
Fuente:E2E. (2019). Documentación técnica de vivienda de emergencia DITEC [Carpeta de Google Drive].

Unión Superior

Detalle 9

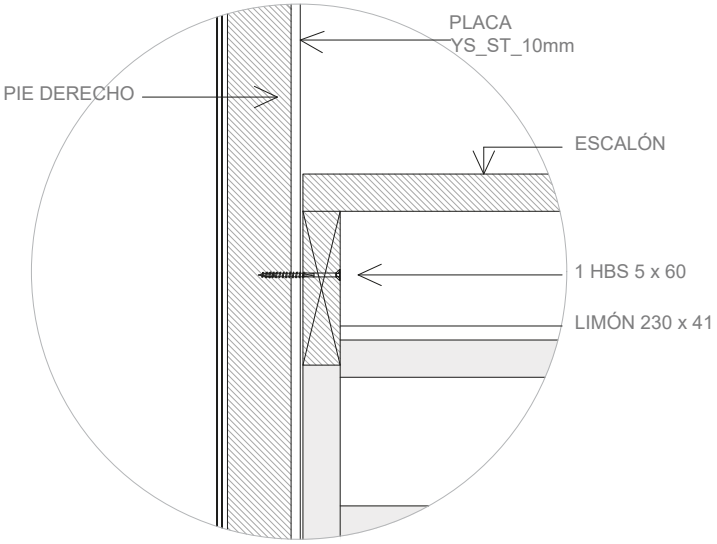


Detalle 10

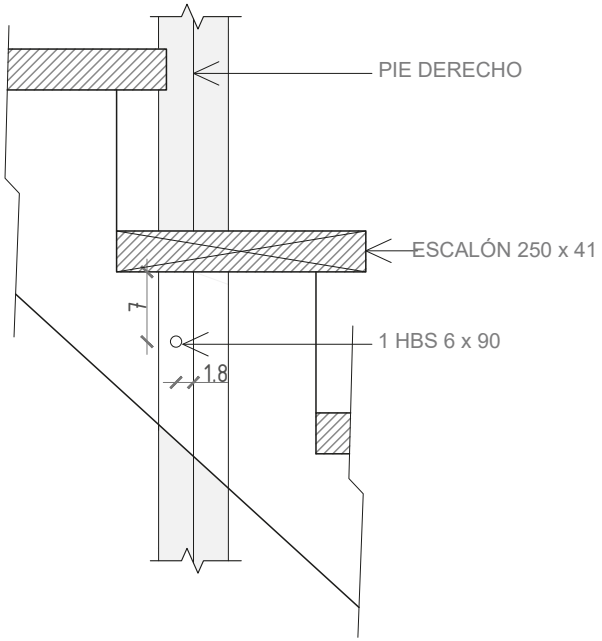


Unión Limón - Muro

Detalle 4

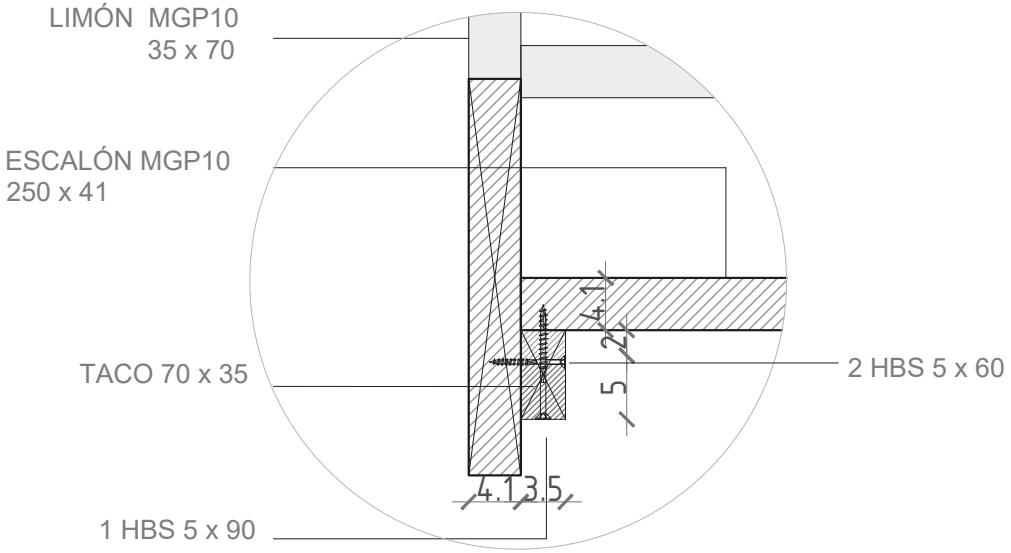


Detalle 5

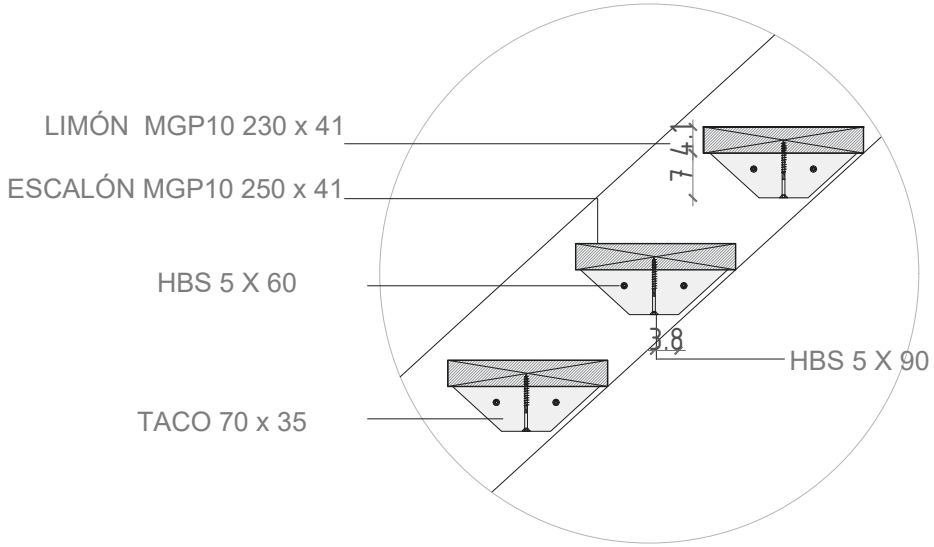


Unión Limón - Muro

Detalle 6

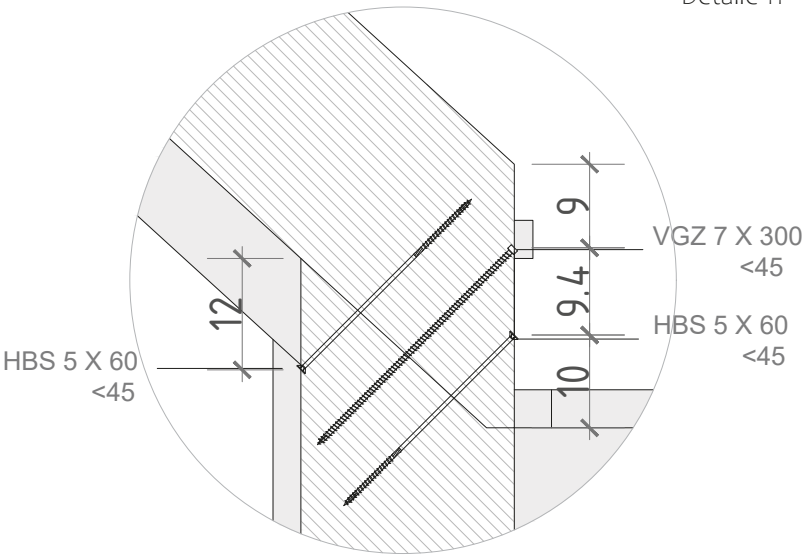


Detalle 7

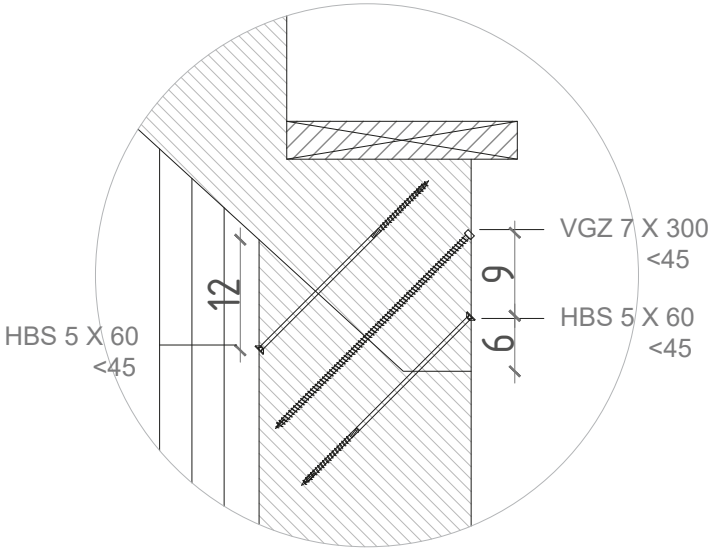


Unión Inferior

Detalle 11

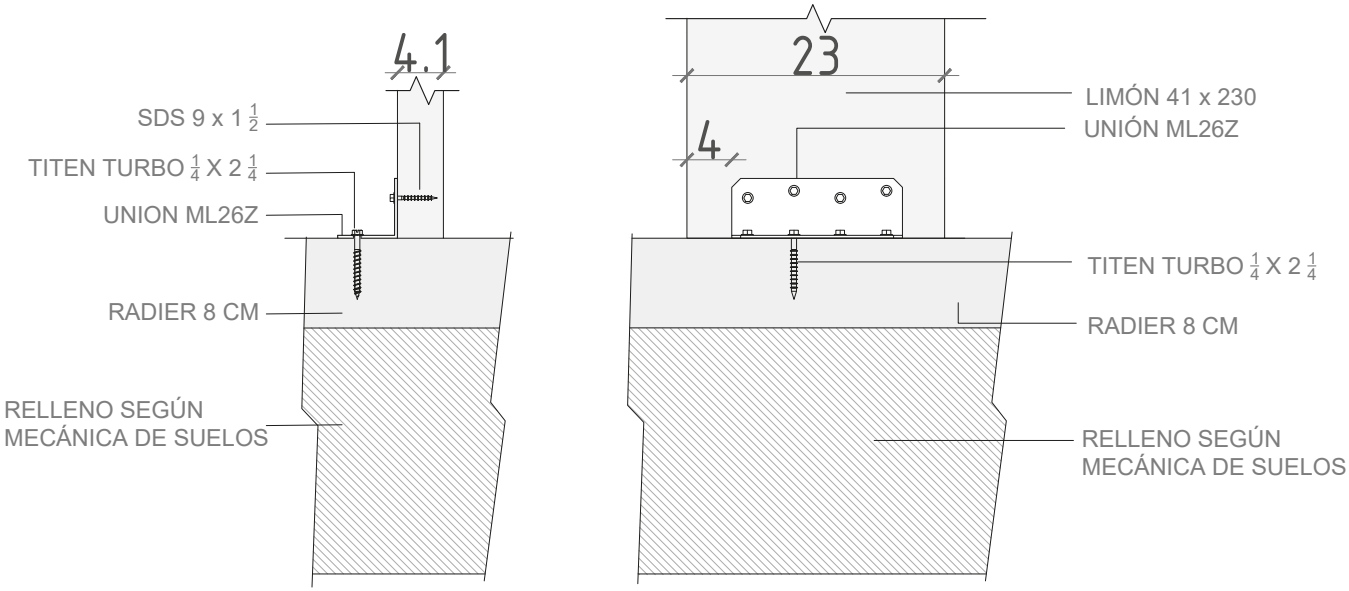


Detalle 12



Unión Radier

Detalle 3



2.5. Tipologías construidas

Según los antecedentes técnicos compartidos por E2E la escalera ha pasado por modificaciónes materiales.

Tipo 1: Este tipo de escalera está completamente hecha de madera.



Escalera tipo Vivienda Industrializada DS49

Fuente: E2E Chile. (s.f).Vivienda industrializada DS49.

Según los antecedentes técnicos compartidos por E2E la escalera ha pasado por modifica ciónes materiales que apuntan a la eficiencia de los recursos.

Tipo 2: Presenta una solución mixta, donde su estructura principal se compone de un elemento prefabricado de acero, con peldaños y pasamanos de madera.



Escalera tipo 2 vivienda DITEC/E2E

Fuente: E2E Chile. (s.f). Vivienda ditec.

Tipo 3: Escalera tipo, utilizada en el proyecto de vivienda Altacima, de fabricación mixta.
Esta presenta una estructura de madera de diferentes escuadrias, ademas de tableros de terciado estructural y finalmente se muestra cubierta por fibrocemento



Materialidad escalera tipo Condominio Alta Cima

Fuente: E2E Chile. (s. f.).Condominio Alta Cima.



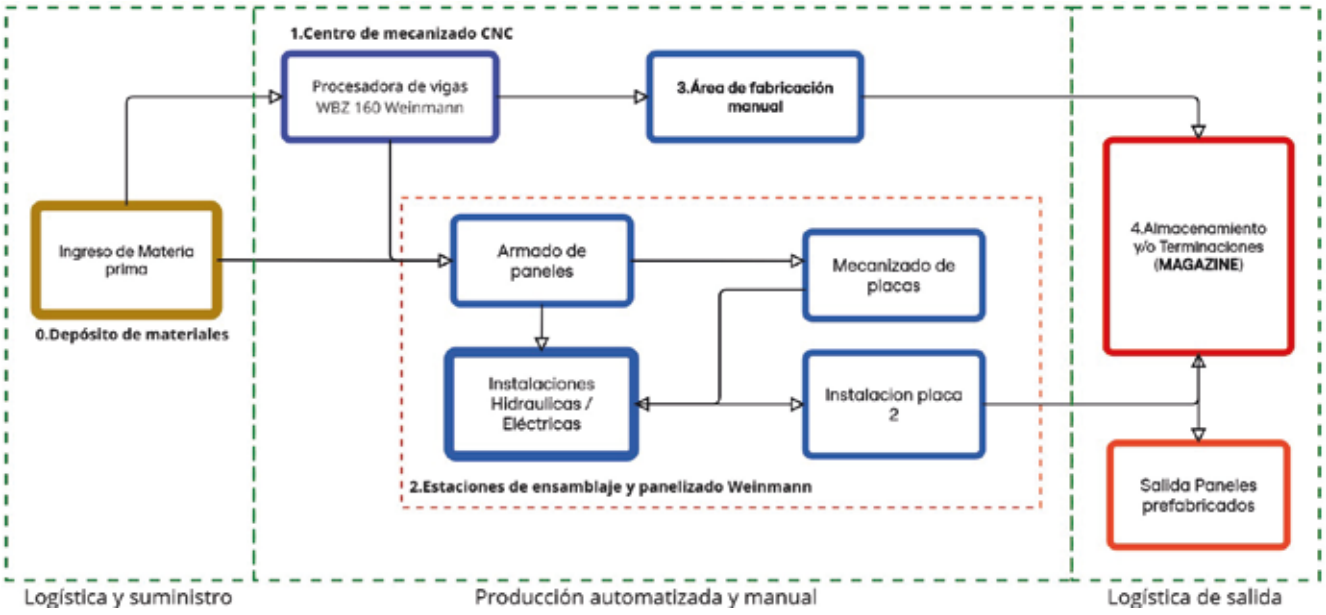
Imagen obejtivo Condominio Alta Cima

Fuente: E2E Chile. (s. f.).Condominio Alta Cima.

2.6 Empresa E2E y su proceso de industrialización

La planta industrial de E2E opera bajo el sistema de una línea productiva que se estructura de manera secuencial y controlada, combinando mecanizado CNC, estaciones de ensamblaje automatizado y áreas de trabajo manual especializadas. Este flujo continuo permite fabricar **paneles estructurales en madera** con precisión milimétrica, integrando todas sus capas funcionales, como estructura, aislación, fijaciones y barreras, directamente en planta antes del envío a obra.

El proceso productivo se organiza en cinco etapas centrales, desde el suministro de materias primas hasta el acopio y despacho de paneles terminados.



Layout E2E
Fuente: Elaboración propia

2.6.2 Estaciones de trabajo y maquinaria

1. Depósito de materiales: Zona donde se recepciona y acopia la materia prima
    - Madera estructural y bilaminados
    - Placas de fibrocemento u OSB
    - Aislantes térmicos
    - Barreras y membranas de control ambiental

2. Centro de mecanizado CNC – WBZ 160 Weinmann

Es donde se realizan operaciones de **corte, fresado y perforado** automatico de los componentes estructurales. Cada componente sale **etiquetado** y listo para su ensamble, permitiendo un control preciso en las uniones y dimensiones.



1
Ingreso de materia prima

2
Mecanizado Piezas

3
Pieza Terminada

3. Estaciones de ensamblaje y panelizado Weinmann

El sistema de producción automatizada se compone de cuatro estaciones:

Estación	Función principal	Resultado
1. Estación de ensamblaje	Unión de piezas estructurales	Estructura base del panel
2. Instalación de placas iniciales	Cierre exterior o interior según tipo de panel	Panel estructural primario
3. Colocación de aislante + placas adicionales	Integración térmica y rigidez	Panel con prestaciones habitacionales
4. Instalación de barreras+ revestimiento tipo	Protección ambiental y continuidad del sistema	Panel listo para montaje en obra

Tabla n° 1
Elaboración propia



Proceso panelizado
Fuente: E2E. (s. f.). Creando una nueva forma de habitar.

4. Estación paralela: área de fabricación manual

Mientras la linea automatizada produce paneles estandar, un equipo especializado se encarga de elementos mas complejos como:

- Cerchas
- Detalles no repetitivos

5. Magazín de almacenamiento de paneles terminados

Una vez completado el panel:

- Se clasifica,
- se protege para transporte
- y se acopia en paquetes según el orden de montaje en obra



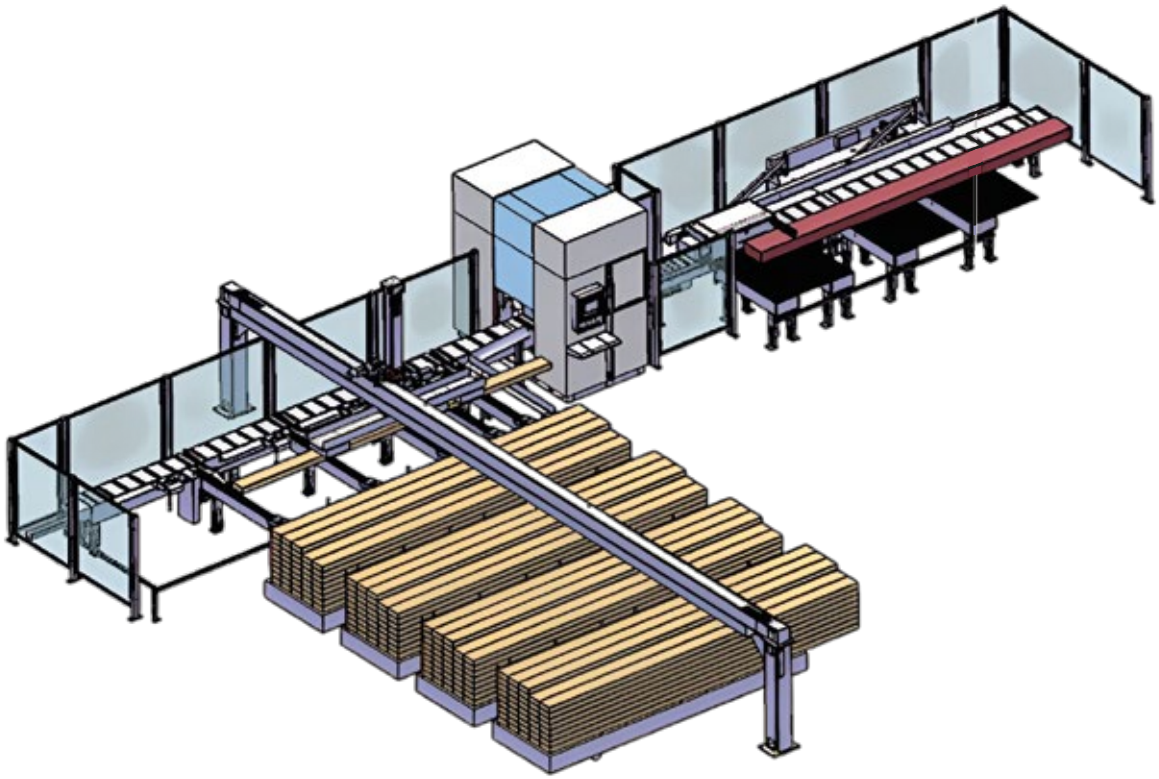
Paquete de paneles
Fuente: E2E. (s. f.). Viviendas industrializadas.

3. DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 Factibilidad técnica y económica

3.1.1.Flujo de material a través de la maquina WEINMANN WBZ 160

Centro de mecanizado controlado por CNC especializado en procesar vigas y componentes estructurales de madera con alta precisión y automatización.



WEINMANN WBZ

Fuente: WEINMANN. (s. f.). WBS / WBZ: Centros de mecanizado para la construcción en madera [Folleto técnico / catálogo de maquinaria].

Diámetro de la hoja de sierra **555 mm**	Ángulo de rotación 0 - 360 ° Ángulo de giro 0 - 90 °	Precisión de posicionamiento + / - 0,01 mm	Sección transversal mín. **20 x 50 mm**	Sección transversal máx. **200 x 455 mm**	Longitud mínima de la madera en bruto **700 - 1400 mm**	Profundidad de mecanizado fresado/taladrado: hasta **200 mm**

1.- **Entrada del material**

- El operario coloca la viga en la mesa de carga
- Rodillos y brazos de posicionamiento alinean la pieza
- Sensores miden la longitud y posición inicial.

⟶ **La viga va al sistema de carga**

2.- **Posicionamiento automático**

- La maquina fija la pieza medinate prensas laterales
- La CNC registra el cero pieza (0,0,0).

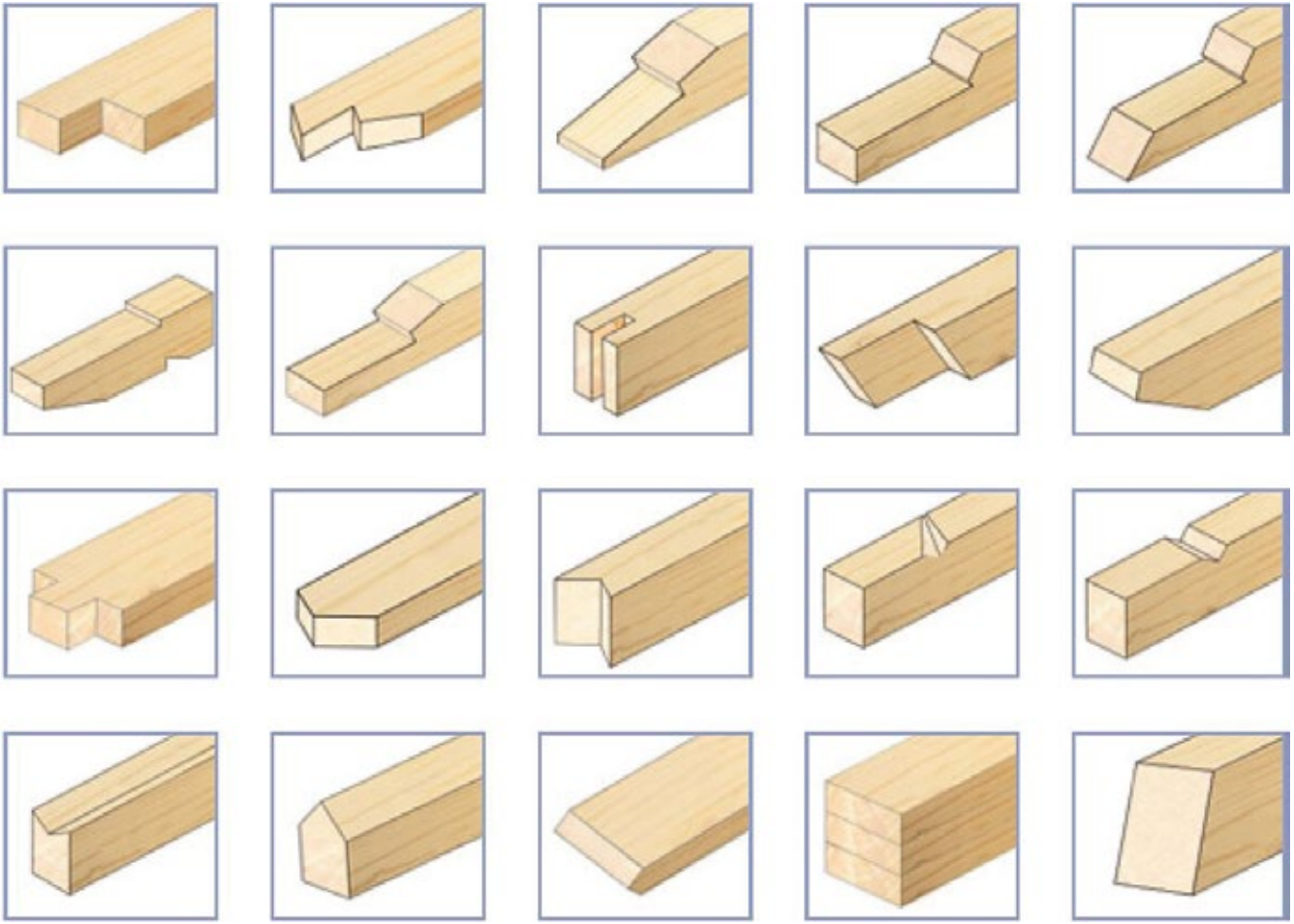
⟶ **Sistema de carga, se fija y se mide viga**

3.- **Proceso de mecanizado**

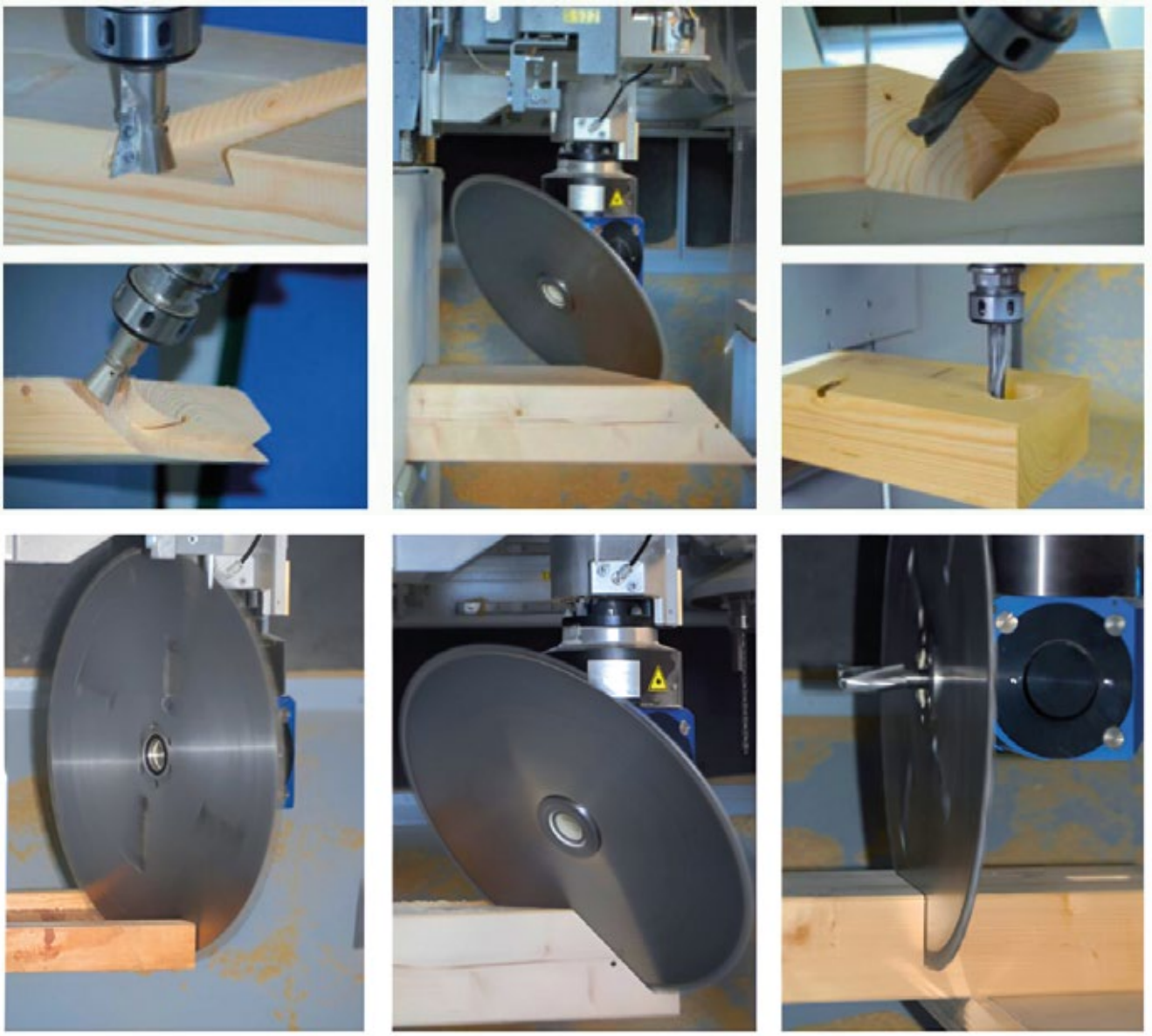
El puente móvil (eje x) se desplaza a lo largo de la pieza mientras:

- Cabezal principal es capaz de realizar

  - Cortes
  - Perforaciones
  - Fresados
  - Rebajes
  - Rannuras
  - Marcaje



Operaciones/ Mecanizados tipo
fuente: WEINMANN. (s. f.). WBS / WBZ: Centros de mecanizado para la construcción en madera [Folleto técnico / catálogo de maquinaria].



Operaciones/ Tipos de herraminetas y ejes
fuente: WEINMANN. (s. f.). WBS / WBZ: Centros de mecanizado para la construcción en madera [Folleto técnico / catálogo de maquinaria].

4.- **Operaciones de testa**

- El puente posiciona herramientas requeridas en los extremos
- Se pueden realizar cortes de caja espiga y barrenos axiales

5.- **Salida del material**

- La pieza ya mecanizada es liberada
- Rodillos de descarga desplazan la viga hacia afuera
- Puede enviarse a:
    linea de armado
    Zona de etiquetado
    Acopio de componentes

⟶ **Descarga automatica: pieza lista**

Una vez etiquedo cada componente con sus respectivas operaciones de mecanizado, el proceso pasa a la estación manual, donde trabajadores serán capaces de ensamblar y fijar cada componente tranformandolos en unidades volumétricas (Módulos).

6.- **Estación manual**

El operario comienza el armado del primer módulo, donde recibe operaciones de ensamblado y fijado, mediante uniones carpinteras y tornillos, segun planos de ensamblaje.

3.1.2. Tipo de madera

Las consideraciones para elegir el material dependen de factores como lo son la calidad y las dimensiones o escuadrias requeridas para cada componente de la escalera como lo son: zanca o limón, peldaños, baranda y piezas estructurales complementarias.

La norma chilena NCh1207 clasifica visualmente la madera de pino radiata para uso estructural en tres grados de calidad (GS, G1, G2) basados en características como el tamaño y ubicación de los nudos, la presencia de médula y otros defectos.

Grado Estructural Selecto (GS): Piezas de alta capacidad resistente
Grado 1 (G1): Madera apta para tipologías constructivas estandar
Grado 2 (G2): Piezas con capacidad resistente moderada, usualmente utilizadas en entramados de muros estructurales.
Siguiendo modelos anteriores, se selecciona principalmente la madera de grado G2, apropiada para fabricar los distintos componentes de la escalera y respetando sus escuadrías respectivas.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Denominación	Escuadrías			Tolerancias			Paquete	Peso pieza
	espesor mm	ancho mm	largo m	espesor mm	ancho mm	largo mm	unidades	kg
2x6	41	138	4,0	0/+2	0/+2	0/+10	84	13,93
2x6	41	138	4,88	0/+2	0/+2	0/+10	84	16,73
2x8	41	185	4,0	0/+2	0/+2	0/+10	60	18,58
2x8	41	185	4,88	0/+2	0/+2	0/+10	60	22,30

PROPIEDADES MECÁNICAS ADMISIBLES Y MÓDULO DE ELASTICIDAD (NCh 1198)

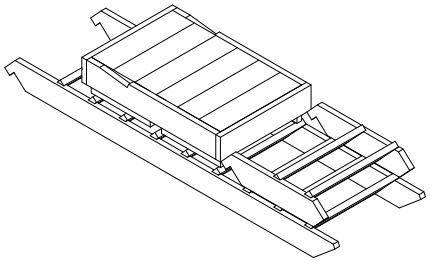
Grado	Denominación	Escuadrías		F_f	F_{tp}	F_{cp}	F_{cn}	F_v	E_{prom}	E_k
		espesor mm	ancho mm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
G2	2x6	41	138	4,77	3,76	7,0	2,5	1,1	8.068	4.746
G2	2x8	41	185	4,50	3,61	7,0	2,5	1,1	8.620	5.336

Ficha-Técnica-Arauco-Premium-MSD
Fuente: Arauco. (2024). Ficha técnica Arauco Premium MSD.

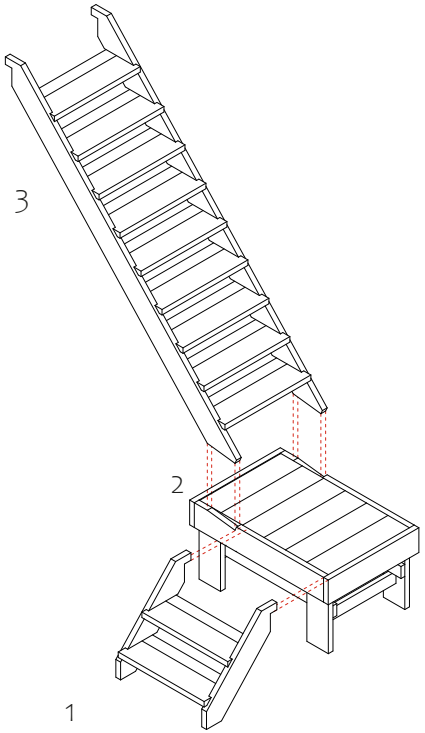
3.2. Diseño modular

3.2.1. Configuración final de los tres módulos

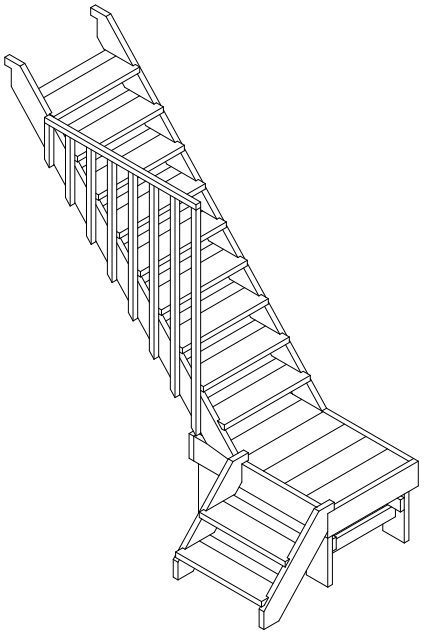
Se presenta el sistema de escalera modular concebido como un kit productivo, descompuesto en tres módulos planos, apilables y transportables, en coherencia directa con la lógica de paneles bidimensionales del sistema productivo de E2E.
Los encuentros entre módulos constituyen puntos críticos de transferencia de cargas y control de tolerancias, mientras que el módulo de descanso opera como nodo estructural, articulando el sistema más allá de su condición de pausa espacial.
Si bien la escalera se configura como un elemento tridimensional en su estado final, su ADN constructivo y productivo permanece planar, permitiendo su fabricación e integración dentro de la línea industrial existente.



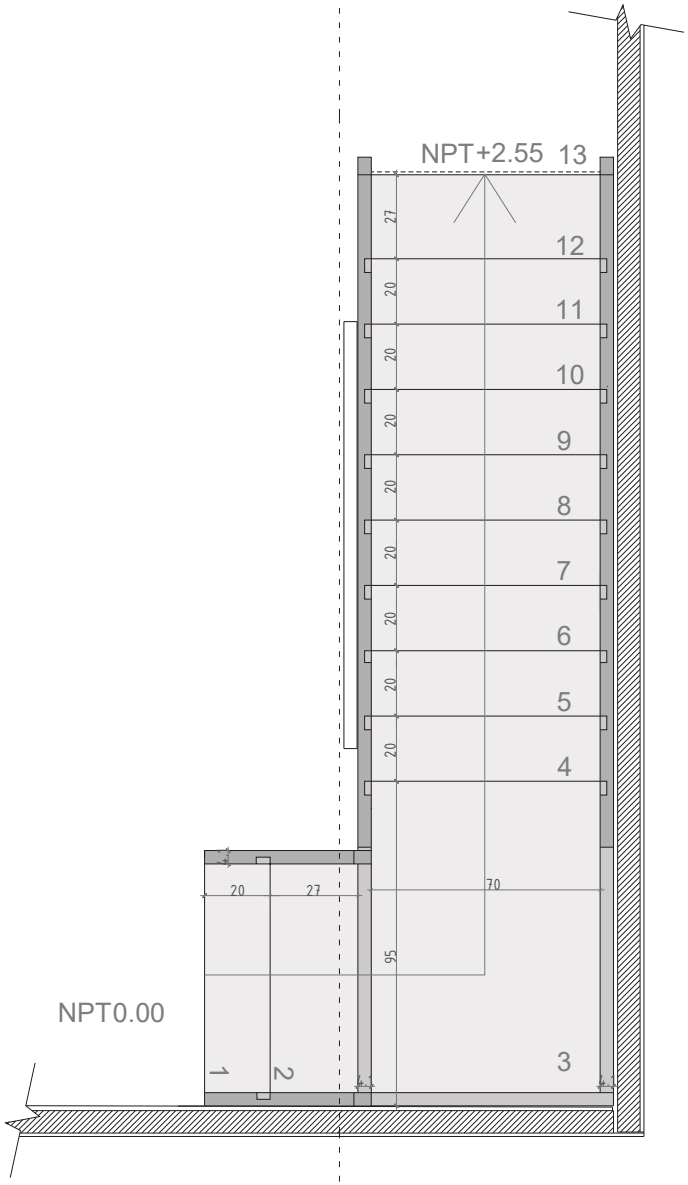
kit de tres módulos



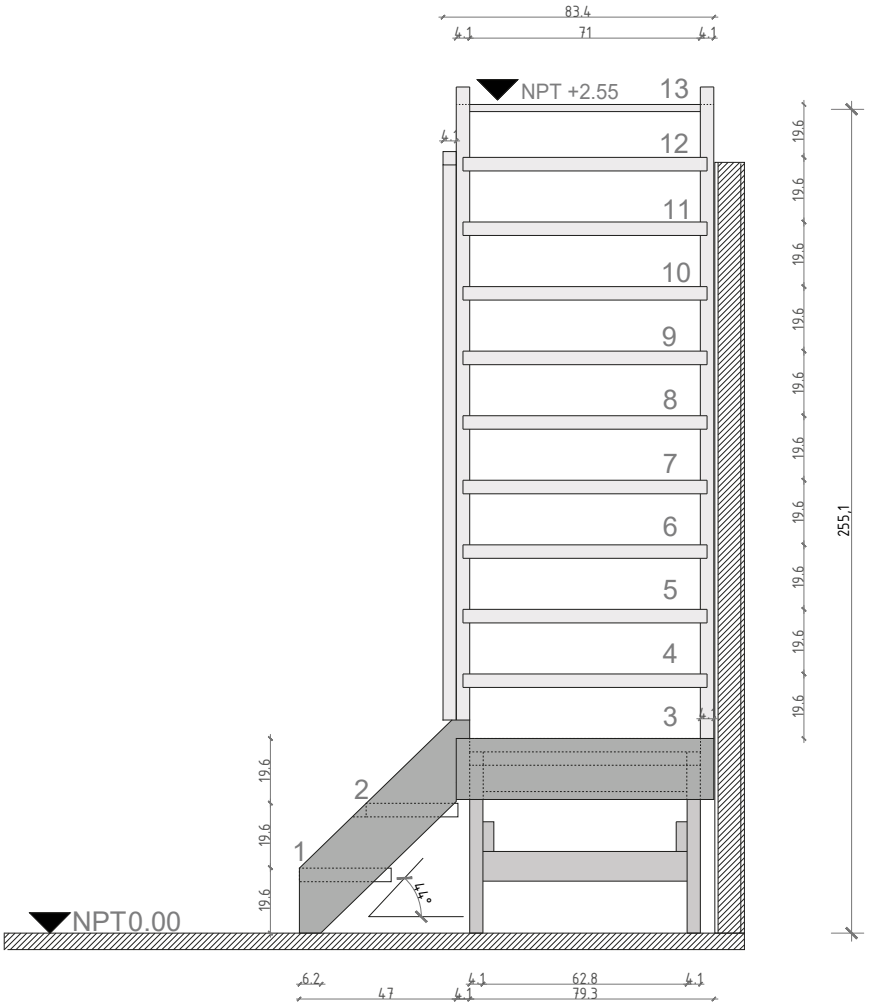
Montaje



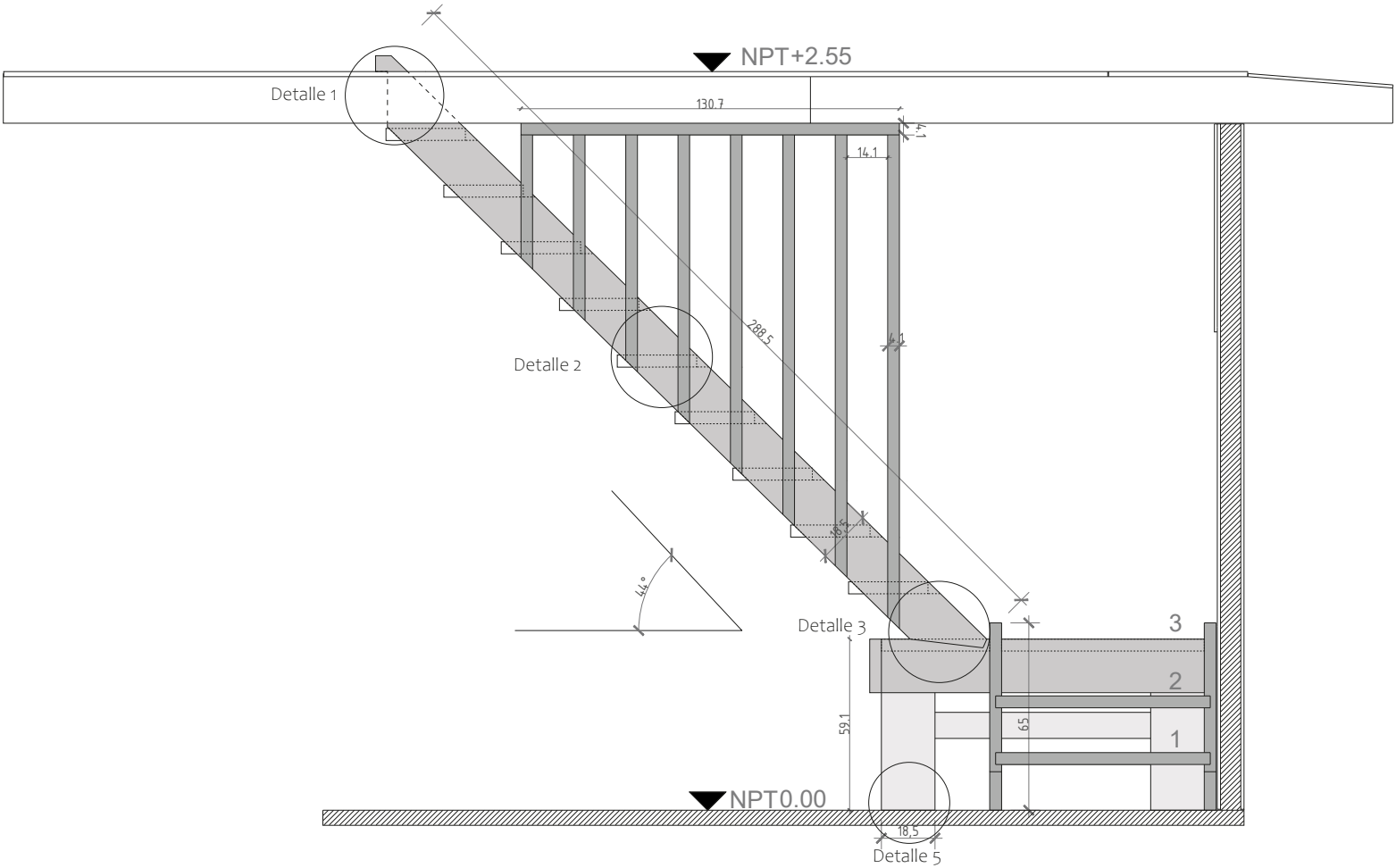
Esclaera modular completa

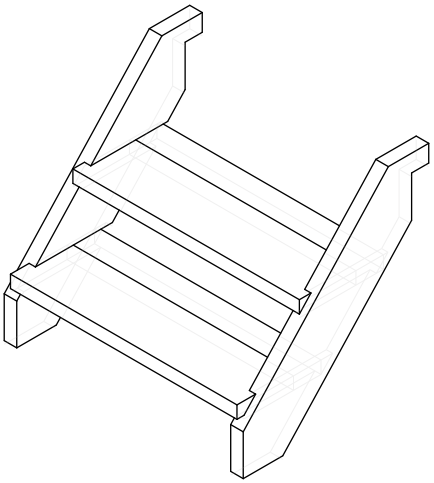

NPT+2.55
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
27
20
20
20
20
20
20
20
20
70
95
20
27
NPT0.00
1
2

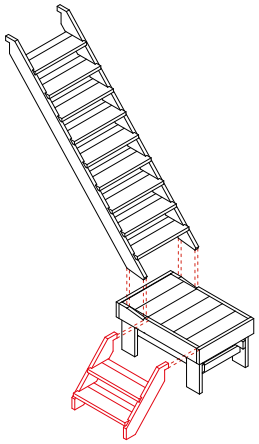
Planta



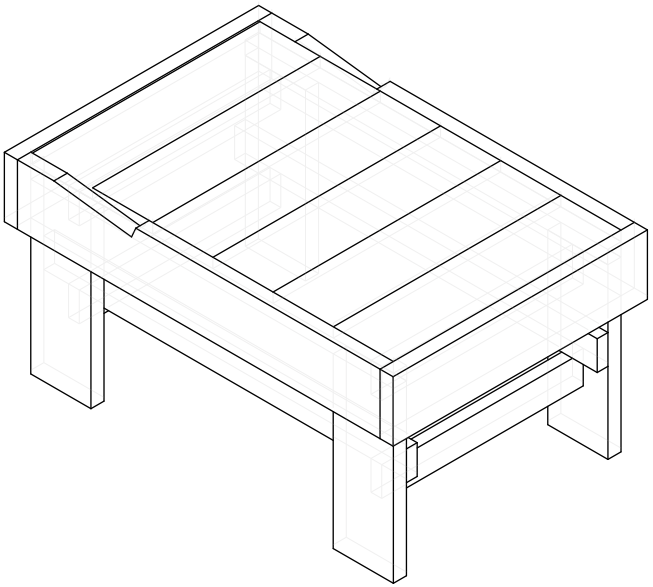
ELEVACIÓN FRONTAL

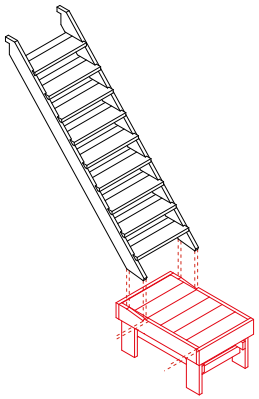

NPT+2.55
Detalle 1
130.7
4.1
14.1
288.5
Detalle 2
16.5
44°
Detalle 3
3
2
1
59.1
65
NPT0.00
18.5
Detalle 5



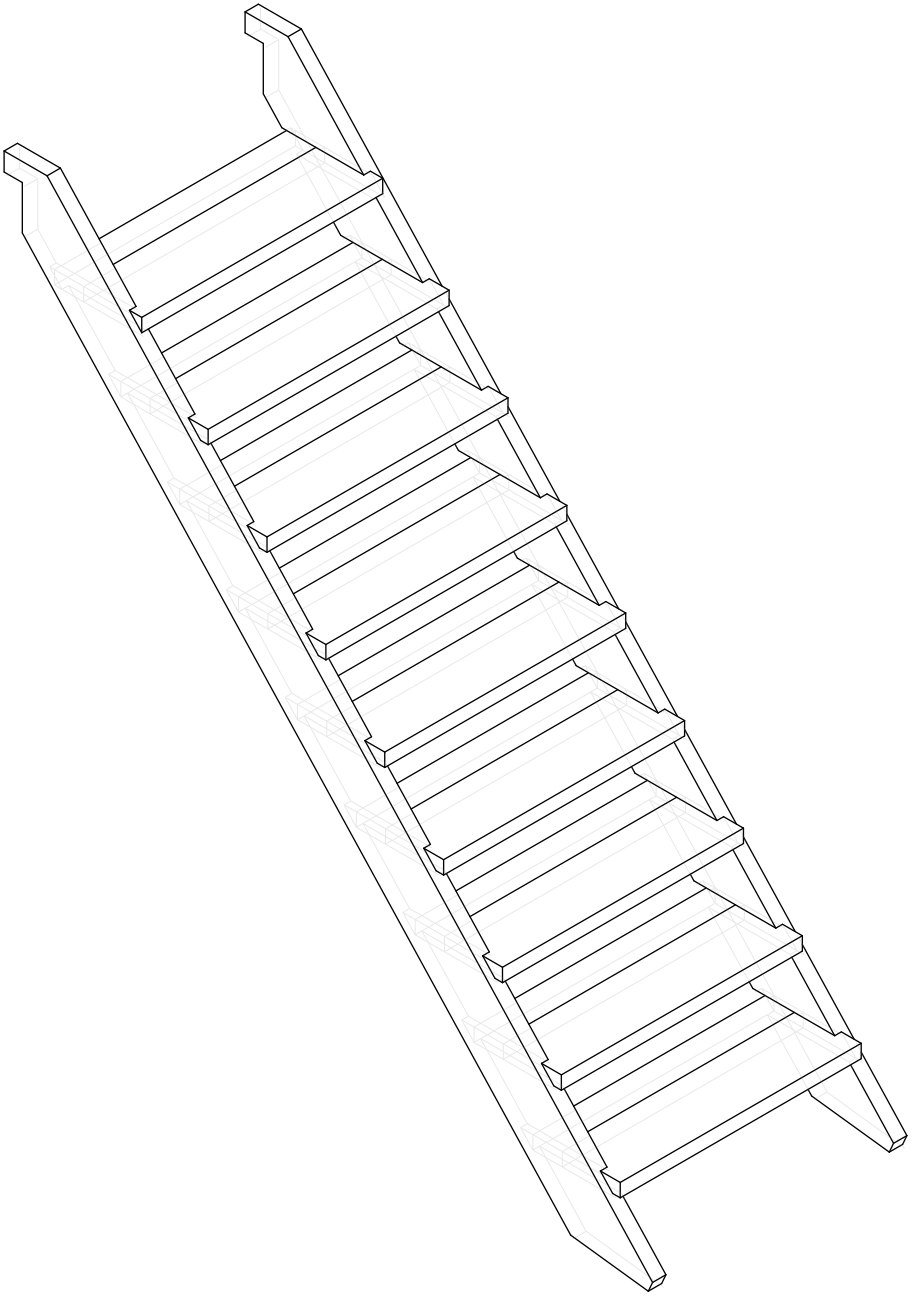


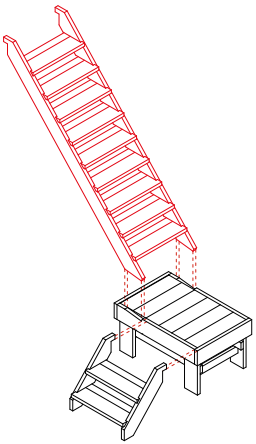
Módulo 1 – Inicio





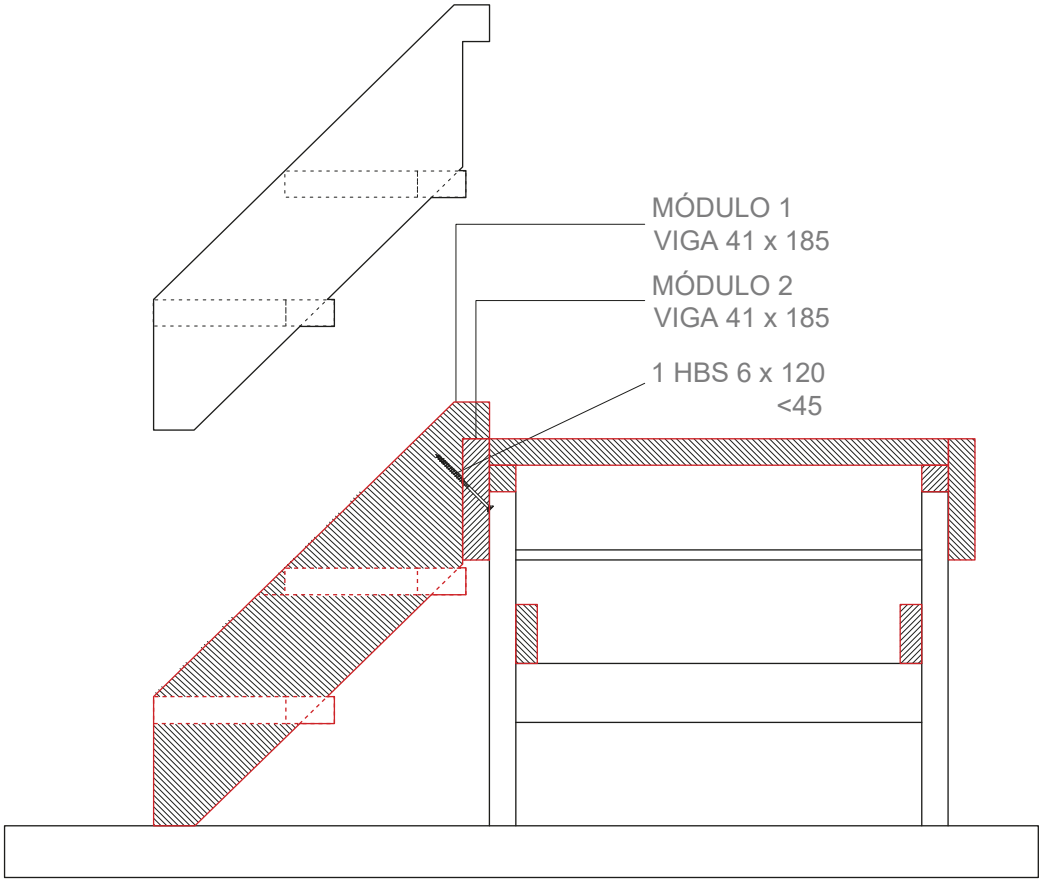
Módulo 2 – Descanso



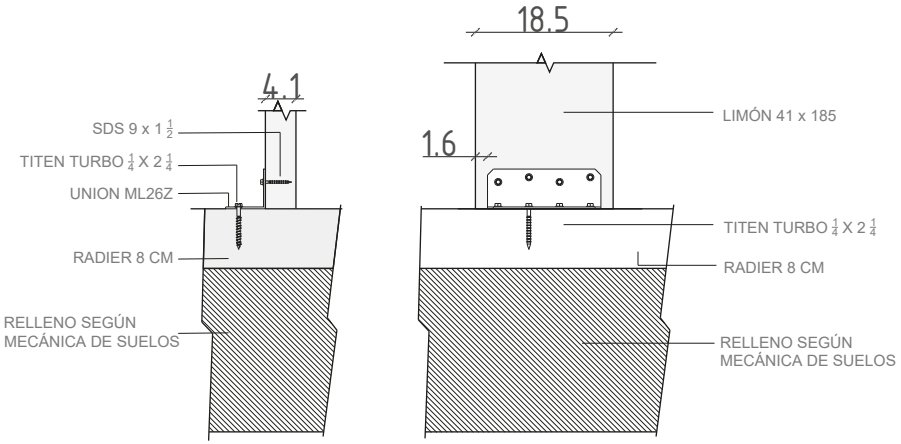


Módulo 3 – Tramo Principal

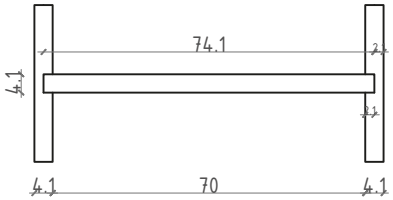
3.2.2. Detalles constructivos

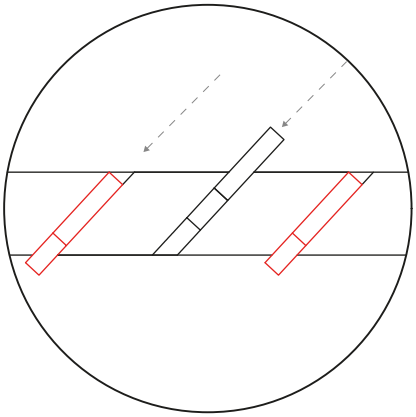


Unión Módulo 1 - 2
1:10

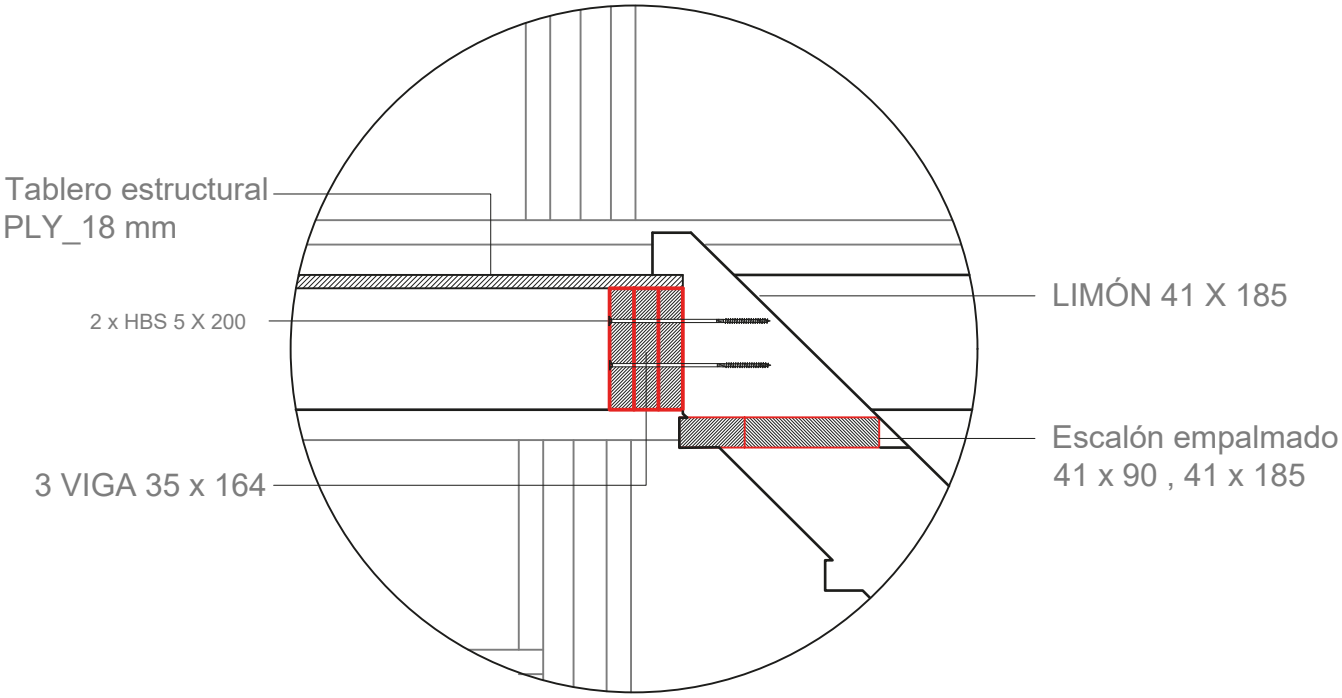


Detalle 4 - 5
Unión Módulo 2 - Radier

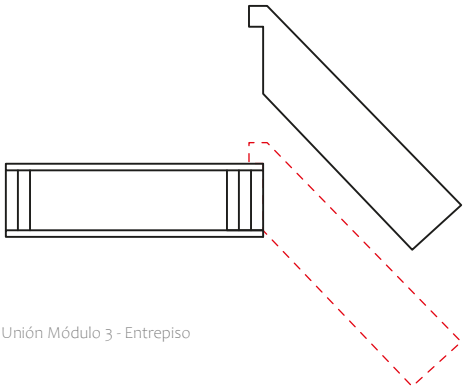




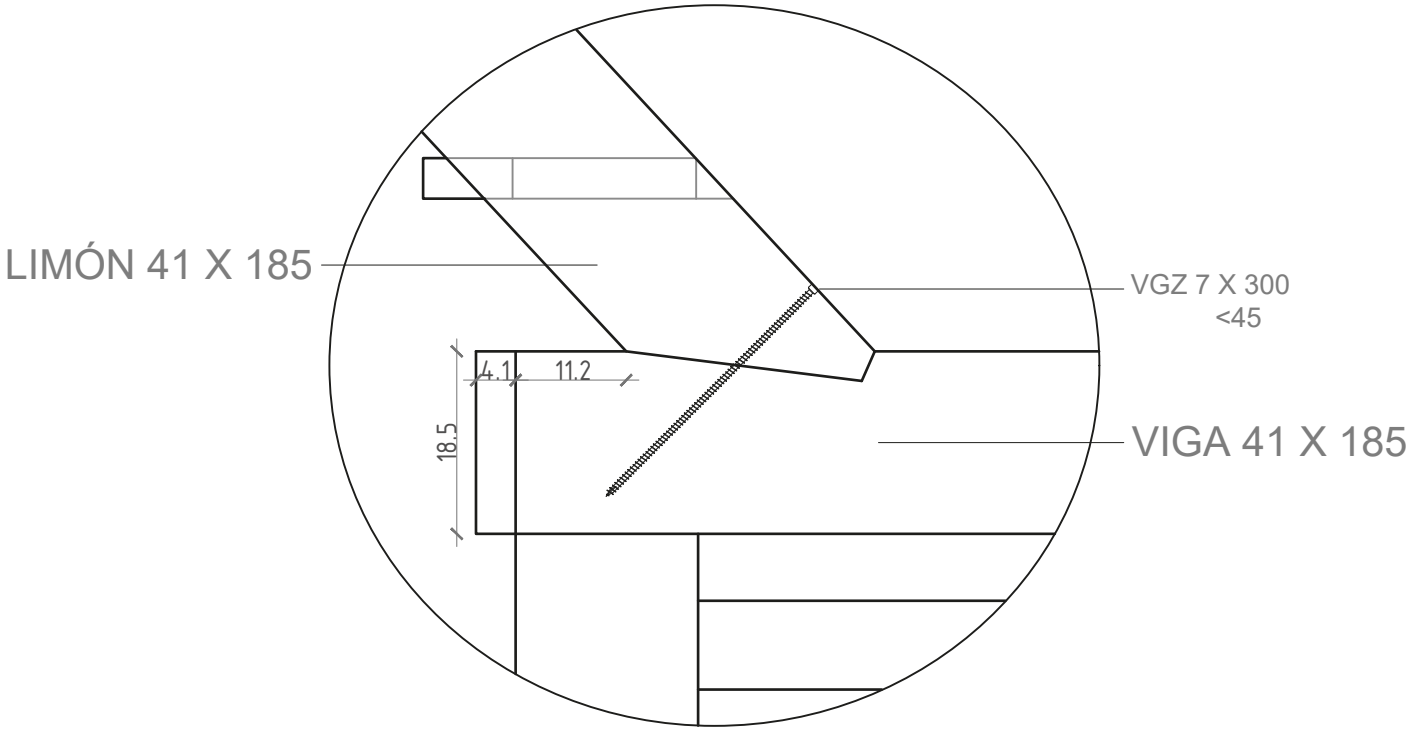
Secuencia armado



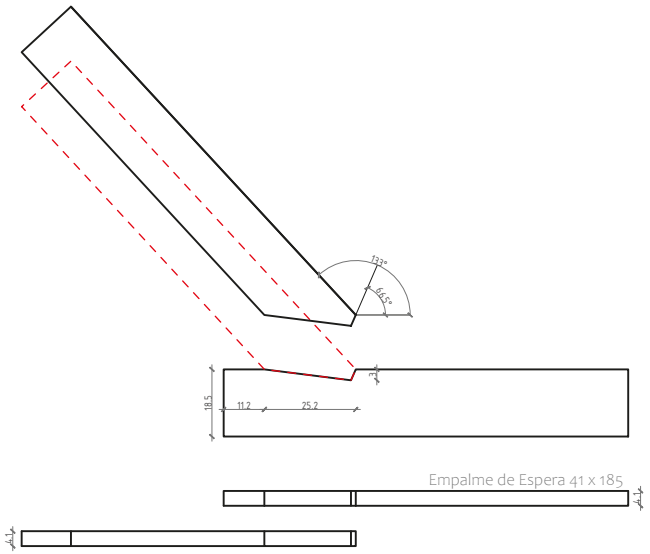
Detalle 1
1:10

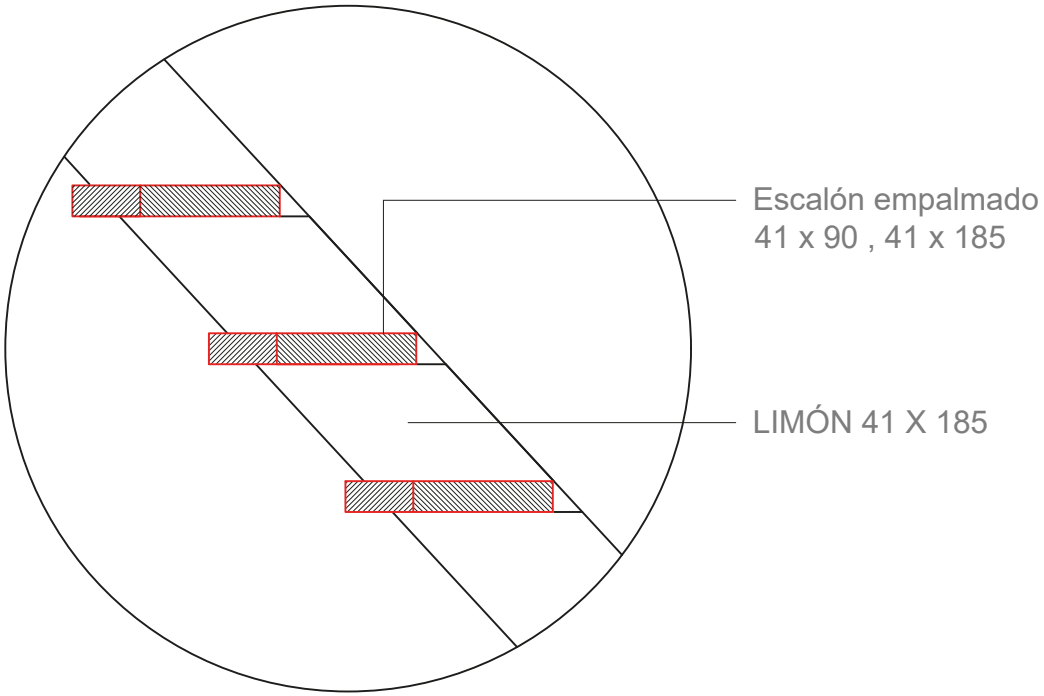


Unión Módulo 3 - Entrepiso

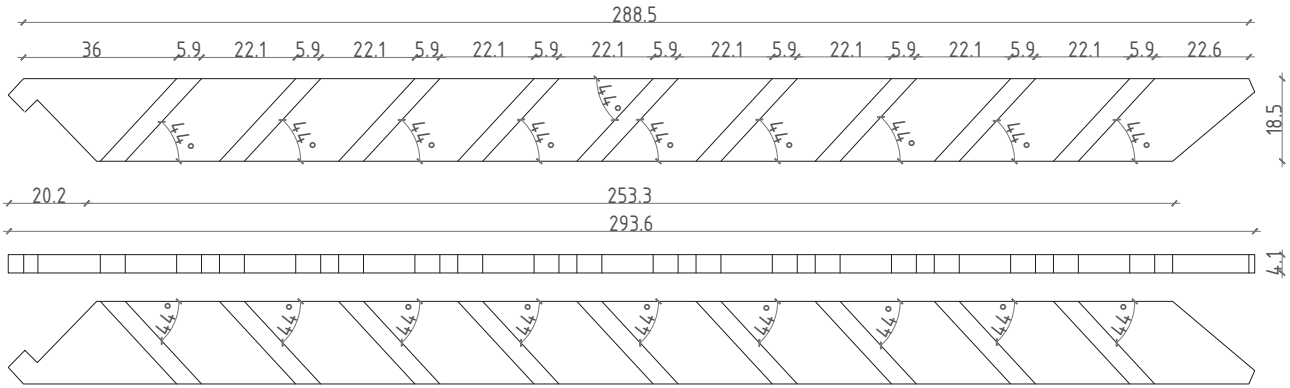


Detalle 3
1:10

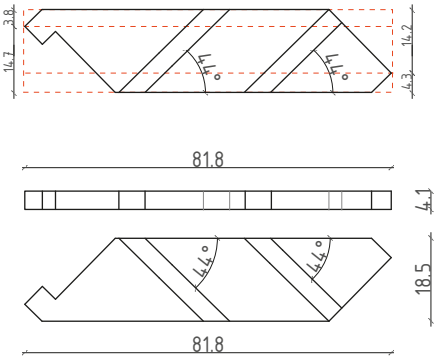




Detalle 2
1:10



Unión Zanca - Peldaño

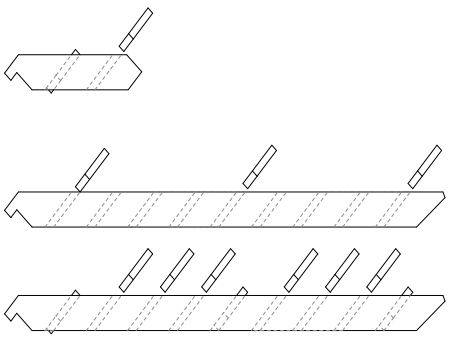


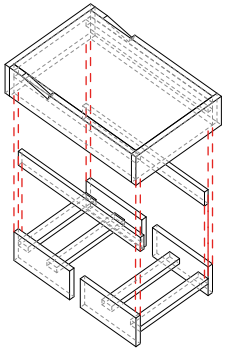
Unión Zanca - Peldaño

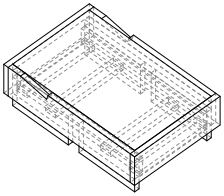
3.4 Ensamblaje y compatibilidad

Procesadora de vigas

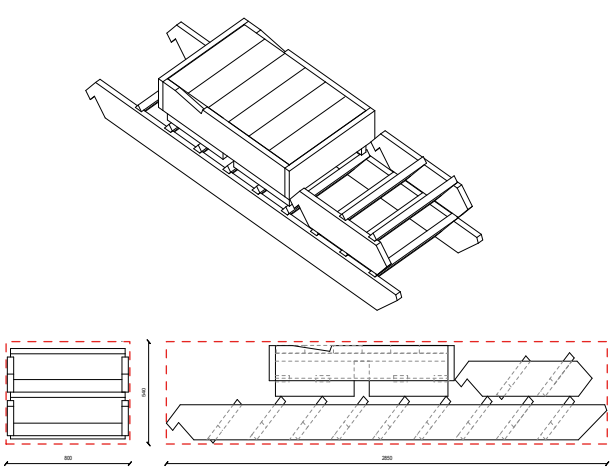
Entrada de material → Componentes mecanizados → Clasificación de componentes para cada MÓDULO → Proceso de armado de Módulos

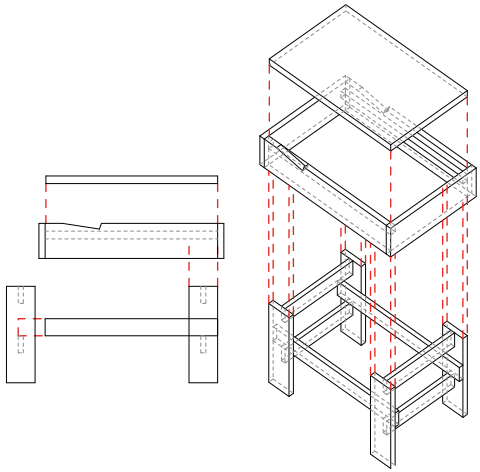


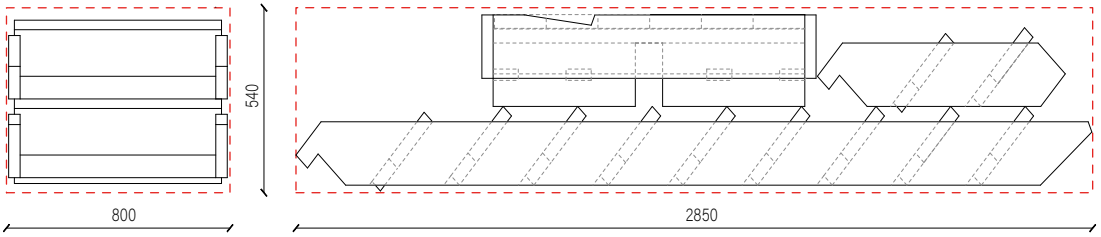




Fabricación Manual → Almacenamiento → Empaquetado de KIT DE ESCALERA → Transporte → Montaje Final






540
800
2850















4. CONCLUSIONES PRELIMINARES

4. CONCLUSIONES PRELIMINARES

El desarrollo del sistema de escalera modular presentado permite verificar, a nivel conceptual y proyectual, la viabilidad de integrar un componente estructural tridimensional dentro de una línea productiva basada en la fabricación de elementos bidimensionales en madera. A través de una lógica de descomposición modular, la escalera es traducida a un conjunto de piezas planas compatibles con los procesos de mecanizado CNC y ensamblaje propios del sistema productivo de E2E, manteniendo coherencia dimensional, estructural y constructiva con la vivienda industrializada tipo Ditec-E2E.

La propuesta evidencia que el elemento escalera puede ser concebido no como un objeto aislado, sino como un sistema constructivo autónomo, capaz de integrarse técnica y logísticamente al paquete de entrega de la vivienda industrializada, sin introducir procesos ni equipamiento ajenos a la planta. En este sentido, el módulo de descanso adquiere un rol estructural clave, operando como nodo de articulación y transferencia de cargas, lo que permite asegurar continuidad estructural y control de tolerancias durante el montaje.

Esta conclusión preliminar establece una base sólida para las etapas posteriores de validación técnica, constructiva y productiva del prototipo, orientadas a comprobar su desempeño estructural, su compatibilidad con la normativa vigente y su factibilidad de implementación dentro del modelo de producción industrializada en madera desarrollado por E2E.

Aportes del proyecto

1. Aporte metodológico–productivo
El proyecto propone un enfoque de diseño que permite traducir un elemento estructural tridimensional tradicionalmente resuelto como objeto artesanal a una lógica productiva bidimensional, compatible con procesos de mecanizado CNC y panelización en madera. Este aporte resulta transferible a otros componentes arquitectónicos complejos dentro de sistemas de construcción industrializada.

2. Aporte técnico–constructivo
La escalera es concebida como un sistema estructural autónomo, donde la descomposición modular y la definición de nodos críticos de conexión permiten controlar la transferencia de cargas, las tolerancias dimensionales y el montaje secuencial, alineándose con los requerimientos de precisión propios de la fabricación industrial en madera.

3. Aporte al sistema productivo de E2E
La propuesta amplía el alcance del sistema Ditec-E2E al incorporar un componente históricamente no resuelto dentro de su línea productiva, sin requerir nueva maquinaria ni procesos adicionales, fortaleciendo la coherencia del paquete de vivienda industrializada tipo (VIT).

4. Aporte disciplinar
Desde la arquitectura, el proyecto posiciona la escalera no solo como un elemento espacial, sino como un problema de sistema, abordado desde criterios de industrialización, modularidad y diseño para manufactura y montaje (DfMA), contribuyendo a una lectura más técnica y sistémica del diseño arquitectónico en madera.

Limitaciones del proyecto

1. Alcance de validación
La investigación se centra en la validación conceptual, proyectual y prototípica, por lo que no aborda ensayos estructurales normativos a escala real ni pruebas de comportamiento a largo plazo, tales como deformación diferida, vibraciones o desgaste por uso.

2. Dependencia de un caso productivo específico
El desarrollo se encuentra ajustado a las condiciones productivas, dimensionales y tecnológicas de la planta E2E, lo que limita su aplicabilidad directa a otros sistemas industrializados sin procesos de adaptación previa.

3. Restricciones normativas y tipológicas
La propuesta se enmarca en los parámetros de la vivienda industrializada tipo (VIT), lo que restringe su aplicación inmediata a otras tipologías habitacionales o programas de mayor complejidad espacial.

4. Nivel de prototipado
El prototipo desarrollado corresponde a una prueba de concepto, por lo que aspectos como optimización de costos, tiempos de producción y estandarización de detalles aún requieren una etapa posterior de desarrollo industrial.

Proyecciones del proyecto

1. Validación técnica avanzada
Como continuidad del trabajo, se proyecta la realización de ensayos estructurales y constructivos, orientados a verificar el desempeño del sistema frente a cargas normativas, tolerancias de montaje y comportamiento dinámico propio de la escalera como elemento en uso.

2. Optimización productiva
La escalera modular puede evolucionar hacia un producto industrial estandarizado, mediante la optimización de secciones, uniones y secuencias de fabricación, incorporando análisis de costos, tiempos y eficiencia de material.

3. Escalabilidad y adaptación tipológica
El sistema desarrollado presenta potencial de adaptación a distintas configuraciones de vivienda, alturas y programas, así como a otros sistemas constructivos en madera que operen bajo lógicas de panelización.

5. BIBLIOGRAFÍA

Calculartodo. (s. f.). Diseñar una escalera: diagrama y cálculo.
https://www.calculartodo.com/edificio/disenar-una-escalera.php

Consejo de Construcción Industrializada (CCI). (2023). Consejo de Construcción Industrializada.
https://construye2025.cl/consejo-de-construccion-industrializada/

Construye2025 & CDT. (2024). Construcción industrializada: productividad, sostenibilidad y desafíos del sector.
https://construye2025.cl/publicaciones/

Corporación de Fomento de la Producción (CORFO). (2023, 16 de junio). La construcción en madera impulsa la descarbonización y la innovación en el Biobío.
https://www.corfo.cl/sites/cpp/noticias/construccion-en-madera-descarbonizacion

E2E Chile. (s. f.). Casa Ditec-E2E FN.
https://e2echile.com/proyectos/casa-ditec-e2e-fn/

E2E Chile. (s. f.). Condominio Alta Cima: materialidad escalera tipo.
https://e2echile.com/proyectos/condominio-alta-cima/

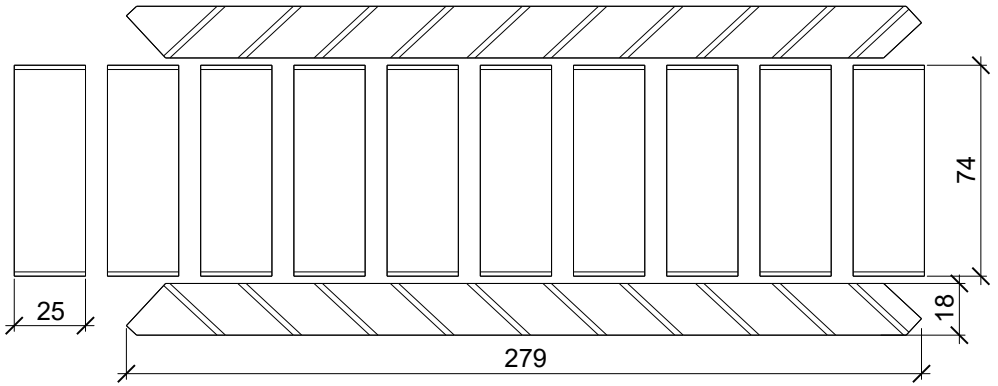
Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). (2017). Cuadro normativo y tabla de espacios y usos mínimos para el mobiliario (Resolución Exenta N° 7712). Gobierno de Chile.
https://www.minvu.gob.cl/wp-content/uploads/2019/05/Res_7712-16062017-Cuadro-Normativo.pdf

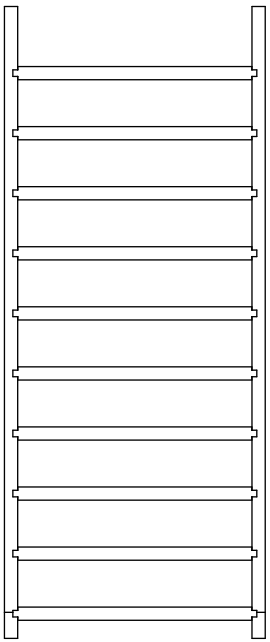
Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). (2025, 15 de mayo). Plan de Emergencia Habitacional alcanza 200.717 viviendas entregadas o terminadas a nivel nacional. Gobierno de Chile.
https://www.minvu.gob.cl/plan-de-emergencia-habitacional-alcanza-200-717-viviendas-entregadas-o-terminadas-a-nivel-nacional/

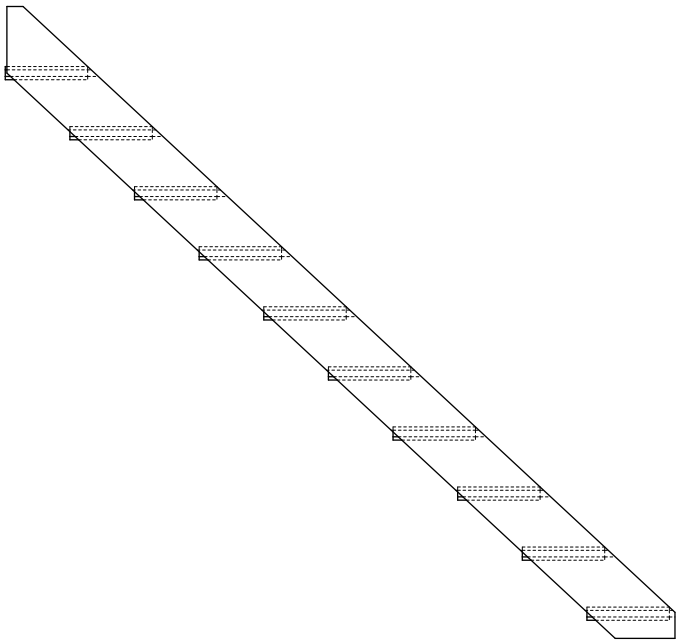
Pontificia Universidad Católica de Chile. (s. f.). Guía de diseño e industrialización en madera. Centro UC de Innovación en Madera.
https://madera.uc.cl/images/recursos/Guia_Diseno_e_industrializacion_en_madera.pdf

WEINMANN. (s. f.). Folleto técnico y catálogo de maquinaria de carpintería industrial (WBS / WBZ).

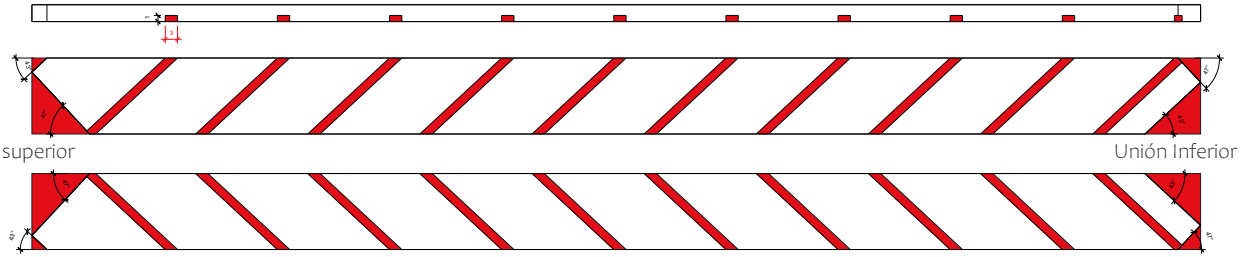
6. ANEXOS


74
25
18
279



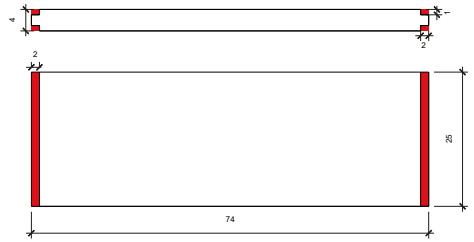


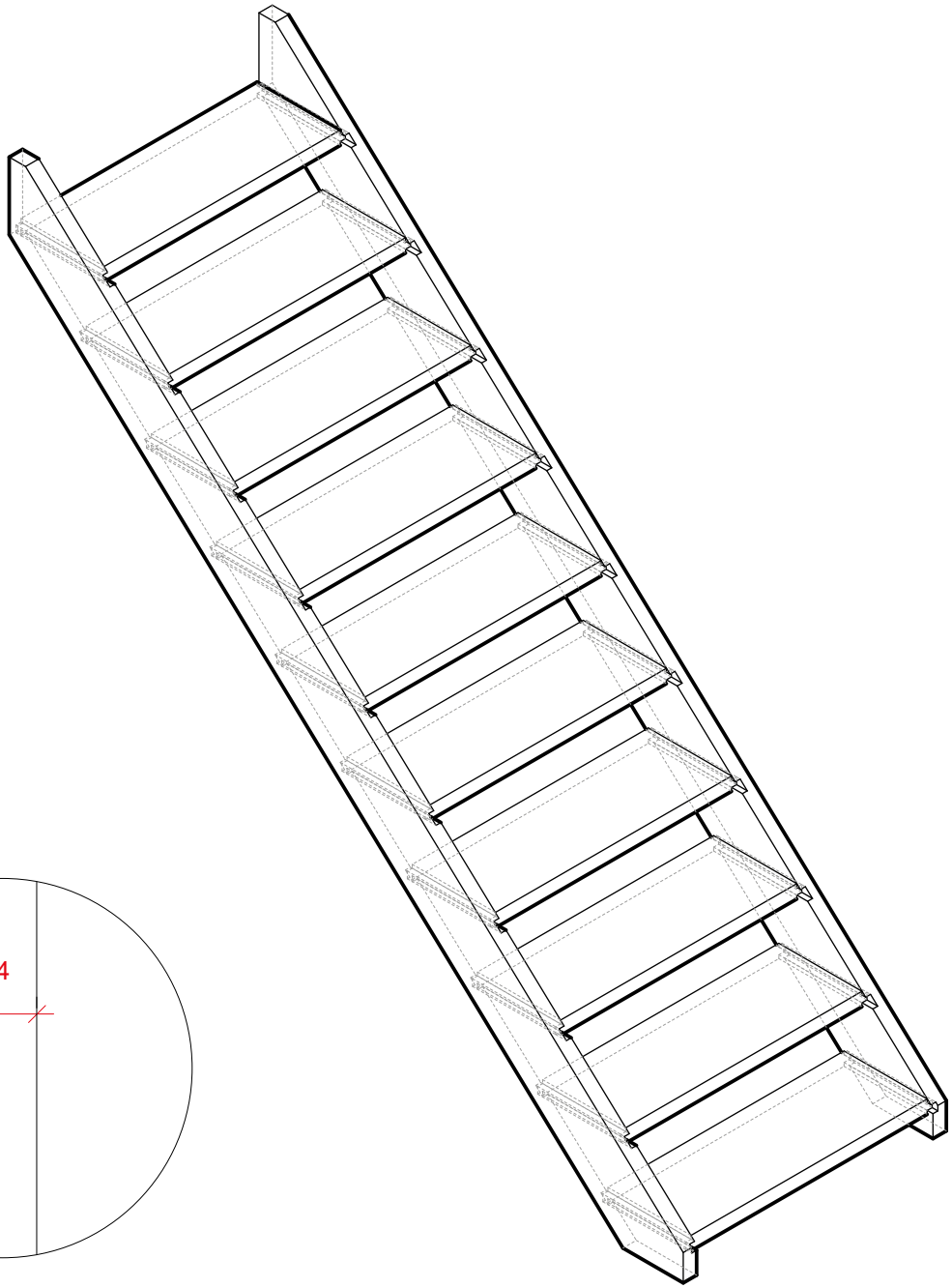
Operaciones de corte

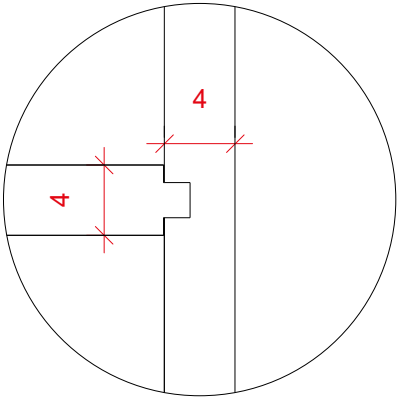


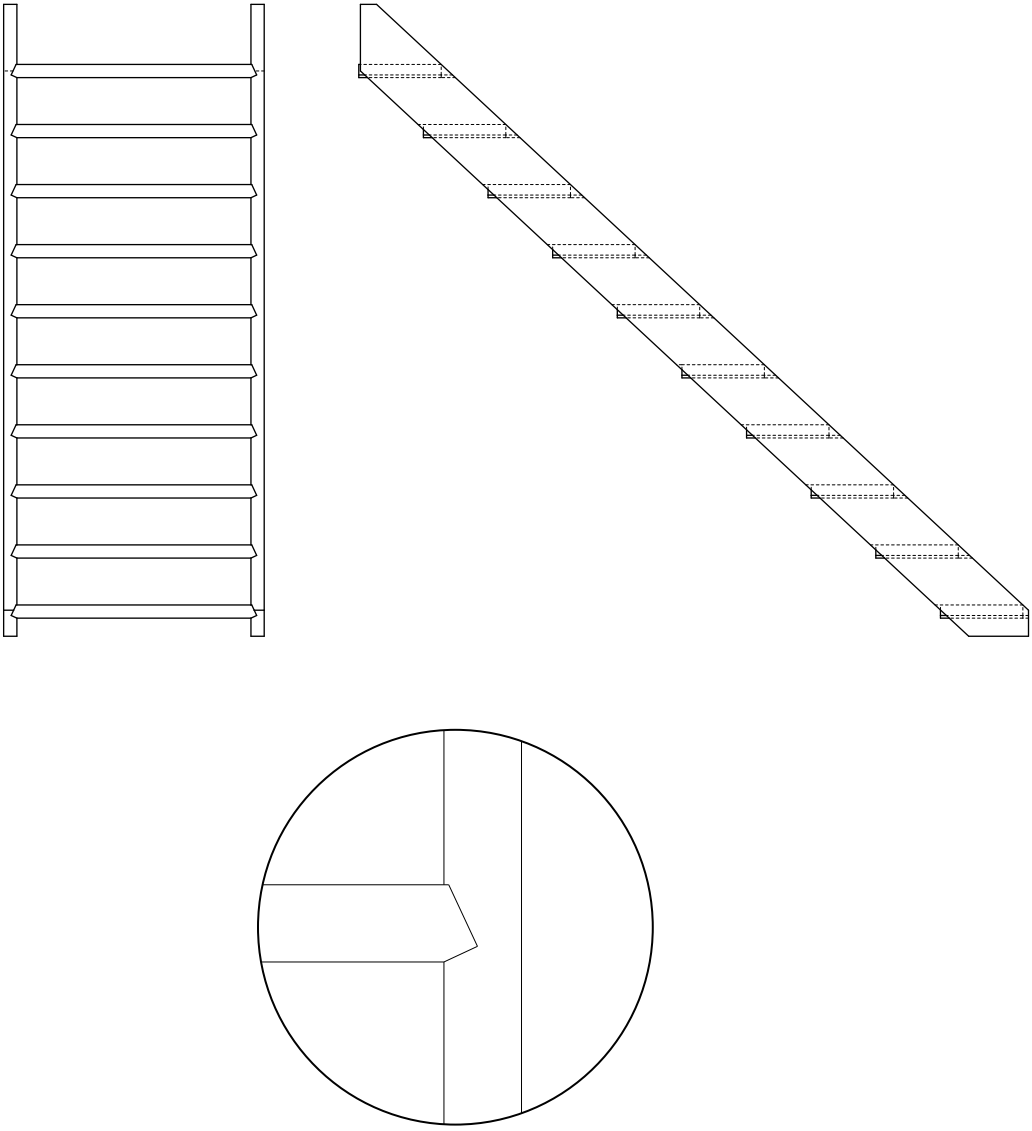
Unión superior

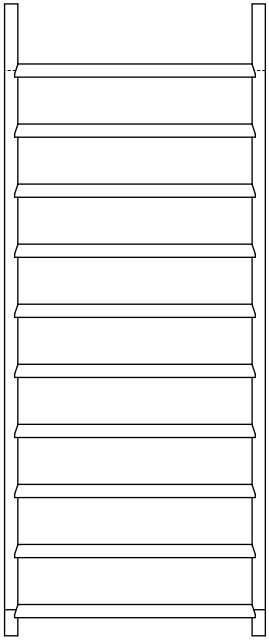
Unión Inferior

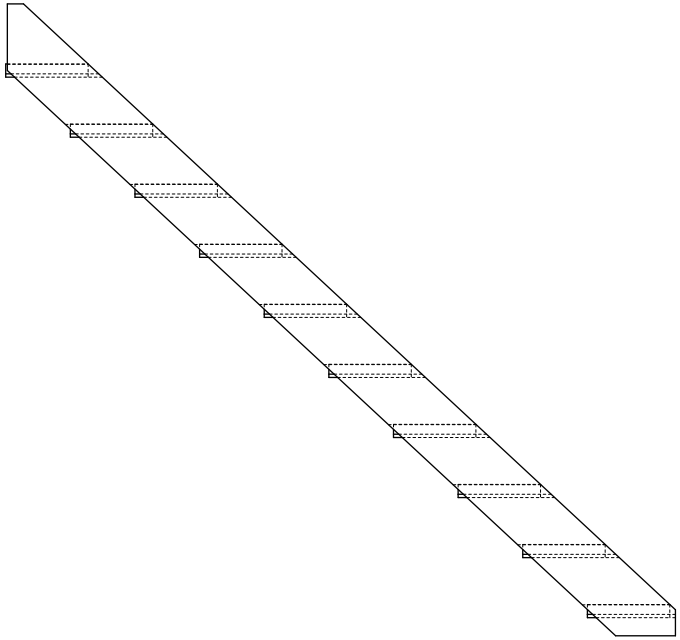


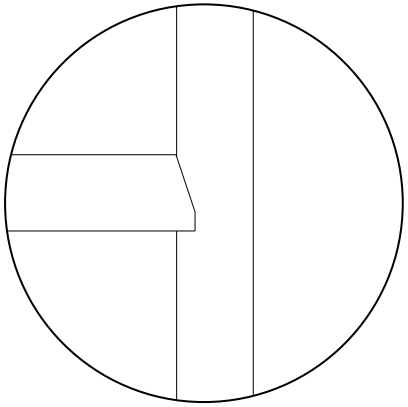


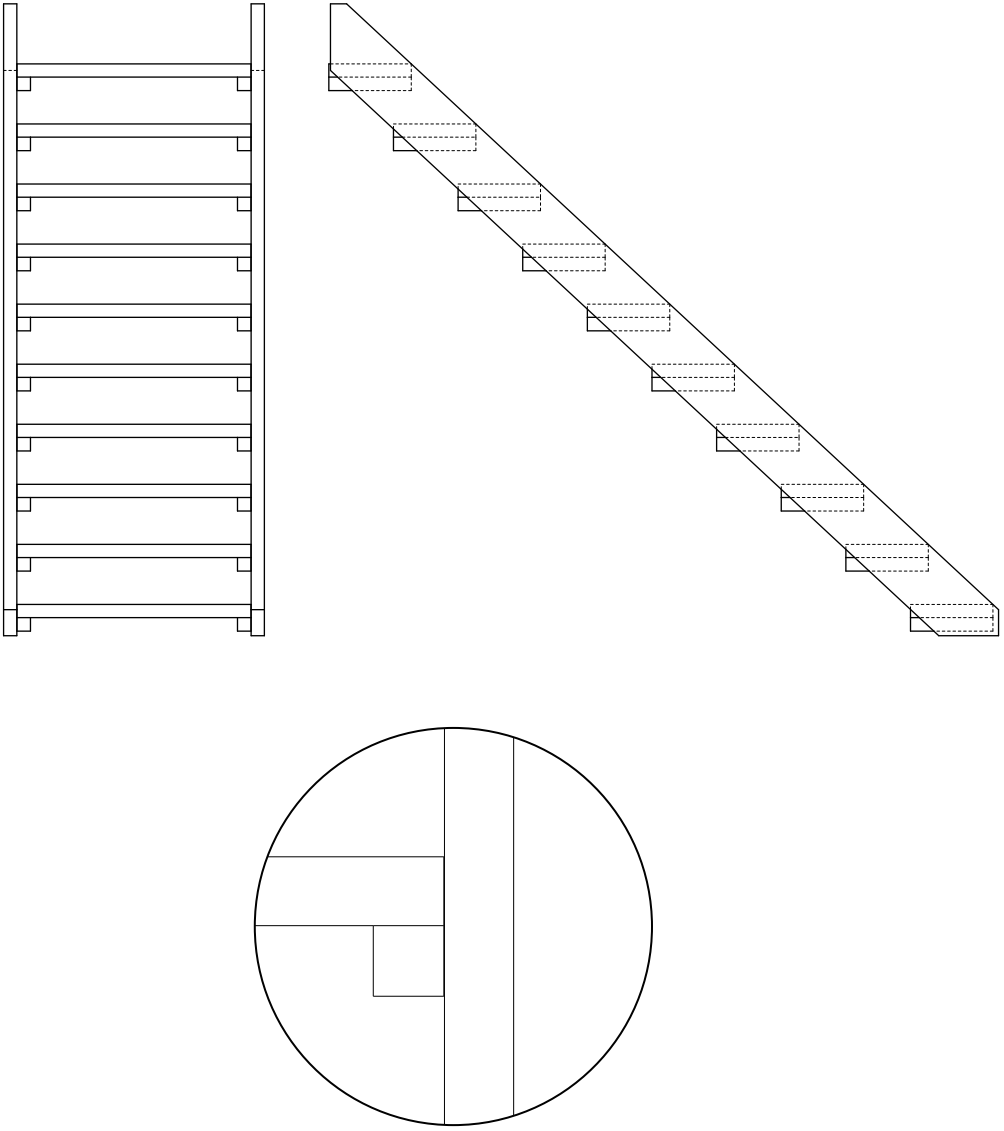

4
4

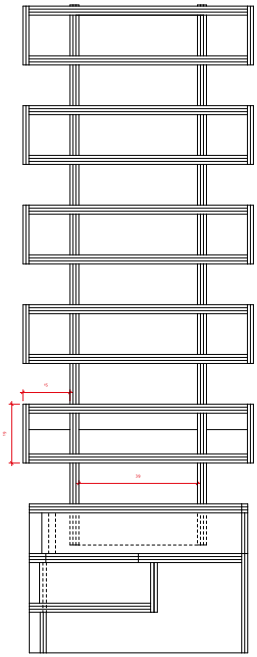


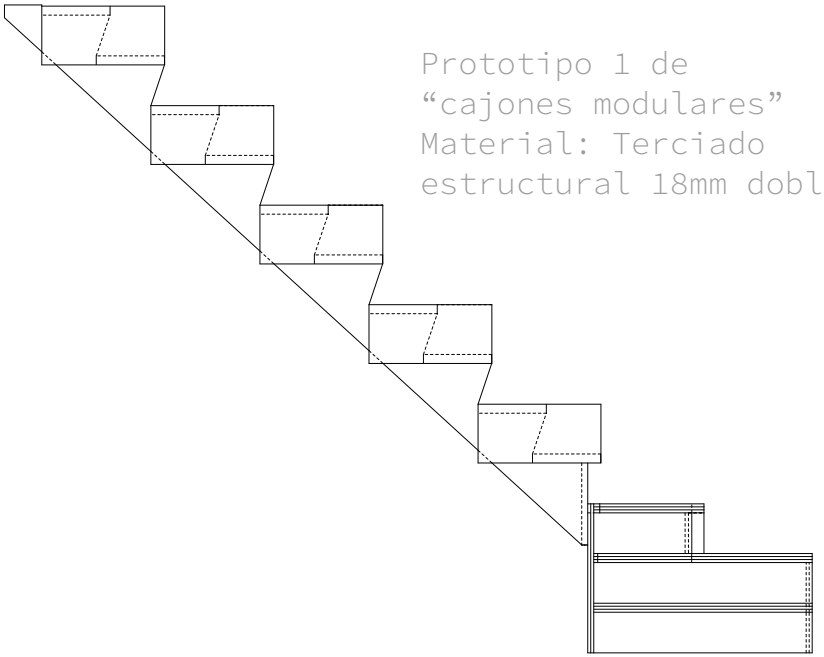




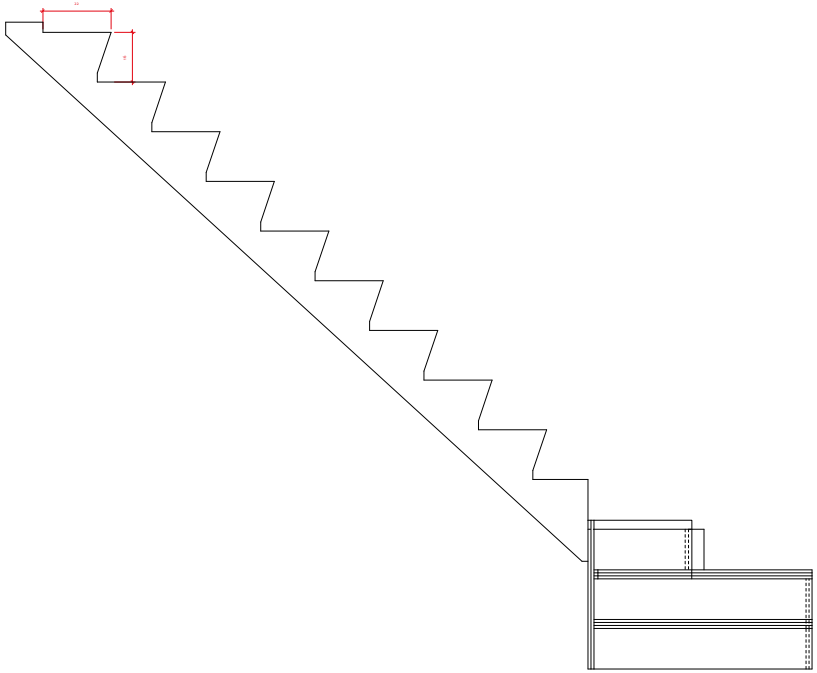


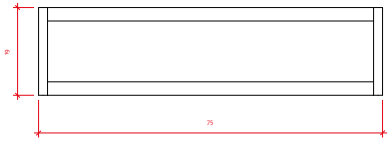




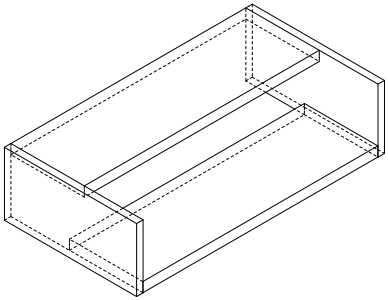


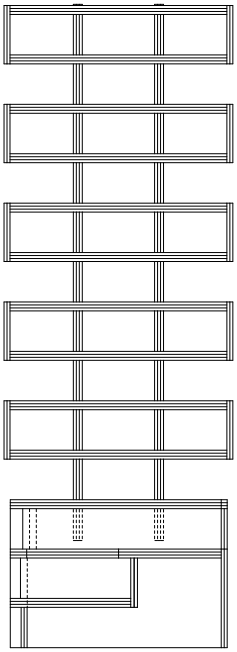
Prototipo 1 de
“cajones modulares”
Material: Terciado
estructural 18mm doble

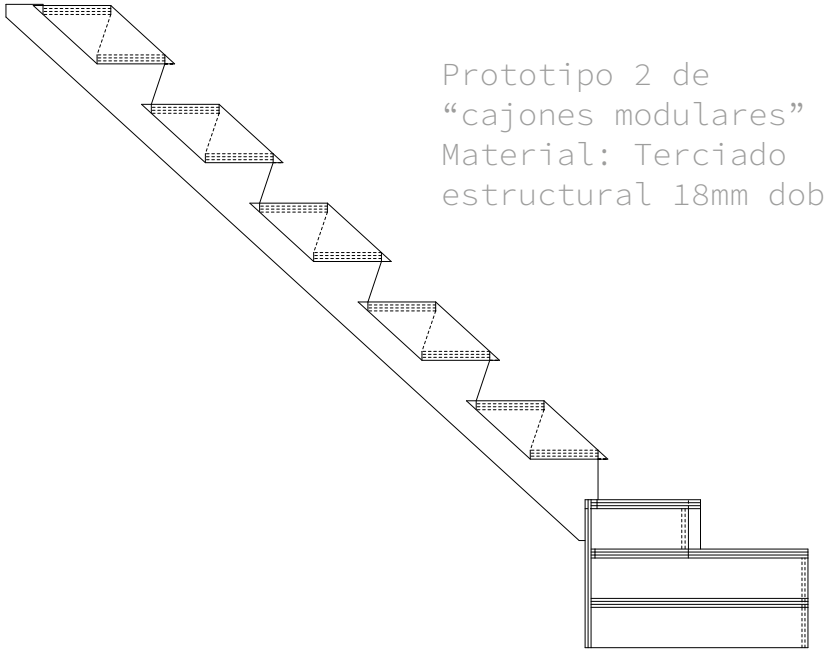






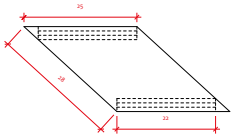


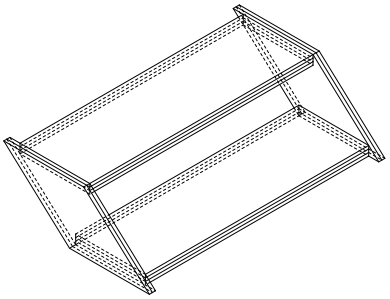


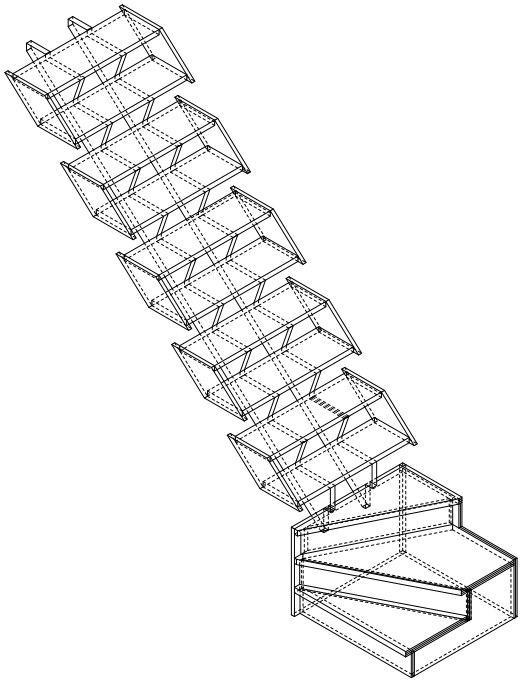


Prototipo 2 de
“cajones modulares”
Material: Terciado
estructural 18mm doble









6.2 Imagenes proceso de maqueta escala 1:1

