

DISEÑO Y PROTOTIPADO DE UNA LÍNEA DE MAQUETAS DE MADERA DE UNIONES TÍPICAS DE ESTRUCTURAS METÁLICAS

Alonso Iglesias Pordomingo



Grado en Ingeniería en Diseño Industrial
y Desarrollo del Producto



Trabajo de Fin de Grado

Julio 2025



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del
Producto**

Diseño y Prototipado de una Línea de Maquetas de Madera de Uniones Típicas de Estructuras Metálicas

Iglesias Pordomingo, Alonso

Tutores:

Magdaleno González, Álvaro

Lorenzana Ibán, Antolín

Departamento CA, IT y Mecánica de
Medios Continuos y Teoría de Estructuras

Valladolid, Julio 2025

RESUMEN

La adecuada comprensión de fenómenos de naturaleza abstracta en la ingeniería es, a menudo, difícil de llevar a cabo, pues su enfoque se basa en demostraciones teóricas o digitales. El propósito de este Trabajo de Fin de Grado es ofrecer un recurso didáctico visual y tangible que facilite la comprensión de un campo tan importante en la ingeniería como son las uniones estructurales, haciendo partícipe al estudiante de su propia formación.

La primera parte del trabajo consiste en el desarrollo de una metodología y el diseño de una maqueta de una unión estructural que permita a los estudiantes manipular a la vez que comprender este tipo de uniones y sus componentes.

La segunda parte se centra en el diseño de una marca y su correspondiente identidad corporativa que englobe las maquetas educativas y que convierta el proyecto en un producto industrial completo.

PALABRAS CLAVE: unión estructural, modelo didáctico, madera, diseño de marca, corte y grabado láser

ABSTRACT

The proper understanding of abstract phenomena in engineering is frequently difficult to achieve, as their approach is commonly based on theoretical or digital demonstrations. This Bachelor Thesis aims to provide a visual and tangible educational resource that contributes to the understanding of such an important field in engineering as structural joints, involving the student in his own formation.

The first part of the project is based in the development of a methodology and the design of one structural joint model that allow students to manipulate them while understanding this type of joints and their components.

The second part focuses on the design of a brand and its own corporate identity that encompasses the educational models and turns the project into a complete industrial product.

KEY WORDS: structural joint, educational model, wood, brand design, laser cutting and engraving

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a mis tutores, Antolín Lorenzana y Álvaro Magdaleno, y al resto del equipo del Laboratorio de Estructuras de la EII, por acogerme con los brazos abiertos y ayudarme a crecer en aspectos que superan los académicos.

Este trabajo supone el fin de mi etapa universitaria, que no hubiera sido igual de enriquecedora sin las personas que me han acompañado en este camino. Gracias a Amaya, Laura, Carmen, Carla, Paula, Héctor y Dani, por hacer de cada momento compartido un ejemplo de generosidad, compañerismo y complicidad.

Gracias a Eva, por escucharme, celebrar conmigo cada logro y recordarme que esto es solo un paso más en un camino mucho más grande.

Por último, gracias a mi familia, que siempre ha confiado en mí, y en especial a mi hermano Álvaro, por sostenerme incondicionalmente, hacer de mis retos los suyos y comprometerse conmigo estando cerca o a kilómetros de distancia.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Contextualización	1
1.2 Justificación	4
1.3 Objetivos.....	6
1.4 Organización	7
CAPÍTULO 2. MODELO FÍSICO.....	9
2.1 Planteamiento	9
2.1.1 Perfiles IPE	9
2.1.2 Escalado	10
2.1.3 Correspondencia realidad-modelo.....	11
2.2 Material	13
2.3 Corte y grabado láser	15
2.4 Desarrollo	19
2.4.1 Encajes	19
2.4.2 Orden de ensamblaje	20
2.4.3 Cordones de soldadura.....	22
2.4.4 Etiquetado de piezas	24
2.4.5 Metodología de diseño.....	25
2.5 Unión atornillada pilar-dintel sin rigidizadores	27
2.5.1 Variante: Unión atornillada pilar-dintel con rigidizadores.....	33
2.5.2 Análisis de Interferencia y Contacto (Clash + Contact)	39
CAPÍTULO 3. IDENTIDAD CORPORATIVA	43
3.1 Estudio de mercado y público objetivo	43
3.2 Nombre.....	46
3.3 Logotipo, imagotipo, isotipo y variaciones.....	48
3.4 Tipografía.....	55
3.5 Paleta de colores	57
CAPÍTULO 4. DISEÑO DE PRODUCTO	63
4.1 Láminas de madera	66

4.2 Componentes adicionales	75
4.3 Envase y embalaje (<i>Packaging</i>)	76
4.4 Manual de montaje	88
4.5 Flujograma del proceso	92
4.6 Presupuesto	95
4.6.1 Número de piezas a producir por año	95
4.6.2 Coste de la materia prima	96
4.6.3 Coste de maquinaria, utillaje y herramientas	97
4.6.4 Costes financieros.....	98
4.6.5 Coste del alquiler de la infraestructura	98
4.6.6 Costes MOD, MOI y otros gastos.....	98
4.6.7 Coste SCRAPS.....	101
4.6.8 Coste total y final de la pieza.....	101
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES	103
5.1 Líneas futuras	106
5.2 Consideraciones adicionales.....	108
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
ANEXOS	112
Anexo de Planos	112
Anexo de Manual de Montaje	138
Anexo de Envase y Embalaje	161
Anexo de Especificaciones de Creality Falcon 2	165

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 CONTEXTUALIZACIÓN

En el ámbito de la ingeniería y el diseño industrial, la comprensión en profundidad de las uniones estructurales es fundamental para el diseño y desarrollo de sistemas constructivos eficientes, seguros y estéticamente integrados. Se trata de un área del conocimiento que presenta una determinada complejidad, pero que es esencial en la formación de cualquier tipo de ingeniero. Esto se evidencia al revisar la Orden Ministerial CIN/351/2009 [1], que establece los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico Industrial. En esta se expone la importancia de las competencias referidas al conocimiento y capacidad para el cálculo y diseño de estructuras y construcciones industriales. El estudio de estructuras no solo constituye uno de los bloques con mayor carga lectiva en grados como el de Ingeniería Mecánica, sino que coexiste en mayor o menor medida en todas las titulaciones de Ingenierías Técnicas. Así, la adecuada comprensión de esta materia es imperativa para cualquier persona que pretenda ejercer de Ingeniero Industrial.

Dentro de cualquier estructura, las uniones entre pilares y vigas presentan puntos críticos merecedores de estudio y entendimiento por parte de un Ingeniero Industrial. Esto se debe a que son zonas en las que se da una concentración de esfuerzos y que, en consecuencia, condicionan tanto el comportamiento mecánico como la durabilidad de la estructura. Además, estas uniones, que suponen una discontinuidad entre los distintos elementos de una estructura mayor, suelen ser elaboradas y complejas, incluyendo elementos estructurales particularmente orientados a resistir y distribuir las cargas debidas al uso y a los propios elementos estructurales, cuya correcta comprensión es fundamental.

Tradicionalmente, la enseñanza de este tipo de estructuras metálicas, incluidas las uniones previamente mencionadas, se ha apoyado en esquemas técnicos bidimensionales, análisis estructurales teóricos o herramientas digitales de diseño. Sin embargo, en este contexto educacional, existe una necesidad creciente de utilizar recursos didácticos visuales y tangibles que permitan a los estudiantes comprender cómo se relacionan forma y función, y estimulen una participación activa en su propia formación. Se profundizará más adelante, pero el aprendizaje visual resulta clave en la formalización de conceptos que *a priori* pueden resultar abstractos y es fundamental para agilizar la asimilación de conocimientos [2]. En este trabajo el aprendizaje a través

de la observación activa viene de la mano de los modelos físicos de madera, cada vez más en auge tanto en el ámbito recreativo como en el de diseño.

El uso de la madera en el área del modelado ha tenido diversos fines a lo largo de la historia, desde artísticos y espirituales a técnicos o funcionales. Su sostenibilidad, versatilidad y calidad estética ha dotado a la representación de modelos en madera de un renovado interés en los últimos años. Este resurgimiento, así como la aparición de técnicas de corte o grabado láser, han impulsado un acercamiento de este material y su manipulación al alcance de todos. El creciente avance tecnológico en este campo pone en valor la versatilidad de la madera y sus innumerables aplicaciones. Entre ellas se encuentra el arte, enfocado en la belleza y el valor artesanal de su elaboración, o el entretenimiento [3], pues interactuar con una maqueta estimula no solo la recreación sino también la actividad motora del usuario. En la actualidad, es común encontrar en cualquier comercio maquetas que abarcan desde complejos circuitos de canicas hasta detallados ornamentos para el hogar (Figura 1.1).

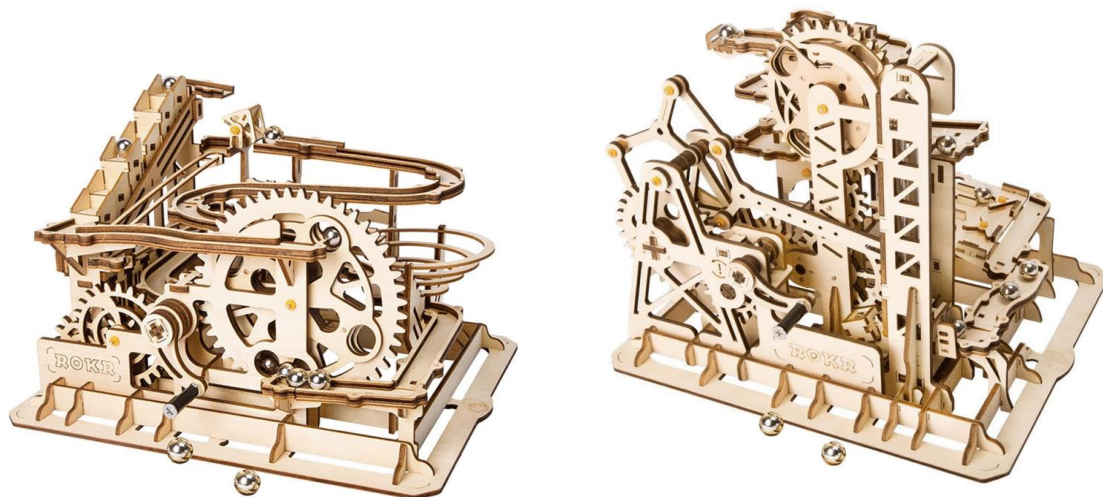


Figura 1.1. Ejemplos de maquetas de madera complejas [4].

De la misma forma, la arquitectura y el diseño tienen una gran cabida dentro del modelismo de madera. Las maquetas permiten la creación de modelos simples o detallados y son un elemento fundamental en la comunicación entre arquitectos y clientes. Existen maquetas estáticas y otras móviles, que representan mecanismos dinámicos e interactivos. Algunas son únicamente de madera, ensambladas con encajes minuciosamente pensados, mientras que otras cuentan con elementos adicionales como pueden ser ejes o palancas. Sean del tipo que sean, el resultado siempre desemboca en un modelo cuyo montaje proporciona al usuario plena comprensión del producto que ha construido.

En este contexto, el presente trabajo aúna la inquietud didáctica expuesta con el creciente interés por el modelismo de madera. Se plantea el diseño de una línea de maquetas de madera que representen puntos de interés en estructuras mecánicas atendiendo a criterios estéticos y didácticos. Tratará de proporcionar al entorno educativo actual una herramienta visual y manipulativa que facilite la comprensión de conceptos técnicos. Se puede situar así en la intersección entre la ingeniería estructural y la pedagogía constructivista, respondiendo a una necesidad real en el marco académico actual.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El presente Trabajo de Fin de Grado surge de la necesidad de materializar conceptos estructurales complejos de manera clara, accesible y visualmente atractiva. Es importante partir de la base de que los conocimientos técnicos propios de la Ingeniería no deben comprenderse de forma aislada, sino en constante relación con la funcionalidad, la forma y la estética. Como se ha expuesto anteriormente, las uniones estructurales constituyen un área del conocimiento clave en el campo de la ingeniería, resultando fundamentales en la construcción de estructuras resistentes y estables (Figura 1.2). Sin embargo, a menudo su enseñanza se limita a cálculos teóricos o esquemas abstractos que pueden dificultar su comprensión para estudiantes con menos visión espacial.

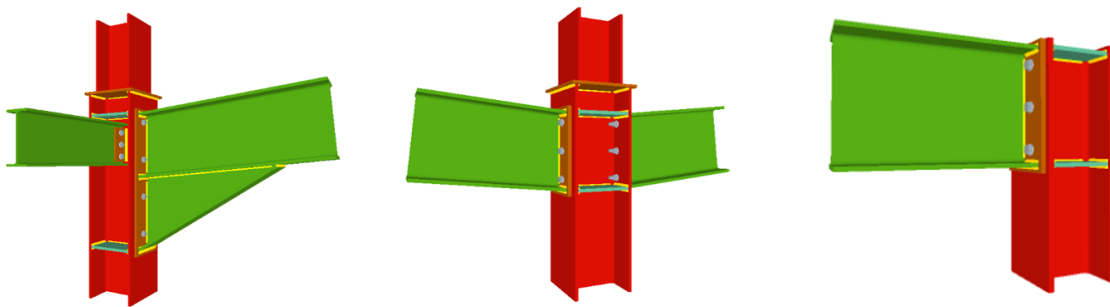


Figura 1.2. Ejemplos de uniones estructurales atornilladas con perfiles laminados en doble T [5].

Así, el diseño de un recurso didáctico basado en maquetas a escala resulta una ayuda fundamental en esta tarea. Esta herramienta de enseñanza constituye un apoyo didáctico capaz de dejar atrás el plano abstracto de la teoría y transformar estos conceptos en algo tangible, visual y concreto. La llamada enseñanza sensorial convierte los fenómenos más complicados de entender en un elemento perceptible por los sentidos, facilitando así la comprensión de los mismos por parte del alumno. El objetivo del proyecto es la creación de un material manipulativo en el contexto de la enseñanza superior y la divulgación científico-técnica.

En este contexto, este trabajo propone el diseño de una línea de maquetas de madera que representen detalles de uniones estructurales complejas bajo el paraguas de una marca comercial. Al ser el usuario el que troquele las piezas y las ensambla siguiendo las instrucciones, el producto convierte una actividad entretenida en un aprendizaje activo. El usuario se beneficia en gran medida de este montaje, pues la construcción del modelo paso a paso y de manera autónoma le dota de pleno conocimiento formal y funcional

del producto final. Al terminar la maqueta el usuario es capaz de reconocer el rol que cumple cada pieza y su relación con el resto del conjunto.

Si bien es cierto que las maquetas estructurales ofrecen un gran abanico de posibilidades en la elección del material de construcción (papel, cartón-pluma, plástico, goma EVA...), este trabajo utilizará la madera como eje central. Anteriormente se han realizado modelos con finalidad similar realizados con goma EVA, pues se trata de un material sencillo de usar y de bajo coste [6]. Además, es capaz de mostrar de manera visual fenómenos de deformación que pueden padecer las uniones estructurales, como puede ser el pandeo. Sin embargo, el propósito de este producto no es tanto identificar estos fenómenos en modelos ya montados, sino hacer partícipe al usuario del proceso de creación de la maqueta para obtener un resultado que integre técnica y forma. La elección de la madera como material no solo responde a criterios técnicos y de sostenibilidad, sino que permite explorar las posibilidades expresivas y constructivas que ofrece. Es el material idóneo para facilitar la construcción y manipulación de los prototipos, más aún enmarcada en el auge actual de las maquetas de madera. Además, se puede beneficiar de los recientes avances tecnológicos en este campo, profesionalizando el acabado de la maqueta y ofreciendo una dimensión estética, comunicativa e incluso lúdica.

A todo lo anterior lo rodea el diseño de una marca comercial que englobe un gran número de maquetas de distintas uniones estructurales. Este trabajo incluirá una identidad corporativa completa, que resulta vital para hacer del proyecto un producto industrial. Se busca que el producto no solo informe, sino que inspire y despierte interés. Para ello, el diseño de elementos como el logotipo, los colores corporativos o el *packaging* son fundamentales en la comunicación con el cliente. Además, también se encargan de situar el producto de manera competitiva en el mercado, de manera que desde profesores particulares hasta equipos docentes y departamentos universitarios puedan fijar su atención sobre un producto profesional tanto en su concepción como en su comercialización. La importancia del diseño de marca, por lo tanto, radica en ofrecer un recurso didáctico a gran escala, que no se vea limitado por el tiempo o el alcance de este trabajo, sino que abra las puertas a expansiones futuras.

Por todo lo expuesto anteriormente, este proyecto se justifica como una contribución didáctica al campo de la enseñanza técnica y al mercado educativo, desembocando en un producto integrador de disciplinas, que une la ingeniería industrial y estructural con la innovación del diseño industrial. Responde a la necesidad de herramientas pedagógicas en las que el diseño no solo resuelve problemas funcionales, sino que comunica el conocimiento de forma eficaz y atractiva.

1.3 OBJETIVOS

Son varios los objetivos que pretende cumplir el proyecto, siendo el principal el diseño de una línea de maquetas de madera que representen detalles de uniones estructurales complejas bajo el paraguas de una marca comercial que sirva como herramienta educativa en el ámbito del diseño industrial e ingeniería estructural. Para efectuarlo se deben cumplir una serie de objetivos específicos que se exponen a continuación.

- Realizar una maqueta en la que se apliquen criterios estéticos mediante el equilibrio entre forma, función, tamaño y acabado. Se busca un modelo físico que combine la simplicidad formal de la unión a representar con un atractivo que le proporcione un cierto grado decorativo.

- Facilitar la comprensión y el aprendizaje en el área de la ingeniería estructural mediante un recurso didáctico tangible que permita al estudiante la materialización de un ámbito a menudo impartido de manera abstracta o digital.

- Seleccionar materiales y técnicas de fabricación apropiadas para la escala y el propósito educativo de la maqueta. El material debe ser sencillo de manipular y proporcionar un acabado profesional al modelo.

- Diseñar la maqueta con criterios de claridad didáctica, etiquetando los elementos y explicando, a través del manual de montaje, su sentido en la unión estructural.

- Dotar al producto final de un ensamblado sencillo, intuitivo, y que no requiera de experiencia previa. Un fácil montaje abrirá el alcance del proyecto a cualquier usuario, pertenezca al ámbito de la ingeniería o no.

- Diseñar una marca comercial que rodee al producto de maqueta, y que sea capaz de transmitir mediante el nombre, logotipo e identidad corporativa un producto cercano y didáctico, pero a la vez profesional y técnico.

Expuestos los principales objetivos de diseño y desarrollo del producto, existen también objetivos secundarios que dotarán al presente trabajo de un valor adicional. En este sentido, se pretende realizar un estudio, análisis exhaustivo y comprensión de las características de diseño de las maquetas y modelos de madera, con el objetivo de crear un *framework* válido para abordar el diseño de cualquier producto futuro con características similares. Esto incluirá no solo establecer los pasos de diseño, sino estudiar las particularidades de las maquetas de madera, desde los métodos de encaje de las piezas hasta el funcionamiento pedagógico y el diseño de las instrucciones de montaje.

1.4 ORGANIZACIÓN

Para cumplir estos objetivos, el desarrollo del trabajo está estructurado en cinco capítulos principales, de los cuales se introducen aquí los últimos cuatro:

- **Modelo físico.** El trabajo comienza con el diseño del principal proyecto del trabajo, que se corresponde con la maqueta de la unión estructural, en este caso la unión atornillada pilar-dintel en pórtico recto con rigidizadores y cartela (Figura 1.3). En este capítulo se tratará el planteamiento inicial, incluidos los perfiles elegidos, el escalado llevado a cabo y conceptos relativos a la correspondencia entre el modelo y la realidad. También se expondrá el material utilizado y las técnicas de corte y grabado láser con las que se tratará. Finalmente, se plasmará toda la metodología de diseño establecida en un modelo concreto, con sus particularidades y diversas piezas.

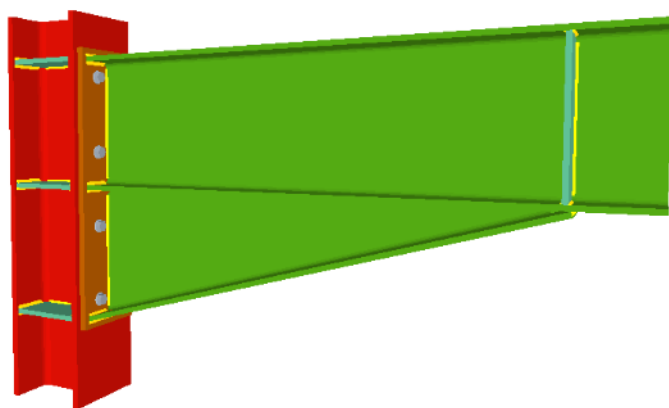


Figura 1.3. Unión pilar-dintel atornillada en pórtico recto con rigidizadores y cartela [5].

- **Identidad Corporativa.** En este capítulo se expondrá el diseño completo de la marca y la identidad corporativa que acompañará al modelo físico y lo convertirá en un producto industrial. Esta sección desarrollará el proceso creativo hasta determinar el nombre de la marca, así como su logotipo, sus colores y su tipografía corporativa. Contendrá, además, un estudio de mercado y la determinación del público objetivo del producto.

- **Diseño de producto.** Esta sección es la culminación de los capítulos anteriores en un producto industrial completo. Se expondrá la combinación del modelo físico y la identidad de marca en todos los elementos en los que estos interseccionan. Esto se traduce en el desarrollo y la explicación de todos los componentes que contiene el producto, esencialmente el *packaging* y el manual de montaje. Ambos elementos son fundamentales y resultan de la combinación de la maqueta y la identidad corporativa

de la marca. Además, se tratarán temas relacionados con su proceso de fabricación, como el flujograma de proceso, y se desglosará el presupuesto del producto.

- **Conclusiones.** Por último, se detallarán las conclusiones extraídas del proyecto. En primer lugar, se expondrán las conclusiones del trabajo, que comprenden el cumplimiento de objetivos, sus resultados y viabilidad. Después, se expondrán las conclusiones académicas, que hacen referencia al aprendizaje y la relación del proyecto con las competencias impartidas en el Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del Producto. Además, se presentarán posibles líneas futuras de desarrollo y se hará una breve mención al impacto medioambiental y educativo en el contexto educativo actual.

En cuanto a la forma, el documento está ilustrado con figuras aclaratorias, imágenes explicativas y tablas que recogen los datos y resultados relevantes. Todos estos elementos se identifican según su capítulo (X) y orden de aparición (Y), de la siguiente manera: “Elemento X.Y”. La bibliografía se encuentra al final del documento, en el mismo orden en que cada fuente ha sido citada.

CAPÍTULO 2. MODELO FÍSICO

Se comienza con el diseño y desarrollo del principal proyecto del trabajo, que se corresponde con la maqueta de la unión estructural. Las uniones que se van a representar son uniones atornilladas para naves con perfiles laminados en doble T. Este tipo de uniones se encuentran frecuentemente en el sector de la construcción metálica. Su aplicación en naves industriales (como pórticos metálicos), estructuras modulares y elementos de infraestructura responde a su alta capacidad portante, facilidad de montaje en obra y buen comportamiento frente a cargas dinámicas [7]. Este tipo de uniones suelen estar compuestas por un pilar, un dintel, una placa de testa, cartelas y rigidizadores.

A lo largo de este capítulo se irá creando una metodología de diseño y se resolverán problemas previos al diseño de la maqueta del modelo como tal. Se seguirá un proceso de diseño inductivo que culminará en la aplicación de toda esta metodología en el desarrollo de un único modelo físico de madera. Aunque el proyecto de la marca es contar con un amplio catálogo de uniones estructurales montables, en este trabajo se desarrollará en profundidad una de ellas, la unión pilar-dintel atornillada en pórtico recto con rigidizadores y cartela. Se tomará su diseño como base para el desarrollo de otros modelos en un futuro (en pórtico inclinado, por ejemplo).

2.1 PLANTEAMIENTO

A la hora de plantear el proyecto se presentan varias cuestiones iniciales a resolver, relacionadas con la correspondencia entre la realidad y los modelos a realizar.

2.1.1 Perfiles IPE

A la hora de elegir los perfiles para las uniones se han tenido en cuenta los perfiles más comunes en la construcción de naves industriales. Los pilares corresponderán a un perfil IPE 180 y los dinteles a un perfil IPE 160 (Figura 2.1) [7]. Es común que el pilar y el dintel tengan perfiles distintos. El hecho de que el perfil del dintel sea de menor dimensión que el del pilar se debe principalmente a que el pilar es el que recoge las cargas del dintel y las transmite al suelo. Además, el pilar trabaja tanto a flexión como a compresión, por lo que necesita una alta resistencia al pandeo. Es por ello que el pilar suele ser más robusto que el dintel, que solo trabaja a flexión en tramos definidos.

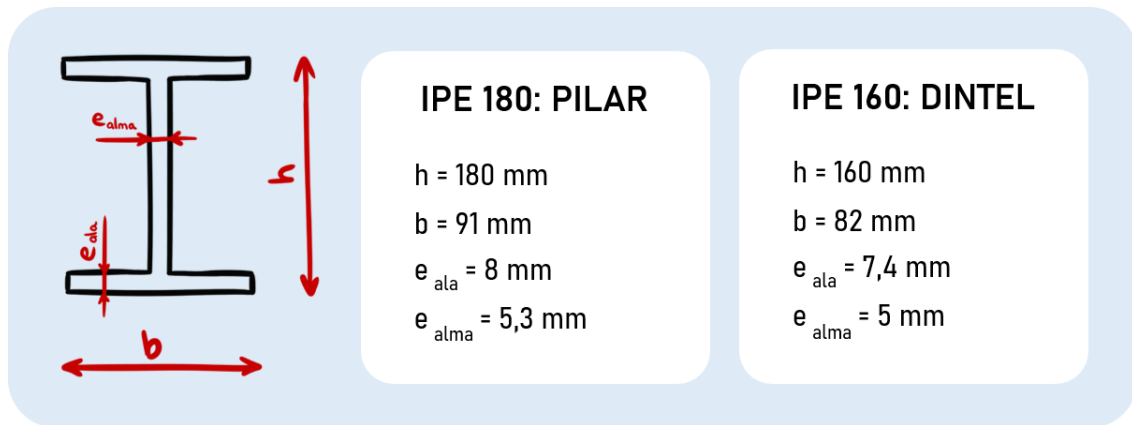


Figura 2.1. Dimensiones de los perfiles IPE 180 e IPE 160.

2.1.2 Escalado

El escalado al que se han sometido las dimensiones de estos perfiles ha sido determinado a partir de los espesores del alma y del ala. Estas dimensiones se corresponden en la realidad con el grosor de la madera, y son el valor más restrictivo a la hora de realizar los modelos físicos. Las dimensiones de las piezas serán seccionadas mediante corte láser, pero el grosor de las planchas de madera limita más el modelo, pues no se encuentran planchas de cualquier grosor en el mercado. Es por ello que se ha decidido tomar planchas de 2 mm para las almas y 3 mm para las alas, pues con estos grosores el tamaño total de la maqueta es el más adecuado.

Al ser el objetivo del proyecto la comprensión visual de la estructura representada y no la réplica exacta de la realidad, no se aplicará el mismo escalado a pilar y dintel, sino que se aplicará en cada caso el necesario para que las alas tengan proporcionalmente 3 mm de espesor y las almas 2 mm (Figura 2.2). Esta decisión está justificada apelando a lo prioritario que es la fabricación más económica posible de este producto. El coste de la producción de la maqueta se verá beneficiado de usar únicamente planchas de 2 y 3 mm de grosor, frente a los 4 grosores distintos que resultarían de aplicar un único escalado a ambos perfiles IPE.

Aplicando dos escalados con el espesor del alma como restricción, las dimensiones se han transformado de la siguiente manera para el pilar IPE 180:

$$h = \frac{180 * 2}{5,3} = 67,93 \text{ mm} \quad b = \frac{91 * 2}{5,3} = 34,34 \text{ mm} \quad e_{ala} = \frac{8 * 2}{5,3} = 3 \text{ mm}$$

Las dimensiones se han transformado de la siguiente manera para el dintel IPE 160:

$$h = \frac{160 * 2}{5} = 64 \text{ mm}$$

$$b = \frac{82 * 2}{5} = 32,8 \text{ mm}$$

$$e_{ala} = \frac{7,4 * 2}{5} = 3 \text{ mm}$$

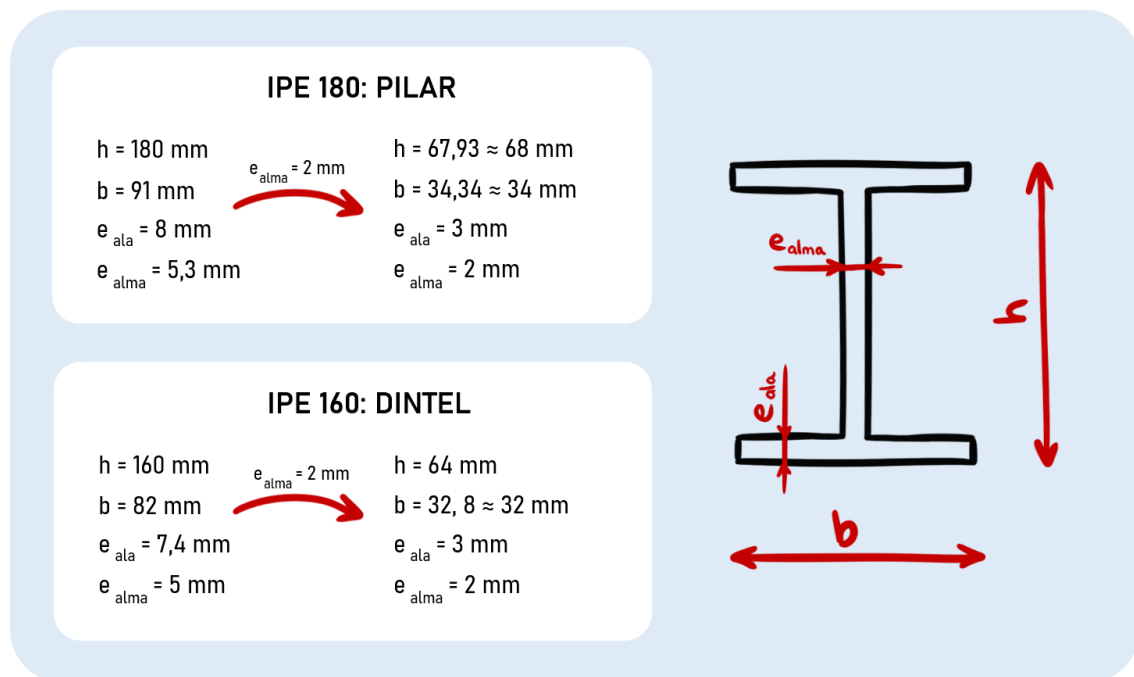


Figura 2.2. Transformaciones de escala para el modelo físico.

2.1.3 Correspondencia realidad-modelo

Elegidos los perfiles y la escala aplicada es hora de hablar de la correspondencia entre la realidad y el modelo en ciertos aspectos. Los medios de unión pilar-dintel más comunes son los tornillos (en uniones atornilladas) y la soldadura (en uniones soldadas), además de la presencia de rigidizadores.

Los tornillos se utilizan por su facilidad de montaje y desmontaje y a menudo se utilizan placas de testa en un extremo del perfil para facilitar su unión atornillada a otro de manera segura y eficiente. En las maquetas a realizar se utilizarán tornillos M2.5 de 16 mm de longitud. De manera similar al caso del escalado del pilar y del dintel, a estos tornillos no se les aplica un escalado real respecto de sus dimensiones en este tipo de estructuras, porque hacer esto resultaría en tornillos de un tamaño ridículamente pequeño. Debido a que el objetivo del modelo es representar visualmente la unión y permitir al usuario su ensamblado, se han seleccionado los tornillos del tamaño más adecuado para su manipulación.

Las alas y el alma de la viga a menudo son soldadas, lo cual proporciona rigidez y facilita la transmisión de cargas. En el modelo físico, los cordones de soldadura serán

representados mediante un sistema de encajes típico de las maquetas de madera comerciales. A partir de una búsqueda de encajes con un apriete considerable, que será desarrollado más adelante, se conseguirá una unión de láminas de madera lo suficientemente rígida como para simular de manera adecuada el efecto de una soldadura. Adicionalmente se realizarán unos grabados y cortes que representen los cordones de soldadura en elementos concretos del ensamblaje.

Por último, además de las vigas, se construirán rigidizadores y cartelas que encajarán de un modo similar para completar las uniones estructurales.

2.2 MATERIAL

Uno de los factores más determinantes del proyecto es el material utilizado para los modelos físicos. Se han realizado previamente proyectos con fines similares utilizando goma EVA [6], como se mencionó en el capítulo anterior. Aunque este material representa de manera muy evidente el comportamiento del acero frente a esfuerzos debido a su bajo módulo elástico, se trata de un medio bastante débil, y en el que no se aprecia la rigidez con la que cuentan las estructuras y uniones de acero en la realidad. La goma EVA es fácil de conseguir, se comercializa en diversos tipos (colores, grosores, acabados superficiales...) y es muy segura en su uso y manejo. Sin embargo, la propuesta de este proyecto es utilizar como material la madera. Existe una gran cultura de maquetas de madera, que hace que a través de un material tan versátil como este, se puedan representar numerosos elementos y estructuras, desde sistemas mecánicos hasta objetos ornamentales. La madera es un material también muy diverso, comercializándose infinitos tipos, grosores y acabados. Es un material más complejo, que abre la ventana a nuevas opciones de ensamblado, como los encajes. También amplía las posibilidades, mediante técnicas como el corte y grabado láser, a diseñar productos con alta precisión. Gracias a los avances tecnológicos en este sector se pueden construir estructuras de madera de manera sencilla, segura e intuitiva. Así, las maquetas realizadas contarán con mayor integridad y rigidez (conservándose mejor en el tiempo), y con un acabado más profesional y uniforme.



Figura 2.3. Láminas de madera de tilo para maquetas.

Para la realización de los modelos físicos, se ha utilizado madera de tilo. La madera de tilo (Figura 2.3) proviene del árbol del género *Tilia* y es muy valorada en los ámbitos del

diseño, la escultura y el tallado [8]. Las claves que hacen que esta madera sea la idónea en este proyecto son las siguientes:

- Tiene un color claro, entre el blanco y el amarillo, que puede llegar a oscurecer un poco cuando se seca. Cuenta con una tonalidad uniforme, perfecta para un modelo creado a partir del ensamblado de varias piezas. Además, su color claro favorece el tratamiento y pigmentación con ceras o barnices.
- La madera de tilo tiene una textura de fibra recta y un grano fino, lo que la hace ideal para el tallado siendo homogénea y suave al tacto.
- Además de sus ideales propiedades técnicas, destaca por su buen comportamiento ambiental. Se trata de un material renovable y biodegradable, de manera que su uso contribuye a reducir la dependencia de plásticos. Además, la madera de tilo puede ser reutilizada o reciclada tras su uso. A diferencia de otros contrachapados, este tipo de madera no contiene adhesivos industriales con formaldehídos o sustancia nocivas, lo que lo convierte en un material seguro para su manipulación educativa.
- En resumen, es fácil de trabajar y admite cortes y grabados precisos mediante láser. Su color y textura la hacen idónea para este proyecto a nivel estético y didáctico y su relación con el medioambiente supone un compromiso con la sostenibilidad.

La madera que se usará en el proyecto será de dos grosores distintos: 2 y 3 mm. Estas planchas representarán acero estructural S275. Una vez claro el material que servirá de base para los modelos, es hora de hablar de cómo se va a tratar, y para ello es imprescindible profundizar en la técnica del corte y grabado láser.

2.3 CORTE Y GRABADO LÁSER

Una de las bases del proyecto es el trabajo sobre la madera mediante las técnicas de corte y grabado láser, pues constituyen un pilar en el desarrollo de maquetas de madera. Ambas técnicas utilizan un haz de luz láser a alta temperatura para modificar distintos materiales con precisión. Es importante conocer la diferencia entre el corte y el grabado láser. El corte láser es el proceso por el cual el haz de luz láser separa completamente una pieza del material “vaporizando” la superficie con gran precisión. Mientras que el corte atraviesa el material, el grabado elimina solamente una parte superficial, creando una cavidad apreciable al tacto [9]. En ambas técnicas mayoritariamente es usado láser CO₂, que es el más adecuado para tratar materiales orgánicos, como el que conviene en este caso (madera de tilo).

Para el trabajo sobre la madera se ha utilizado la máquina **Creality Falcon 2** (Figura 2.4). Esta máquina de corte y grabado láser de alta gama cuenta con una gran precisión y una potencia láser de 40 W. Tiene un área de trabajo de 400 x 415 mm y una velocidad de grabado de 25.000 mm/min [10]. Cuenta con un triple monitoreo, un sistema de ventilación y numerosas funciones que garantizan la seguridad del usuario al trabajar con ella. Para más información consultar el Anexo de Especificaciones de Creality Falcon 2 [11].



Figura 2.4. Máquina de corte y grabado láser Creality Falcon 2 [10].

Es compatible con el *software* LightBurn, un intuitivo programa para la configuración del corte y grabado láser (Figura 2.5). Permite el diseño del trazado o la importación de un trazado diseñado en un *software* distinto. Puesto que los trazados se han realizado de manera paramétrica en el *software* de modelado Catia v5, se han importado en LightBurn en formato “dxf”. Entre los parámetros más representativos se encuentran los siguientes [12]:

- **Potencia (*POWER*):** determina la cantidad de energía (potencia láser) que se aplica al material durante el corte o grabado. Es uno de los parámetros más determinantes para controlar la profundidad y el acabado. Se expresa como el porcentaje (%) de la potencia máxima del láser (en este caso 40 W). Si la potencia es poca resultará en un grabado suave y superficial, mientras que si aumenta resultará en el corte completo del material.

- **Velocidad (*SPEED*):** velocidad a la que se mueve el cabezal láser al realizar el corte o grabado. Se mide en mm/m e influye directamente en la profundidad, la nitidez del grabado y su oscurecimiento o quemado. Si la velocidad es baja se someterá al material a más energía en cada punto, pudiendo llegar a sobrecalentar o quemar la superficie. Según aumenta la velocidad, se somete a menos energía a cada punto resultando en grabados más claros.

- **INTERVAL:** se trata de la distancia entre las líneas del barrido del láser durante el grabado. Se mide en mm y es fundamental a la hora de trabajar grabando imágenes, textos o rellenos de áreas. Un *Interval* pequeño resulta en un grabado de gran resolución y detalle, pero es lento y puede llegar a quemar demasiado. Al aumentar su valor, las líneas se van separando, se pierde resolución y se realiza más rápido.

- **PASS COUNT:** determina cuántas veces el láser repetirá el mismo trazado sobre el mismo lugar (número de pasadas). Su valor predeterminado es 1 y solo aumentará si se desea aumentar la profundidad del trazado sin aumentar la potencia para evitar quemar el material. A lo largo de este proyecto nunca será distinto a 1.

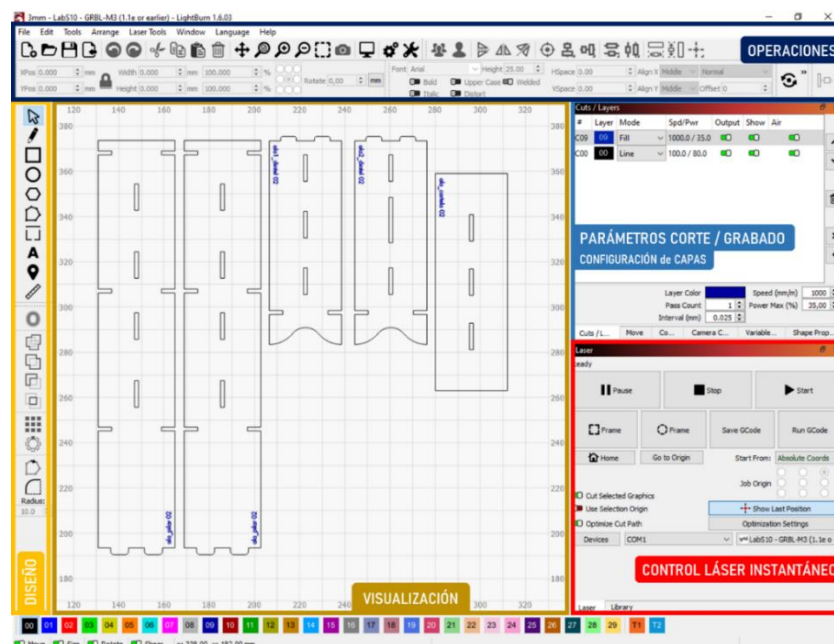


Figura 2.5. Ventana de navegación del software LightBurn.

Estos parámetros determinan la configuración de una capa, pero en función el modo de capa que se elija, el láser actuará de una manera u otra sobre los objetos de la capa. A continuación, se resumen los principales modos de capa [12]:

- **LINE:** el láser sigue el contorno de un objeto. Es ideal para cortar o dibujar finas líneas.
- **FILL:** el láser rellena el interior de un objeto usando un patrón de escaneado. Se usa para el grabado de texto o iconos.
- **FILL + LINE:** combina ambos modos, primero rellena el objeto (FILL) y luego trazando el contorno (LINE).
- **IMAGE:** se trata de un modo especializado para imágenes de mapas de bits (JPG, PNG). Traduce los tonos de gris o color a potencia láser variable para grabar de la manera más realista posible la imagen sobre la superficie.
- **OFFSET FILL:** se trata de un modo similar al FILL cuyo patrón no es lineal, sino que crea líneas concéntricas o paralelas al contorno de la forma en vez de usar un patrón de líneas definido. Es más rápido pero menos uniforme, generando más calor y pudiendo dar lugar a zonas excesivamente quemadas.

Para la realización del proyecto se ha hecho una experimentación con estos parámetros y maderas de distintos grosores, con el fin de establecer una guía orientativa que poder consultar al realizar los modelos físicos. Este estudio deja reflejada la relación de los parámetros y sus resultados en el material en función del efecto deseado. No se establecerá la misma configuración si se pretende cortar o grabar sobre la madera, ni tampoco en caso de que esta varíe de grosor o tipo. Además, puesto que el objetivo del proyecto es un producto de maqueta comercial, se han hecho pruebas para no cortar la pieza, sino dejarla en un estado apto para su fácil troquelado. Así, se presenta la siguiente tabla-guía de los parámetros más influyentes en la madera tratada (Tabla 2.1).

Grosor	Función	Tipo	Speed [mm/m]	Power Max [%]	Pass Count	Interval [mm]
2 mm	Corte	[LINE]	150	60	1	
	Grabado	[FILL]	1000	35	1	0,05
	Troquelado	[LINE]	150	42,25	1	
3 mm	Corte	[LINE]	100	80	1	
	Grabado	[FILL]	1000	40	1	0,05
	Troquelado	[LINE]	100	68	1	

Tabla 2.1. Guía de parámetros básicos de LightBurn.

Es importante tener en cuenta un parámetro más, muy determinante en el acabado final: la distancia del cabezal del láser a la madera. Esta distancia se regula manualmente gracias a un pequeño útil que viene con la cortadora láser (Figura 2.6). Depende del grosor de la madera, y por tanto es distinta en las operaciones con madera de 2 mm y 3 mm.



Figura 2.6 Útil para regular la distancia del cabezal del láser a la madera.

Más adelante se expondrán todas las capas necesarias para la preparación de cada lámina de madera de la maqueta en LightBurn y su orden de ejecución. Este orden es importante para que no se realice ningún grabado sobre una pieza que, por ejemplo, ya esté casi troquelada. Cabe destacar que el *software* está tan especializado que, dentro de una misma capa, es capaz realizar las operaciones en un orden de interior a exterior. Esto significa que, si se quiere cortar una pieza que a su vez tiene un agujero en su interior, el programa cortará primero el agujero y después la pieza, pues a la inversa el resultado no sería el deseado. En la Figura 2.7 se observa la máquina trabajando sobre la madera.



Figura 2.7. Crea-LightBurn 2 grabando y cortando una lámina de madera.

2.4 DESARROLLO

Una vez conocido el material y los instrumentos de trabajo que sientan las bases del proyecto, se procede al diseño de la metodología para el desarrollo de los modelos físicos. A continuación, se va a ir detallando en profundidad cómo se va a tratar la madera y se van a ir solucionando problemas de diseño para terminar con todas las herramientas necesarias para diseñar un modelo de unión estructural concreto.

2.4.1 Encajes

Es importante diseñar una metodología para los encajes de madera que representan las uniones soldadas, pues constituyen la base de la maqueta. A continuación, y de manera gráfica se exponen los tipos de encajes que se van a usar, así como la terminología con los que se hará referencia a ellos a lo largo del trabajo (Figura 2.8).

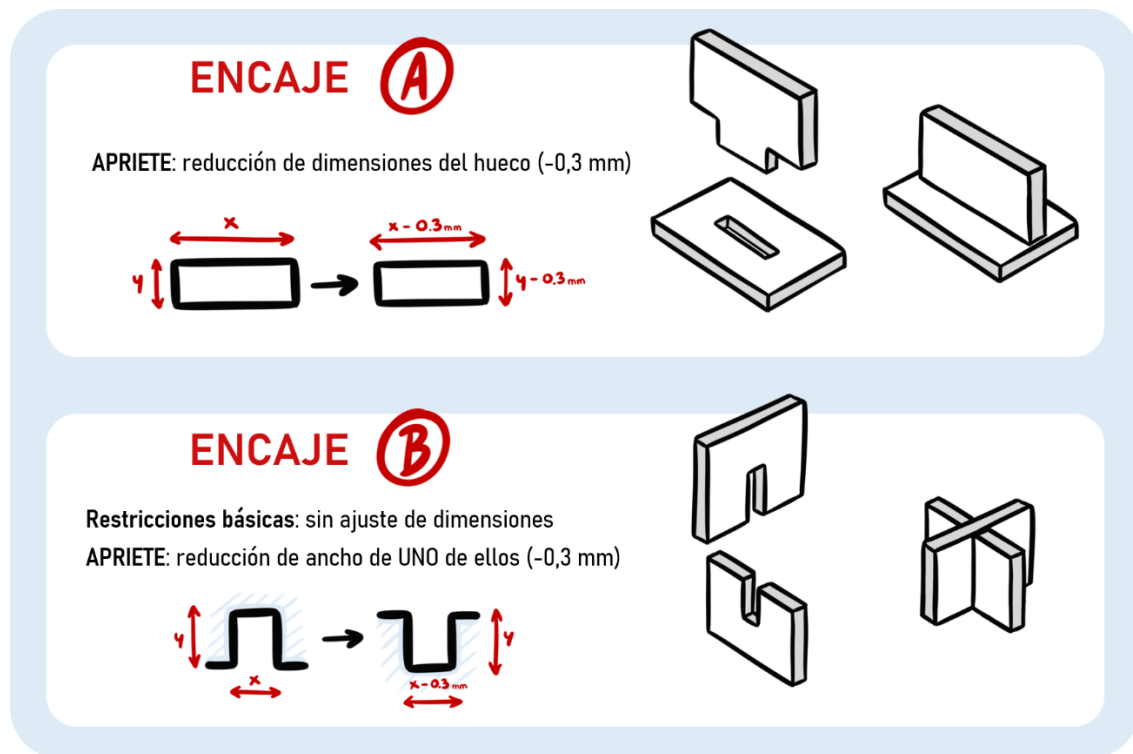


Figura 2.8. Encajes tipo A y tipo B.

Para que la unión asemeje la de una soldadura y la maqueta sea rígida, debe haber un apriete considerable. Es conveniente que resulte sencillo encajar las piezas para el usuario, pero se debe contar con el apriete suficiente como para que la unión no se desmonte fácilmente. Se han realizado múltiples pruebas para ver cómo influye el láser en las dimensiones de la superficie cortada y así obtener de manera experimental la reducción a la que someter a la madera hembra para obtener el apriete deseado. Es

importante recalcar que el láser de por sí, debido al propio grosor del haz, elimina una parte de las dimensiones al realizar el corte. Esto significa que nunca se va a trabajar exactamente con las medidas nominales, y es por esto por lo que la reducción de las dimensiones para el apriete se ha calculado de manera experimental y no teórica.

Se puede concluir que en cada tipo de encaje se realiza la reducción expuesta para que el apriete en la maqueta sea el adecuado. Además, para favorecer los encajes tipo A, las pestañas contarán con un pequeño redondeo que facilitará la entrada de una pieza en otra.

Existe un tercer tipo de encaje, que se usa en una única ocasión durante el ensamblaje de la madera, y que se denominará encaje **tipo C** (Figura 2.9). Este encaje es muy utilizado en las maquetas comerciales para unir dos piezas de manera paralela y con una cara coplanaria. Para llevarlo a cabo se cortan agujeros concéntricos en ambas piezas y se atraviesan con un eje de perfil cuadrado. El lado del eje cuadrado ha de ser igual al diámetro de los agujeros y su longitud debe ser igual a la suma de espesores de las piezas. Gracias a las fibras suaves y uniformes de la madera de tilo, cuenta con cierta maleabilidad y es posible incrustar los ejes, aunque nominalmente no quepan. Es una técnica estandarizada en las maquetas comerciales y proporciona el apriete justo para que la unión sea efectiva.

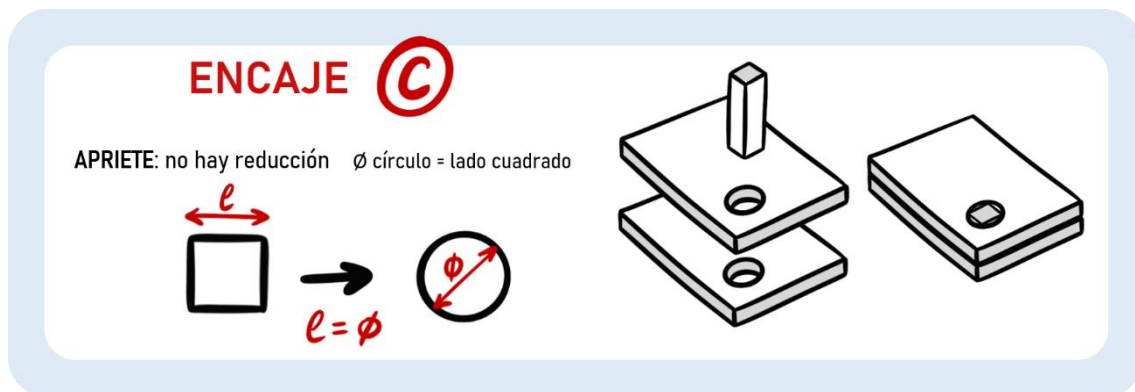


Figura 2.9. Encaje tipo C.

2.4.2 Orden de ensamblaje

Las maquetas tienen un orden de ensamblaje determinado, que viene especificado en el Manual de Montaje. Para más detalle consultar el Anexo de Manual de Montaje. Para comprender la naturaleza de este orden es necesario establecer dos conceptos: ensamblaje primitivo y ensamblaje secundario.

Se considera **ensamblaje primitivo** al que resulta del encaje de dos piezas que no se han unido previamente con ninguna otra. Para ambas piezas, es la primera vez que se unen

con otra, así que los encajes teóricos coinciden con los reales, pues los cálculos y tolerancias no son alterados.

Se considera **ensamblaje secundario** al que resulta de un encaje en el que al menos uno de los elementos es un conjunto de piezas. Cuando se unen por primera vez dos piezas, se genera un conjunto y cuando este conjunto se vuelve a unir a otra pieza es común que este segundo encaje resulte más complicado de efectuar, pues tras la primera unión las medidas nominales relacionadas con las dimensiones del apriete no coinciden exactamente con las experimentales. Es por esto que en los huecos de un encaje tipo A para un ensamblaje secundario no se aplica la reducción explicada anteriormente (0,3 mm) e igualmente se genera apriete, pues tiene en cuenta todas las posibles imperfecciones resultantes de la unión manual anterior. A continuación en la Figura 2.10, se ilustran las diferencias entre ambos tipos de encajes.

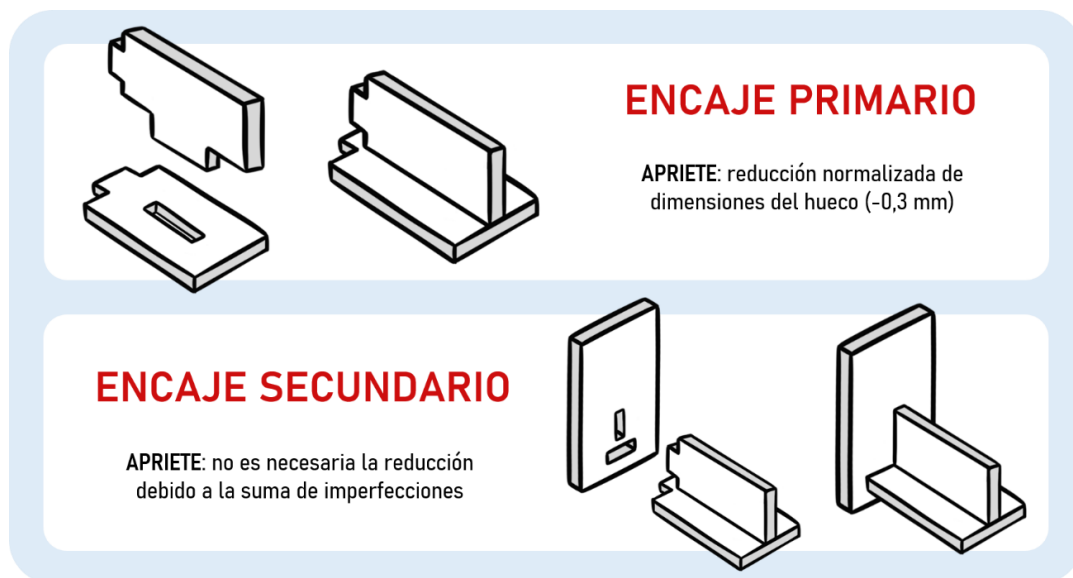


Figura 2.10. Encaje primario y encaje secundario.

A continuación en la Figura 2.11, se expone un ejemplo del resultado en la madera al forzar encajes tipo A secundarios realizando la reducción no recomendable.



Figura 2.11. Ejemplo de la reacción de la madera frente a un encaje secundario con reducciones aplicadas.

Como se puede observar, se ha tenido que aplicar una gran fuerza para que el encaje se lleve a cabo, y esto ha supuesto la fractura de la capa superficial de la madera. Aplicar tanta presión en el encaje no es recomendable porque pone en riesgo la integridad del material, dificulta su ensamblaje y genera un apriete tal que es casi imposible desensamblar la maqueta en caso necesario.

2.4.3 Cordones de soldadura

Se ha querido representar en los modelos físicos también los cordones de soldadura, para aumentar su similitud con la realidad y para profundizar en el aprendizaje del usuario. La soldadura es un método de unión permanente entre elementos estructurales metálicos basado en la fusión de los materiales. De esta manera, asegura la continuidad estructural además de generar uniones muy rígidas. En el modelo a desarrollar los encajes de la madera son su equivalente, pero estos quedan ocultos al montarse, de manera que hace falta una representación de los cordones para no perder esa información visual allí donde la soldadura juega un papel interesante. Estos cordones se han representado mediante grabados con el siguiente patrón (Figura 2.12) en ambas piezas que convergen en el cordón de soldadura.

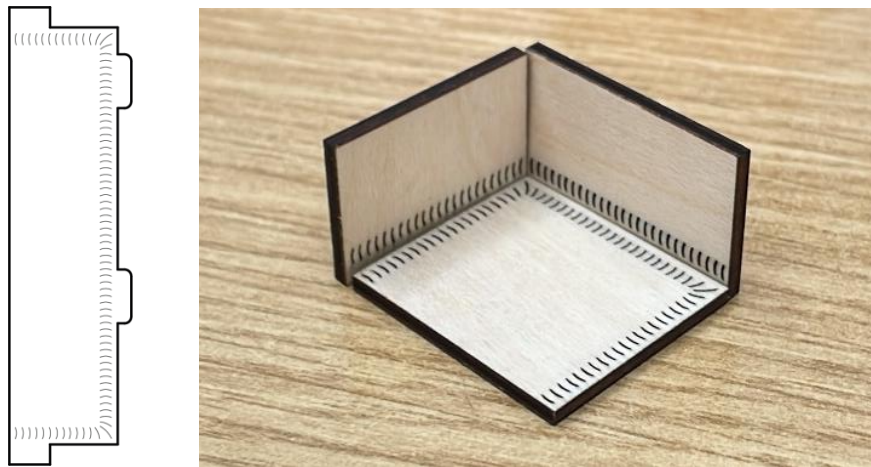


Figura 2.12. Ejemplo de marcas de soldadura sobre la madera.

A la hora de desarrollarlos, se ha dado con el siguiente problema. En ocasiones, es necesario el cordón de soldadura en una única cara de la pieza de madera, pues la marca de soldadura solo es necesaria en uno de los lados. En este caso la solución es sencilla, pues con un grabado láser sobre una de las caras el cordón queda representado. Sin embargo, hay casos en los que el cordón de soldadura se ha de representar en ambas caras de la pieza de la madera (alma de los perfiles IPE). Realizar un grabado láser en ambos lados de la madera supone una gran complicación, pues se debería dar la vuelta a la pieza de manera manual y cuadrar su posición en la máquina de corte y grabado

láser con una precisión milimétrica. Para comprender la solución a este problema, primero se debe entender la manera en la que funciona la máquina al cortar y grabar.

Cuando se importa una forma contorneada, en el *software* LightBurn se tiene la opción de grabar su contorno [LINE] o su relleno [FILL] y de cortar su contorno [LINE]. Cada línea del patrón que representa el cordón de soldadura es de 1,7 mm de alto, lo cual requiere de parámetros precisos en la máquina.

La única manera de realizar marcas en ambas caras de una pieza sin tener que darle la vuelta es realizar un corte en vez de un grabado. En el caso de los grabados sobre una cara, se graba el relleno [FILL] de cada línea de la soldadura. Sin embargo, para realizar un corte con esa forma, cortar su contorno (al tratar dimensiones tan pequeñas) no es una buena idea. Al cortar por dos zonas tan próximas entre sí para marcar el contorno [LINE], la pieza se podría quemar o perder precisión. Para solucionar esto, se convierte cada línea del cordón de soldadura en un único trazado abierto de manera que se corta [LINE] una única línea, y el láser solo pasa una vez por cada marca de soldadura. El grosor de cada línea es igual de pequeño que el grosor del propio láser y se obtiene un corte de gran precisión y limpieza.

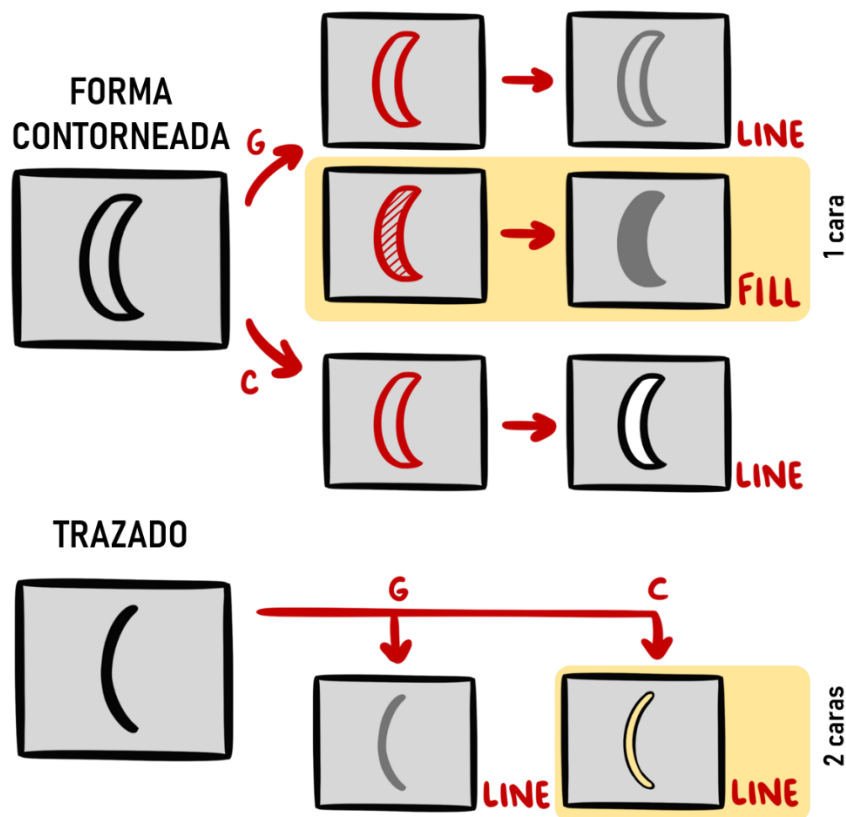


Figura 2.13. Ilustración explicativa de la diferencia de resultados entre contorno y trazado con diferentes tipos de capa. G corresponde con “grabado” y C con “corte”.

Por lo tanto, los cordones de soldadura se configuran de dos maneras distintas (Figura 2.13):

- En las piezas que solo tienen la soldadura en una cara, mediante un grabado [OFFSET FILL] del relleno de cada forma.
- En las piezas que tienen la soldadura en ambas caras, mediante un corte [LINE] de un único trazado por cada línea.

Para grabar las marcas de soldadura en una única cara se usará OFFSET FILL en vez de FILL para optimizar el tiempo de grabado. Se trata de una forma que es propicia para utilizar OFFSET FILL de manera que se grabará a mucha más velocidad. Teniendo en cuenta el gran número de líneas a grabar, utilizar este modo de capa marcará la diferencia en la velocidad de la impresión de cada pieza.

2.4.4 Etiquetado de piezas

El etiquetado de las piezas es una de las partes más determinantes en el ensamblaje de una maqueta de madera. Su función es la identificación de cada una de las piezas, y es la denominación que se utilizará en el manual de instrucciones para guiar el montaje al usuario. En este modelo físico, por el hecho de tener fines educativos, se distinguen dos etiquetados distintos.

- El **funcional**, que corresponde con la denominación de todas las piezas mediante un código de letra y número. A este etiquetado se hará referencia en el manual de instrucciones y en las planchas de madera de las que se troquelan las piezas. Esta denominación está formada por una letra, que hace referencia al componente al que pertenece la pieza, y por un número, que la identifica particularmente. Como un ejemplo, la pieza D2, hace referencia a la pieza número 2 del componente dintel. Si en la maqueta hay cuatro piezas iguales, las cuatro tendrán la misma denominación. Este etiquetado estará grabado en la plancha de madera al lado de cada una de las piezas. En caso de posible confusión, existirá una pequeña línea que señale a la pieza referida.

- El **didáctico**, que está ligado a la función del producto como soporte educativo. Este etiquetado no se da en todas las piezas, sino en las más relevantes a nivel formativo. Aunque se profundizará más adelante, el manual de instrucciones convierte el proceso de ensamblado en un aprendizaje mediante información relativa a la unión estructural que se está montando y estudiando. Sin embargo, para que el producto final suponga también un recurso de aprendizaje visual, se deben etiquetar ciertas piezas con una denominación clara y completa que permita al usuario identificar los componentes de la estructura. Así, no solo aprenderá el usuario que ensamble la maqueta, sino también

el que la encuentre montada. Un ejemplo de este etiquetado es el grabado de “placa de testa” sobre la pieza de la placa de testa. A continuación en la Figura 2.14 se ilustra un ejemplo de cada tipo de etiquetado.

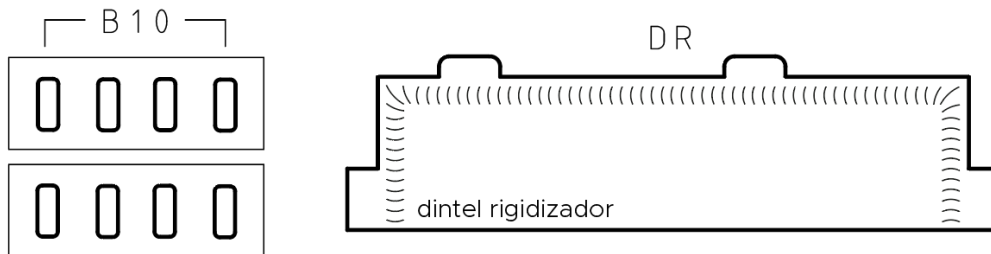


Figura 2.14. Ejemplo de pieza con etiquetado funcional (izquierda) y didáctico (derecha).

2.4.5 Metodología de diseño

Con cada pieza individual del conjunto se llevará a cabo un procedimiento de diseño siempre igual (Tabla 2.2) para uniformizar los archivos intermedios y resultado en cada caso.

1. Tras diseñar la pieza y establecer sus dimensiones, se modelará en el *software* Catia v5 utilizando el módulo de trabajo *Part Design*. Se modelarán dos versiones de la pieza. En una se usarán las medidas nominales, es decir, no se aplicará la reducción del encaje en la madera hembra. Si, por ejemplo, un saliente es de 10 x 2 mm, su agujero será de las mismas dimensiones. Esta versión se utilizará para poder realizar un ensamblaje “perfecto” del que poder obtener renders y planos con dimensiones teóricas del conjunto. En otra versión sí se aplicarán las reducciones de los encajes, y esta será la que se use en el corte y grabado láser para el modelo físico. Así, se obtienen 4 archivos resultado, un “stl” y un trazado “dxf” por cada versión.
2. El CATPart obtenido con las medidas nominales se importará en un ensamblaje en el módulo *Assembly Design* de Catia v5 y se aplicarán las debidas restricciones con respecto del resto de piezas. El “dxf” de la versión de la pieza con la reducción de los encajes se importará en Adobe Illustrator para obtener y trabajar sobre el trazado.
3. En Adobe Illustrator se añadirán las etiquetas identificativas de cada pieza como elementos de contorno para que puedan ser interpretados por la máquina de corte láser. También se añadirán las marcas que se quieran grabar (marcas de soldadura, elementos decorativos...) y se exportará de nuevo en “dxf”.
4. Se importará en LightBurn el “dxf” final del elemento y se configurarán las capas requeridas para su correcto corte y grabado en función del grosor de la madera.

METODOLOGÍA de DISEÑO				
	Desarrollo	Software	Archivos resultado	Extensión
PASO 1	Diseñar la pieza y establecer sus dimensiones	Catia v5 [Part Design]	Pieza con medidas nominales	.CatPart / .stl
				.dxf
			Pieza con medidas reducidas	.CatPart / .stl
				.dxf
PASO 2	Importar la pieza con medidas nominales en un ensamblaje y restringir respecto a las demás	Catia v5 [Assembly Design]	Ensamblaje total	.CatProduct
	Importar el dxf en Illustrator	Adobe Illustrator	Trazado	.ai
PASO 3	Añadir etiquetas y marcas de grabado como elementos con contorno	Adobe Illustrator	Trazado	.dxf
PASO 4	Importar el dxf en Lightburn y configurar las capas	Lightburn	Instrucciones de corte/grabado láser	.lbrn2

Tabla 2.2. Metodología de diseño aplicada en el diseño de piezas.

2.5 UNIÓN ATORNILLADA PILAR-DINTEL SIN RIGIDIZADORES

Como ya se ha comentado, habiendo desarrollado una metodología completa que resuelve todos los posibles problemas en el diseño de este tipo de maquetas, este capítulo culmina en el desarrollo de la maqueta de una unión atornillada de un pilar y un dintel empotrado mediante una chapa frontal (en el extremo del pilar). Esta unión es una de las más básicas y por eso sirve como base perfecta sobre la que construir un inventario de uniones consideradas dentro del catálogo del producto. Se trata de un elemento estructural básico pero esencial en estructuras metálicas de tipo pórtico. Su diseño permite la transmisión de esfuerzos entre sus elementos, aportando rigidez y seguridad al sistema estructural [7]. Se suele encontrar una solución de este tipo en naves industriales, pabellones y pasarelas (Figura 2.15).



Figura 2.15. Unión atornillada pilar-dintel en la realidad.

A continuación, se expone un listado resumido de los componentes que constituyen el modelo. La maqueta de la unión está compuesta por un pilar, un dintel, una placa de testa, una unión atornillada y una base.

PILAR

En esta unión, el pilar no solo actúa como soporte vertical, sino que es un elemento clave en la transmisión de cargas hacia el terreno, en la rigidez del nudo estructural y en la estabilidad global de la estructura (Figura 2.16). Además, es el encargado de resistir los momentos flectores inducidos por la carga sobre el dintel. Su geometría y su conexión con el dintel hacen que esta pieza estructural sea determinante en el comportamiento seguro y eficiente de la estructura de la que forma parte [13].

Como ya se ha mencionado anteriormente, el pilar es un perfil IPE 180 con forma de doble T compuesto por dos alas y un alma, encajados entre ellos mediante encajes tipo A. El pilar se sostiene vertical mediante 4 encajes tipo B que lo mantienen unido a la base. Además, el modelo está preparado para ser reforzado con rigidizadores. Es por esto que el alma y las alas del pilar están preparadas para albergar 6 rigidizadores en 3 alturas que se incorporarán mediante 2 encajes tipo A (en el alma) y dos encajes tipo B (uno en cada ala). Una de las alas cuenta con 8 agujeros de 3,5 mm de diámetro para su unión a la placa de testa y por ende al dintel.



Figura 2.16. Comparativa entre pilar real (izquierda) y modelo física (derecha).

PLACA de TESTA

La placa de testa se trata de una pieza clave que facilita la unión atornillada del pilar con el dintel, pues permite conectar perfiles estructurales de forma precisa, desmontable y resistente (Figura 2.17). Además, actúa como superficie intermedia de transmisión de cargas entre pilar y dintel, soportando esfuerzos de distinto tipo y evitando deformaciones no deseadas en los extremos del perfil [13].

Esta pieza tiene 8 huecos que habilitan encajes tipo A para que el dintel se pueda unir a la placa de testa y se pueda añadir una cartela en su versión con rigidizadores. Además, tiene 8 agujeros de 3,5 mm de diámetro para que pasen los tornillos que la unen al pilar.



Figura 2.17. Comparativa entre placa de testa real (izquierda) y modelo físico (derecha).

DINTEL

El dintel es una viga horizontal que conecta los pilares en la parte superior de un pórtico, formando el tramo horizontal de la estructura (Figura 2.18). Su función es recoger las cargas verticales provenientes del peso propio de la estructura y cargas variables como nieve o viento. El dintel es el responsable de aportar la rigidez transversal al pórtico [13].

El dintel es un perfil IPE 160 con forma de doble T compuesto por dos alas y un alma, encajados entre ellos mediante encajes tipo A. Además, el modelo está preparado para ser reforzado con rigidizadores. Es por esto que el alma y las alas del pilar están preparadas para albergar 2 rigidizadores que se incorporarán mediante 2 encajes tipo A (en el alma) y dos encajes tipo B (uno en cada ala).

Como el modelo pretende representar el detalle de la unión pilar-dintel, no es relevante la longitud del dintel. Por ello, el dintel termina en un corte ondulado haciendo referencia a la interrupción de longitud que se usa en los planos industriales para expresar que una pieza es muy larga y no se puede representar a escala completa. Esta representación está regulada en la norma UNE-EN ISO 5457 en España.



Figura 2.18. Comparativa entre dintel real (izquierda) [14] y modelo físico (derecha).

UNIÓN ATORNILLADA

La unión atornillada se ha realizado mediante 8 tornillos de métrica M2.5 y longitud 16 mm. El tornillo atraviesa la placa de testa y el ala interna del pilar de manera que quedan unidos pilar y dintel (el dintel está unido a la placa de testa mediante encajes tipo A). En el modelo físico realizado en la realidad los tornillos son de 20 mm de longitud, pero el teórico es de 16 mm. Además, cada tornillo está acompañado de dos arandelas planas y una tuerca hexagonal M2.5.

BASE

El objetivo de la maqueta es representar la unión, y con los elementos ya expuestos el objetivo está cumplido. Sin embargo, es necesaria también una base (Figura 2.19) que cumple las siguientes funciones:

- Servir como soporte para mantener la maqueta estable y en equilibrio.
- Facilitar el manejo y transporte del modelo de una superficie a otra.
- Albergar información acerca de la unión y etiquetas haciendo referencia a la identidad de marca. Habilita una superficie sobre la que plasmar información de la maqueta como producto comercial.



Figura 2.19. Modelo físico de la base.

Con el fin de cumplir estas funciones la base consta de los siguientes elementos.

- Una placa plana sobre la que se encajan el resto de elementos, incluida la unión. En esta placa está grabado un pequeño esquema identificativo que ayuda a localizar el detalle que se está representando en una estructura más grande. En este caso se graba un esquema de un pórtico recto y se señala la unión perpendicular pilar-dintel.
- Cuatro piezas que, a modo de emparrillado, funcionan de agarre y unen la unión a la base restringiendo su posición relativa. Encajan con la base mediante encajes tipo A y con la unión y entre ellos mediante encajes tipo B.
- Cuatro piezas que sirven de embellecedor y que se encargan de ocultar el agarre de la unión a la base. Encajan con la placa plana mediante encajes tipo A y entre ellos con encajes tipo B.
- Una etiqueta con la denominación del producto. Para cada maqueta será distinta, en este caso es "Unión pilar-dintel atornillada en pórtico recto". La etiqueta está inclinada 45º gracias a dos pequeños soportes que encajan con la placa plana mediante un encaje tipo A cada uno.
- Una pequeña placa que cumple dos funciones. La primera es identificar la maqueta como producto de la marca. Esto lo cumple mediante un grabado del imagotipo. La segunda es encuadrar el gráfico explicativo del detalle de unión que está grabado en la placa plana. La unión de este detalle corporativo a la placa plana se da mediante 4 encajes tipo C.

A continuación en la Tabla 2.3, se enumeran las piezas de la unión pilar-dintel atornillada sin rigidizadores ni cartela y se recuerdan las dimensiones de los perfiles tras el escalado (Figura 2.20). Por último, en la Figura 2.21 y en la Figura 2.22 se muestra el resultado del ensamblaje del modelo completo con todos sus componentes en la realidad.

	PIEZA	Ud	GROSOR [mm]		SOLDADURA		ENCAJES			etiqueta	TIPO / ORDEN		
			2	3	grabado	corte	A	B	C		P	PRIMITIVO	SECUNDARIO
PILAR	ala 1 (externa)	1		X	X		4	8	0	P1		PRIMITIVO	SECUNDARIO
	ala 2 (interna)	1		X	X		4	8	0	P2			
	alma	1	X			X	20	2	0	P3			
DINTEL	ala 1 (superior)	1		X	X		5	2	0	D1	P	PRIMITIVO	SECUNDARIO
	ala 2 (inferior)	1		X	X		5	2	0	D2			
	alma	1	X			X	11	0	0	D3			
TESTA	placa de testa	1	X				8	0	0	T1	P	PRIMITIVO	SECUNDARIO
UNIÓN ATORNILLADA	tornillo	8								A1		PRIMITIVO	SECUNDARIO
	arandela	16								A2			
	tuerca	8								A3			
BASE	base	1		X			18	0	4	B1		PRIMITIVO	SECUNDARIO
	agarre interno corto	2	X				2	3	0	B2			
	agarre interno largo	2	X				2	4	0	B3			
	embellecedor corto	2	X				2	2	0	B4			
	embellecedor largo	2	X				2	2	0	B5			
	soporte etiqueta	2	X				1	1	0	B6			
	chapa logotipo	1	X				0	0	4	B7			
	etiqueta estandar	1	X				0	2	0	B8			
	eje encaje C chapa	4	X				0	0	1	B10			

Tabla 2.3. Listado de piezas de la unión pilar-dintel atornillada sin rigidizadores ni cartela.

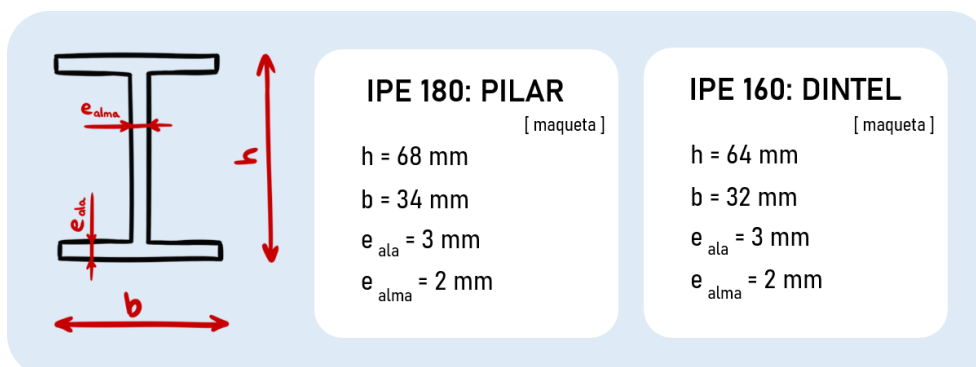


Figura 2.20. Dimensiones de los perfiles en el modelo físico escalado.



Figura 2.21. Maqueta de unión pilar-dintel atornillada sin rigidizadores ni cartela (vista frontal).



Figura 2.22. Maqueta de unión pilar-dintel atornillada sin rigidizadores ni cartela (perspectiva).

2.5.1 Variante: Unión atornillada pilar-dintel con rigidizadores

La maqueta de la unión pilar-dintel está diseñada para poder añadir rigidizadores (en pilar, en dintel y cartela). La importancia de los rigidizadores en la unión radica en asegurar la transmisión eficiente de esfuerzos y un comportamiento estructural adecuado. Se ha diseñado el modelo con la posibilidad de poner y quitar los rigidizadores para, mediante un solo modelo, poder observar las diferencias con y sin ellos, así como la rigidez que obtiene el conjunto. En el caso de poner los rigidizadores, la base cuenta con una etiqueta distinta con la que señalar la presencia de rigidizadores y cartela. A continuación, se expone un listado resumido de las piezas que se añaden al modelo.

RIGIDIZADOR en PILAR

Los rigidizadores del pilar son importantes para ayudar en la distribución de los esfuerzos verticales y evitar el pandeo del alma al recibir las cargas del dintel (Figura 2.24). Su principal función es evitar el pandeo local del alma del pilar. Los tornillos suelen transmitir grandes fuerzas localizadas desde el dintel al alma del pilar, pudiendo provocar un pandeo local o la abolladura del alma. Los rigidizadores se sueldan para reforzar la zona y evitar deformaciones, mejorando la rigidez en el plano del momento flector [13]. Encajan en el alma del pilar mediante 2 encajes tipo A y con cada ala del pilar mediante un encaje tipo B (Figura 2.23). Esta disposición de encajes hace que el rigidizador quede prieto, pero pueda ser retirado aplicando una fuerza considerable.

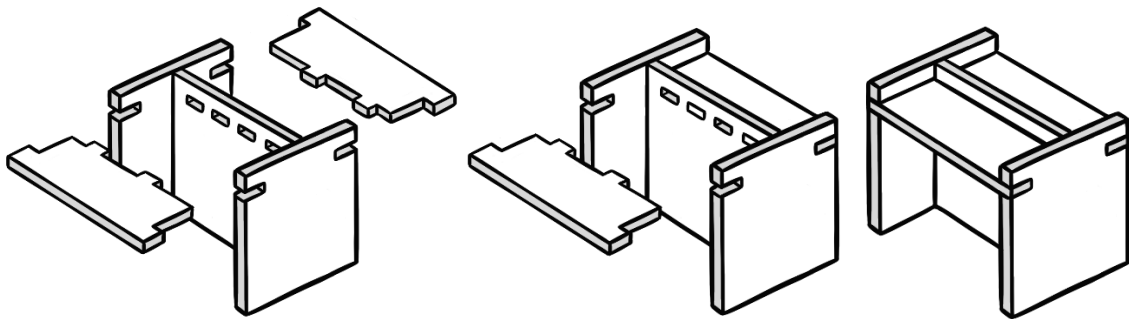


Figura 2.23. Encaje de los rigidizadores del pilar.

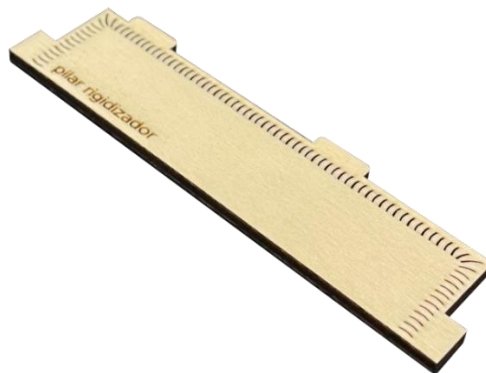


Figura 2.24. Comparativa entre rigidizador en pilar real (izquierda) [15] y en el modelo físico (derecha).

RIGIDIZADOR en DINTEL

Los rigidizadores del dintel ayudan a reforzarlo de manera que se evitan deformaciones excesivas por esfuerzo cortante, manteniendo la forma de la sección y favoreciendo su rigidez (Figura 2.26). De manera similar al pilar, el uso de rigidizadores en el dintel es

importante para evitar el pandeo local del alma del dintel bajo una carga concentrada. Su presencia asegura una transferencia eficiente del momento flector desde el dintel hasta el pilar, evitando deformaciones estructurales y mejorando el comportamiento global de la unión atornillada [13]. Encajan en el dintel de manera similar que los del pilar: mediante 2 encajes tipo A con el alma y con cada ala del pilar mediante un encaje tipo B (Figura 2.25). Esta disposición de encajes hace que el rigidizador quede prieto, pero pueda ser retirado aplicando una fuerza considerable.

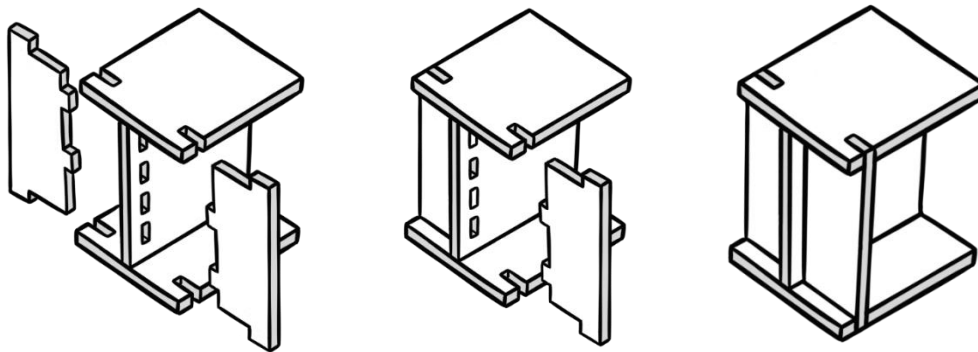


Figura 2.25. Encaje de los rigidizadores del dintel.



Figura 2.26. Comparativa entre rigidizador en el dintel real (izquierda) [15] y en el modelo físico (derecha).

CARTELA

La cartela es un refuerzo triangular entre pilar y dintel que aumenta el brazo de palanca para la transmisión de momentos, reduciendo la concentración de esfuerzos en la unión (Figura 2.28). Su principal función es aumentar la rigidez de la unión, reforzando la conexión entre ambos y reduciendo la deformación angular bajo carga. La presencia de cartela en la unión permite un mejor reparto de las tensiones, aliviando la zona de la unión atornillada al distribuir los esfuerzos. Su diseño es más complejo, pues se encaja tanto en el dintel como en la placa de testa [13]. Su unión a la placa de testa se da mediante dos encajes tipo A. Sin embargo, su unión al ala inferior del dintel es algo más

compleja, pues para que sea posible (y se posibilite también su retirada) solo se utiliza un encaje distinto a los demás al que denominaremos **encaje deslizante** (Figura 2.27).

En este encaje, el hueco del ala del dintel es de mayor longitud que el saliente del alma de la cartela. Así, inicialmente se encaja la cartela en el dintel, y posteriormente se va deslizando dentro del encaje hasta que llega a encajar en la placa de testa. Este sistema permite su retirada efectuando el mismo movimiento en reverso, pero garantiza su rigidez mediante 3 encajes correctamente apretados.

A continuación en la Tabla 2.4, se listan todas las piezas del modelo añadiendo la presencia de rigidizadores y cartela. Además la Figura 2.29, la Figura 2.30, la Figura 2.31 y la Figura 2.32 representan el modelo físico completo montado en la realidad.

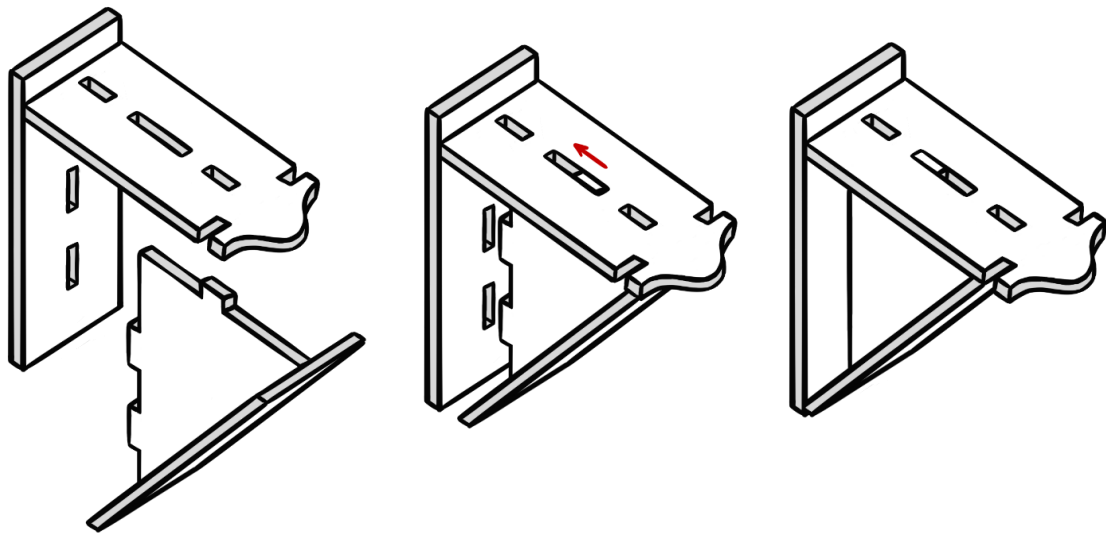


Figura 2.27. Encaje de la cartela.

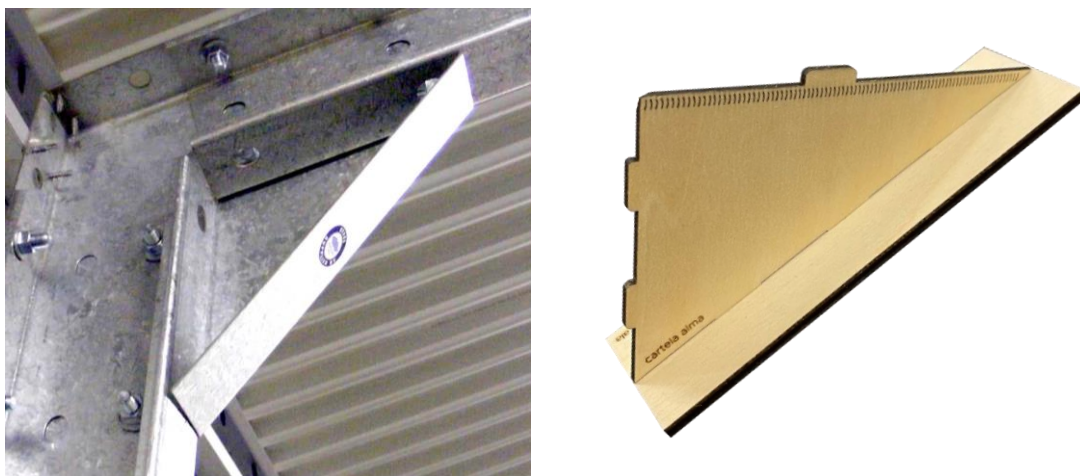


Figura 2.28. Comparativa entre cartela real (izquierda) y en el modelo físico (derecha).

	PIEZA	Ud	GROSOR [mm]		SOLDADURA		ENCAJES / pieza			etiqueta	TIPO / ORDEN			
			2	3	grabado	corte	A	B	C					
PILAR	ala 1 (externa)	1		X	X		4	8	0	P1	PRIMITIVO			
	ala 2 (interna)	1		X	X		4	8	0	P2				
	alma	1	X			X	20	2	0	P3				
	rigidizador	6	X			X	2	2	0	PR				
DINTEL	ala 1 (superior)	1		X	X		5	2	0	D1	PRIMITIVO	SECUNDARIO	SECUNDARIO	SECUNDARIO
	ala 2 (inferior)	1		X	X		5	2	0	D2				
	alma	1	X			X	11	0	0	D3				
	rigidizador	2	X			X	2	2	0	DR				
TESTA	placa de testa	1	X				8	0	0	T1	P			
UNIÓN ATORNILLADA	tornillo	8								A1				
	arandela	16								A2				
	tuerca	8								A3				
CARTELA	ala	1		X			3	0	0	C1	P			
	alma	1	X			X	6	0	0	C2				
BASE	base	1		X			18	0	4	B1	PRIMITIVO			
	agarre interno corto	2	X				2	3	0	B2				
	agarre interno largo	2	X				2	4	0	B3				
	embellecedor corto	2	X				2	2	0	B4				
	embellecedor largo	2	X				2	2	0	B5				
	soporte etiqueta	2	X				1	1	0	B6				
	chapa logotipo	1	X				0	0	4	B7				
	etiqueta estandar	1	X				0	2	0	B8				
	etiqueta variante	1	X				0	2	0	B9				
	eje encaje C chapa	4	X				0	0	1	B10				

Tabla 2.4. Listado de piezas de la unión pilar-dintel atornillada con rigidizadores y cartela.



Figura 2.29. Maqueta de unión pilar-dintel atornillada con rigidizadores y cartela (vista frontal).



Figura 2.30. Maqueta de unión pilar-dintel atornillada con rigidizadores y cartela (perspectiva).



Figura 2.31. Maqueta de unión pilar-dintel atornillada con rigidizadores y cartela (perfil).



Figura 2.32. Maqueta de unión pilar-dintel atornillada con rigidizadores y cartela (vista posterior).

Para conocer las dimensiones en profundidad de cada pieza del modelo consultar el Anexo de Planos del proyecto.

2.5.2 Análisis de Interferencia y Contacto (Clash + Contact)

Como se ha mencionado anteriormente, se ha realizado en el *software* Catia paralelamente un ensamblaje digital de la maqueta (Figura 2.33) y de cada pieza con varios fines. En primer lugar, es necesario para exportar el formato “dxf” que interpreta el *software* de corte láser. Además, ofrece la posibilidad de obtener recursos visuales, por lo que se realizarán renders e ilustraciones para el packaging y el manual de instrucciones con este modelo. Además, está en su mayor parte parametrizado, de manera que se puede manipular para cambiar dimensiones en el caso de querer modificar los perfiles IPE que forman la unión.

Otro de los motivos importantes por los que se ha realizado esta versión digital, y adicionalmente otra con las medidas nominales, es para realizar una verificación de la interferencia en el ensamblaje. Tener este ensamblaje digital en un *software* tan potente como Catia abre la puerta a la comprobación digital del buen diseño de todos los encajes. Cada pieza (CatPart) se ha añadido al ensamblaje (CatProduct) y se ha restringido su posición totalmente con respecto al resto de piezas. Una vez teniendo el

ensamblaje completo, el *software* da la opción de realizar un Análisis de Interferencia para verificar que su diseño es el correcto. El llamado “*Clash Detection*” o “*Interference Check*” analiza, en este caso, dos fenómenos: el *Clash* (choque o interferencia) y el *Contact* (contacto).

La **interferencia** (*Clash*) verifica si se detectan intersecciones físicas entre dos o más componentes del ensamblaje. Esto equivale a detectar si una pieza está invadiendo el espacio de otra, suceso que no se puede dar en un diseño correcto. Para que el análisis se desarrolle correctamente es imprescindible utilizar las medidas nominales. El **contacto** (*Contact*) comprueba que dos componentes se tocan exactamente, sin solaparse. Al ejecutar el análisis se espera que ambos concluyan que los elementos están en contacto, pero en ningún caso se dan interferencias. Es el último paso en la fase de diseño del modelo, pues comprueba que las medidas utilizadas son las correctas, paso vital y previo a la aplicación de las reducciones de dimensiones para el apriete [16].

A continuación, se exponen los resultados del Análisis de Interferencia y Contacto para el ensamblaje de la unión pilar-dintel atornillada en pórtico recto con rigidizadores.

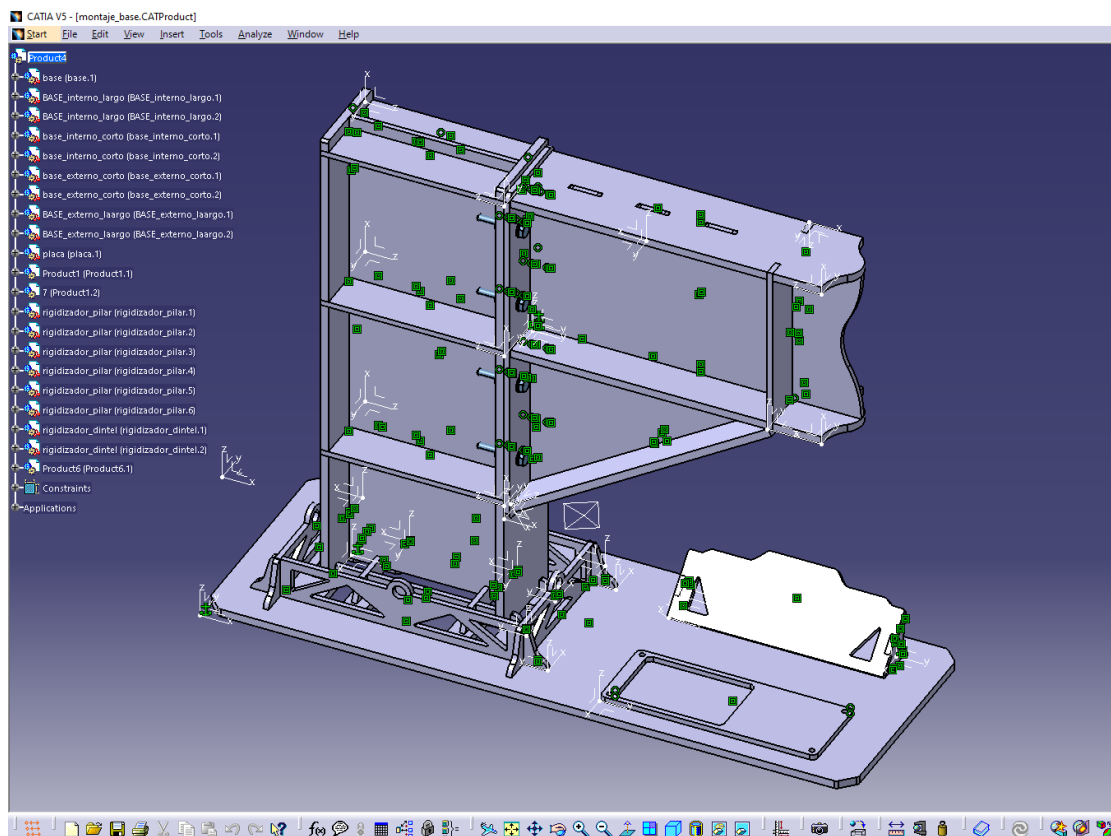


Figura 2.33. Ensamblaje del modelo en el software Catia.

Se ejecuta el análisis combinado (*Contact + Clash*) de interferencia y contacto (Figura 2.34).

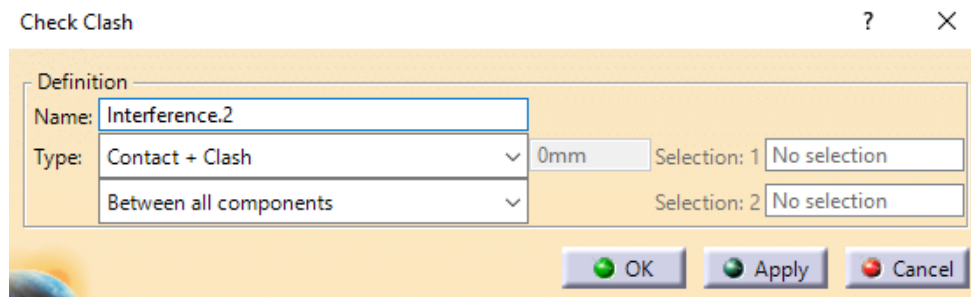


Figura 2.34. Ejecución del análisis de interferencia y contacto en Catia.

El resultado del Análisis de Interferencia (*Clash*) es de 0 interferencias detectadas en el ensamblaje (Figura 2.35). El resultado es un éxito, pues no hay ningún error en el cálculo de medidas nominales de la maqueta.

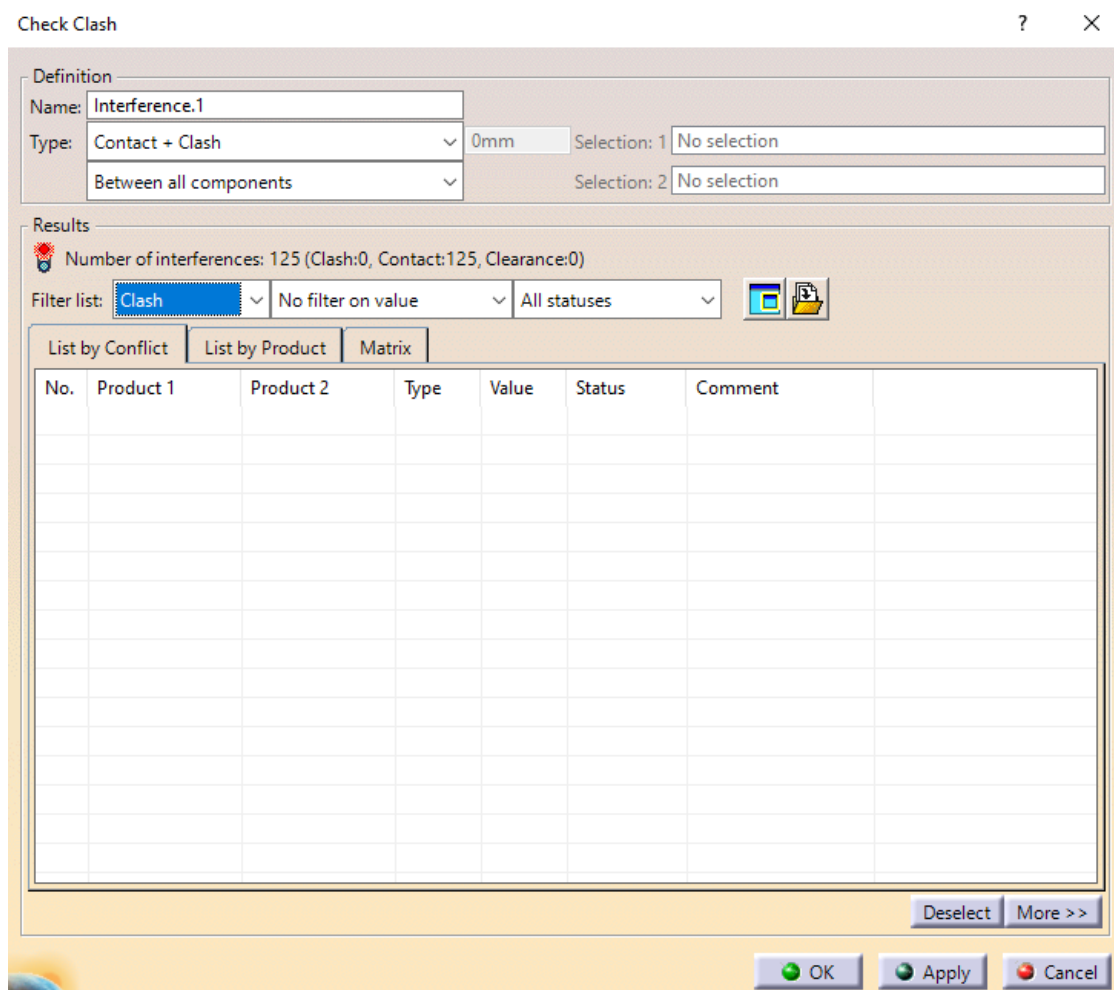


Figura 2.35. Resultados del análisis de interferencia en Catia.

El resultado del Análisis de Contacto (*Contact*) es de 125 contactos entre piezas (Figura 2.36).

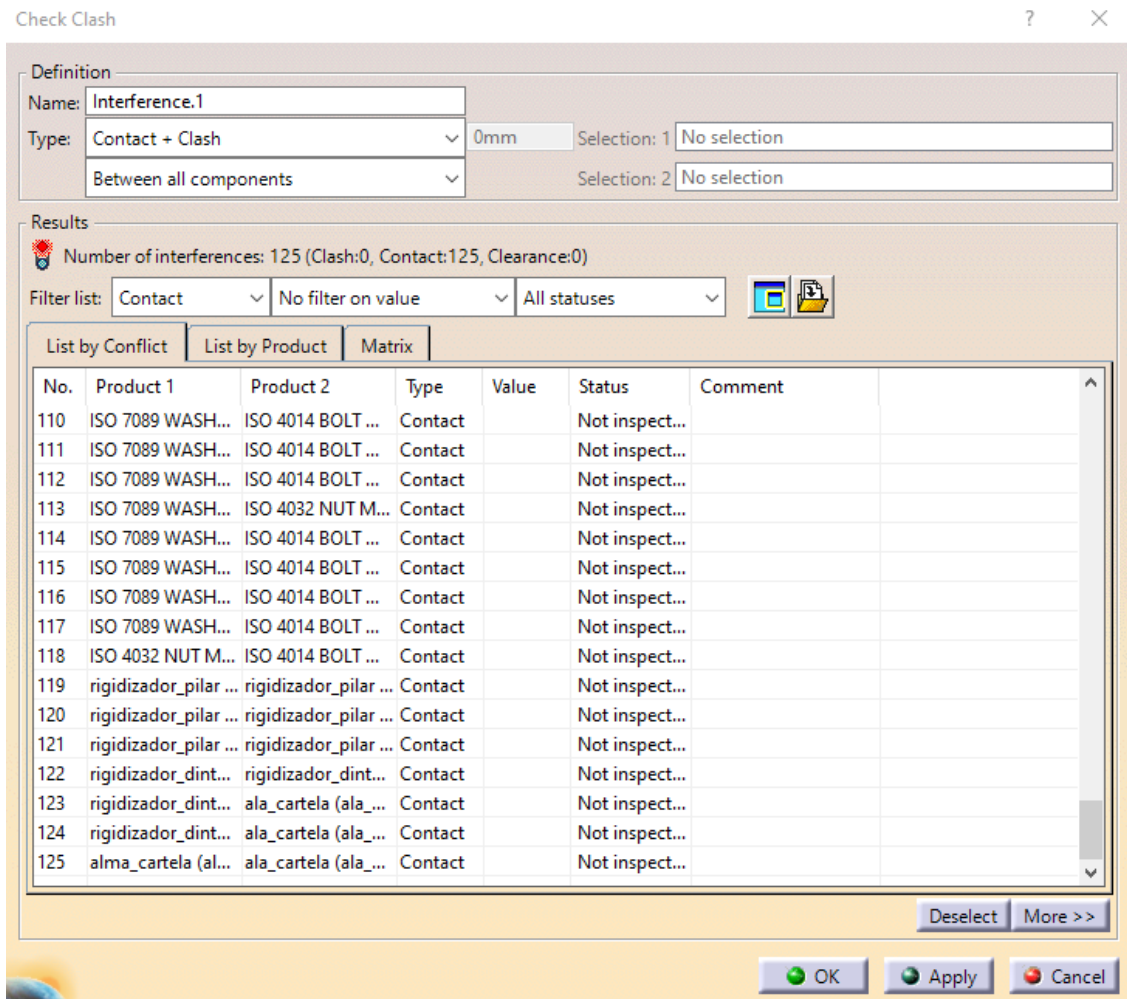


Figura 2.36. Resultados del análisis de contacto en Catia.

Cabe destacar que en este ensamblaje no se han representado los ejes cuadrados de los encajes tipo C de la base, pues debido a su naturaleza dimensional, la interferencia es necesaria para el apriete del encaje. Se ha solventado mediante la coincidencia de los ejes de los círculos de las placas que encajan.

CAPÍTULO 3. IDENTIDAD CORPORATIVA

Para que el proyecto de maquetas de madera se convierta en un producto en su totalidad, es necesario que esté englobado dentro de una marca comercial. Su diseño transformará el proyecto en un producto industrial. Aunque en este trabajo solo se desarrolla en su totalidad un modelo, esta marca comprenderá un gran número de maquetas de uniones estructurales. Precisamente el diseño de la marca comercial es lo que abre las puertas a ofrecer un recurso didáctico a gran escala. Se expondrá con mayor profundidad más adelante pero, una vez constituida una identidad corporativa, será posible aumentar el número de maquetas que comprenda, más allá del tiempo o el alcance de este trabajo.

Tratándose de un recurso didáctico, es vital la comunicación del producto con el usuario. La identidad corporativa es la principal encargada de este aspecto, haciendo que su diseño sea una parte fundamental del trabajo. Es importante que, mediante elementos como el logotipo, la tipografía o la paleta de colores, el producto genere una imagen cercana y didáctica, pero a la vez técnica y profesional. Se trata de un recurso educativo que tiene que resultar accesible y fácil de usar para el estudiante, pero manteniendo una estética cuidada y técnica, propia del campo de la ingeniería. Es vital que los valores del producto queden a la vista del consumidor para que genere en él confianza y credibilidad.

Desde un punto de vista aún más comercial, un buen diseño de marca es vital en su diferenciación en el mercado. Una imagen corporativa clara potenciará al producto y lo diferenciará de sus competidores. Incluso si el usuario no tuviera planeado obtener el producto, su imagen debe ser capaz de generar curiosidad y despertar interés para convertirlo en un posible cliente.

3.1 ESTUDIO DE MERCADO Y PÚBLICO OBJETIVO

El primer paso en el diseño de la marca comercial es realizar un estudio de mercado cuyo objetivo es tener consciencia de marcas y productos similares en el mercado actual. Se ha realizado una primera búsqueda de marcas de maquetas de madera de características similares a las del proyecto. Las principales actualmente en el mercado son UGEARS, Robotime (ROKR) y EWA (Eco-Wood-Art), cuyos logotipos se observan en la Figura 3.1.

- **UGEARS** es una empresa ucraniana fundada en 2014 que produce modelos mecánicos de bricolaje de madera en 3 dimensiones. Comprende cinco líneas de

modelos para adaptarse a todo tipo de edades, destrezas e intereses. Entre sus modelos hay en su mayoría modelos mecánicos, pero también alguno estático. Cabe destacar que tiene una identidad corporativa muy marcada y una presencia visual y en redes cuidada y profesional [17].

- **Robotime** es otra de las marcas más conocidas en el campo del ensamblaje de modelos de madera. Cuenta un gran abanico de modelos estáticos y mecánicos cuyo propósito es principalmente el entretenimiento y la decoración. Es importante destacar que cuenta con una submarca (ROKR) que tiene una gran presencia en el mercado actual. Se trata de una rama de Robotime que se enfoca en el diseño, la producción y la venta de modelos tridimensionales mecánicos que exploran la creatividad y la precisión [4].

- **Eco Wood Art** es una marca registrada bajo la empresa bielorrusa Konglomerat LLC que fabrica modelos mecánicos y juguetes hechos de materiales naturales. Sus modelos van desde maquetas de animales hasta rompecabezas tridimensionales. Es posible que su enfoque sea un poco más infantil, pero cuentan con algún modelo de alta complejidad y su estilo de ensamblaje es similar al de las marcas anteriores [18].

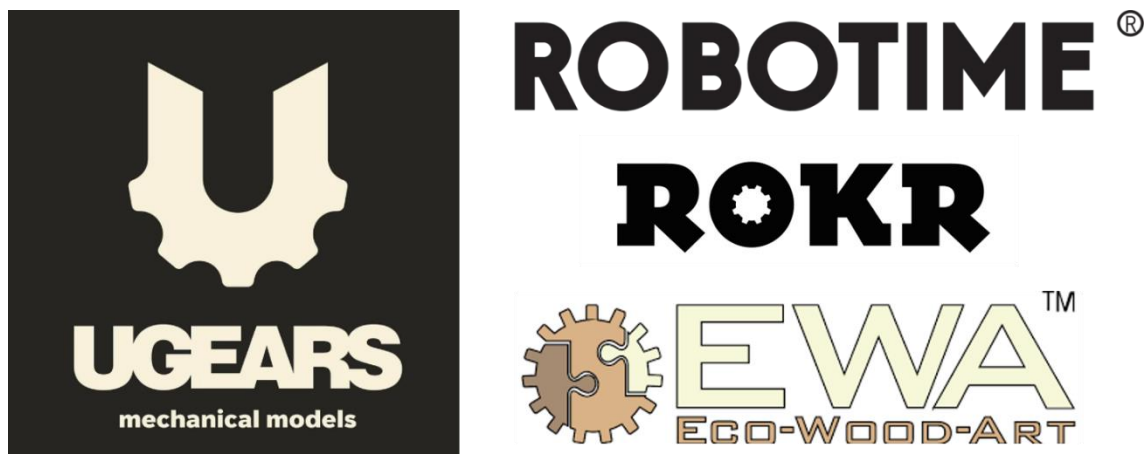


Figura 3.1. Estudio de mercado [17] [19] [4] [18].

Tras una búsqueda exhaustiva de recursos didácticos de madera en el campo de la ingeniería, no se han encontrado marcas destinadas a este fin. Aunque todas estas marcas no comparten finalidad con el producto desarrollado en este trabajo, sí que tienen semejanzas significativas a nivel formal. Se trata de modelos presentados en planchas de madera cuyas piezas vienen marcadas con precisión láser para su troquelado y preparadas para un montaje autónomo y sencillo a través de un manual de montaje. Sus imágenes corporativas comparten alguna similitud, pero difieren en cierto grado. Su observación detallada será fundamental en el diseño y desarrollo del trabajo.

El público objetivo del producto es, principalmente, el estudiante de cualquier ingeniería técnica. Se trata de un producto cuya utilidad radica en su mayor parte en facilitar la comprensión de uniones estructurales complejas, y esto es un área del conocimiento impartido a lo largo de muchas ingenierías durante sus 4 años. Se podría acotar a estudiantes de entre 18 y 22 años, pero la realidad es que el producto puede ser de ayuda en otras ocasiones u otras titulaciones, como pueden ser másteres oficiales o doctorados. A su vez, puede resultar útil para cualquier usuario que tenga cierto interés en el ámbito de la ingeniería estructural, aun no siendo perteneciente a estudios relacionados. La realidad es que el público objetivo es muy amplio, pudiendo establecer un rango mínimo de 18 años para la comprensión de conceptos complejos, pero no un máximo más allá del que permita la destreza manual requerida para el montaje de los modelos.

Es conveniente también centrar la atención en el público docente que, en muchos casos, será el que podrá comprar el producto a gran escala. Aquí se incluyen profesores de estructuras, técnicos de laboratorio de estructuras o departamentos de ingeniería y arquitectura, tanto en el ámbito universitario como en el de formación básica o superior. Ofrecer una marca profesional permitirá captar su atención y entrar en su radar para dar una dimensión de mayor escala al producto.

Establecido el público objetivo es conveniente recalcar que, debido a la presencia de piezas de pequeño tamaño, estará prohibido el uso del producto a menores de 3 años. Esto se debe a que contiene piezas desmontables que presentan riesgo de asfixia. Al no ser un juguete estrictamente según la norma, se recomendará su uso a personas mayores de 14 años, que es lo típico en este tipo de productos.

3.2 NOMBRE

Para comenzar con el diseño de la marca, es fundamental elegir un nombre que represente bien la naturaleza del producto. El nombre constituye la identidad de la marca y de los productos que comprende, y es la primera impresión del usuario por lo que debe ser capaz de generar un interés inmediato. El nombre elegido para la marca de la línea de maquetas de madera de uniones estructurales con fines didácticos es **WETRUSS**. A continuación, se procede a explicar su significado y las cualidades que lo certifican como un nombre válido y efectivo para la marca.

WETRUSS es un nombre creado a partir de dos conceptos en inglés. El principal es “*truss*” que se traduce al castellano como “estructura reticular de barras rectas interconectadas en nudos”. Se trata de un término técnico en inglés que significa literalmente cercha o armazón estructural, muy utilizado en el campo de la ingeniería. Este concepto conecta directamente con el propósito del producto: servir de apoyo en la enseñanza acerca de uniones estructurales. Es una palabra que aporta al nombre un enfoque técnico, y que sugiere precisión y seriedad.

Esta idea, que de primeras puede parecer demasiado sobria, se combina con el concepto “*we*”, que significa “nosotros”. La adición de este determinante es fundamental en la representación de un mensaje de cooperación y aprendizaje compartido. Se trata de una palabra tan común que casi cualquier usuario es capaz de reconocerla y asociarla con la colaboración y comunidad. Enfatiza la idea de que el producto, lejos de un enfoque individualista, está enfocado al colectivo educativo, y es significativo en contextos didácticos como clases o talleres.

Al ser un nombre formado por palabras en inglés, funciona de manera internacional, pues combina conceptos ampliamente conocidos en el ámbito profesional. Sin necesidad de traducción, es fácilmente comprensible para un público mínimamente relacionado con el campo de la ingeniería estructural. Además, se trata de un nombre corto y de fácil pronunciación. Esto lo hace distintivo y sencillo de recordar, aunque el usuario no estuviera familiarizado con el concepto inglés. Para potenciar la rama pedagógica y comunitaria del producto, cuenta con un eslogan: “*We build. We learn*” que se traduce como “Nosotros construimos. Nosotros aprendemos”. Utilizando el mismo prefijo que el nombre, se encarga de enfatizar que es el usuario el que, mediante la construcción autónoma de los modelos, es causante de su propio aprendizaje.

WETRUSS

We build. We learn.

Aunque tiene que ver más con la fonología que con la semántica, es curioso recalcar que “truss” se pronuncia de manera muy similar a “trust”, un concepto inglés que se traduce como “confianza”. Al decir “WETRUS” suena parecido a decir “We trust” (“nosotros confiamos”) y que sigue teniendo relación con el producto, pues el estudiante confía en este recurso educativo para ayudarlo en la comprensión de conceptos más abstractos de la ingeniería estructural.

Por último, tras la selección del nombre de la marca, es vital realizar una búsqueda en la Oficina Española de Patentes y Marcas (OEPM) para saber si está registrado en España o está libre para ser usado [20]. Como se puede observar en la Figura 3.2 “WETRUS” no se encuentra registrado como marca ni nombre comercial en España.

The screenshot shows the OEPM search interface. At the top, there are logos for the Spanish Government and the OEPM. Below, there are two tabs: 'Búsqueda por denominación' (selected) and 'Búsqueda por elementos figurativos'. A search bar contains 'WeTruss' and shows '0 resultados cuya denominación contiene: WeTruss'. Below the search bar, there is a table with columns: Gráfico, Marca, Denominación, Tipo, Clasificación de Niza, and Clasificación de Viena. The table is empty, and a message below it states 'No se han encontrado resultados.'

Figura 3.2. Búsqueda del nombre en la OEPM [20].

Después se ha buscado en la base de datos de la UIPO [21] para buscar registros a nivel europeo e internacional y tampoco hay coincidencias registradas en la propiedad intelectual (Figura 3.3) por lo que se concluye como un nombre válido para la marca.

The screenshot shows the TMview search results page. At the top, there is a search bar with 'wetruss' and a 'BUSCAR' button. Below the search bar, there is a table with columns: Representación gráfica, Nombre de la marca, Fecha de solicitud, Productos y servicios, Situación de la marca, Oficina de marca, Número de solicitud, and Nombre del solicitante. The table contains one row with the following data:

Representación gráfica	Nombre de la marca	Fecha de solicitud	Productos y servicios	Situación de la marca	Oficina de marca	Número de solicitud	Nombre del solicitante
	Wetruss	29/12/2021	16, 41	Registrada	Francia - L.	4829659	Madame SVETLANA GAILLARD

Figura 3.3. Consulta en la base de datos de la UIPO [21].

3.3 LOGOTIPO, IMAGOTIPO, ISOTIPO Y VARIACIONES

Una vez elegido el nombre de la marca, el siguiente paso es el diseño del logotipo. El logotipo es uno de los elementos más importantes de una marca porque actúa como la imagen que representa simbólicamente su identidad, sus valores, y su personalidad frente al cliente.

En el caso de WETRUSS, el proceso creativo comenzó determinado por la idea de la W y la T, por ser las primeras letras de los dos conceptos que forman el nombre. Partiendo de esta base, se han querido acentuar 4 conceptos:

- Se ha querido buscar un logo **compacto**, es decir, que sus elementos no estén muy espaciados entre ellos. Esto recuerda a las láminas de madera en las que se presentan las piezas para ser troqueladas, pues para aprovechar el espacio al máximo, se distribuyen de manera muy próxima las unas a las otras.

- Se ha jugado con que los elementos del logotipo se corten entre ellos, de manera que se aproveche una de las leyes de la Gestalt en el diseño gráfico para un mayor enriquecimiento visual. En concreto el **principio de proximidad**, que describe como el ser humano tiende a agrupar formas que están próximas entre sí percibiéndolas como un todo a pesar de que sean elementos separados [22].

- Se ha potenciado que los elementos del logotipo (en este caso las letras) sean gruesos y transmitan sensación de **volumen**, pues los elementos relacionados con el ámbito de la ingeniería estructural suelen ser de gran dimensión y corpulencia. Además, teniendo en cuenta que las maquetas de madera serán estáticas, y no mecánicas, no es necesario buscar dinamismo ni sensación de movimiento. De hecho, será pertinente potenciar lo contrario, la impresión de algo estanco, fijo y rígido.

- Se ha experimentado con el **contorno** de las letras, vaciándolas y dejando únicamente su borde, para simbolizar una vez más, las marcas de las piezas de las maquetas en las planchas de madera. Estas piezas tienen su silueta marcada por el láser, así que mostrar únicamente el contorno de un elemento en el logo puede representar una pieza a punto de ser troquelada.

Como se va a desarrollar una identidad corporativa completa, se diseñará un logotipo, un imagotipo y un isotipo. Aunque es común englobar los tres conceptos dentro del logotipo, la realidad es que son distintos y se utilizan en situaciones diferentes [23].

Se comenzará con el **isotipo**, que es el símbolo o icono que representa la marca sin necesidad de texto. Está formado únicamente por formas, constituyendo un

reconocimiento visual puro. Teniendo en cuenta todas las consideraciones iniciales anteriores, se ha llevado a cabo un proceso creativo extenso para el diseño del isotipo, del cual se expone un pequeño extracto a continuación, en la Figura 3.4.

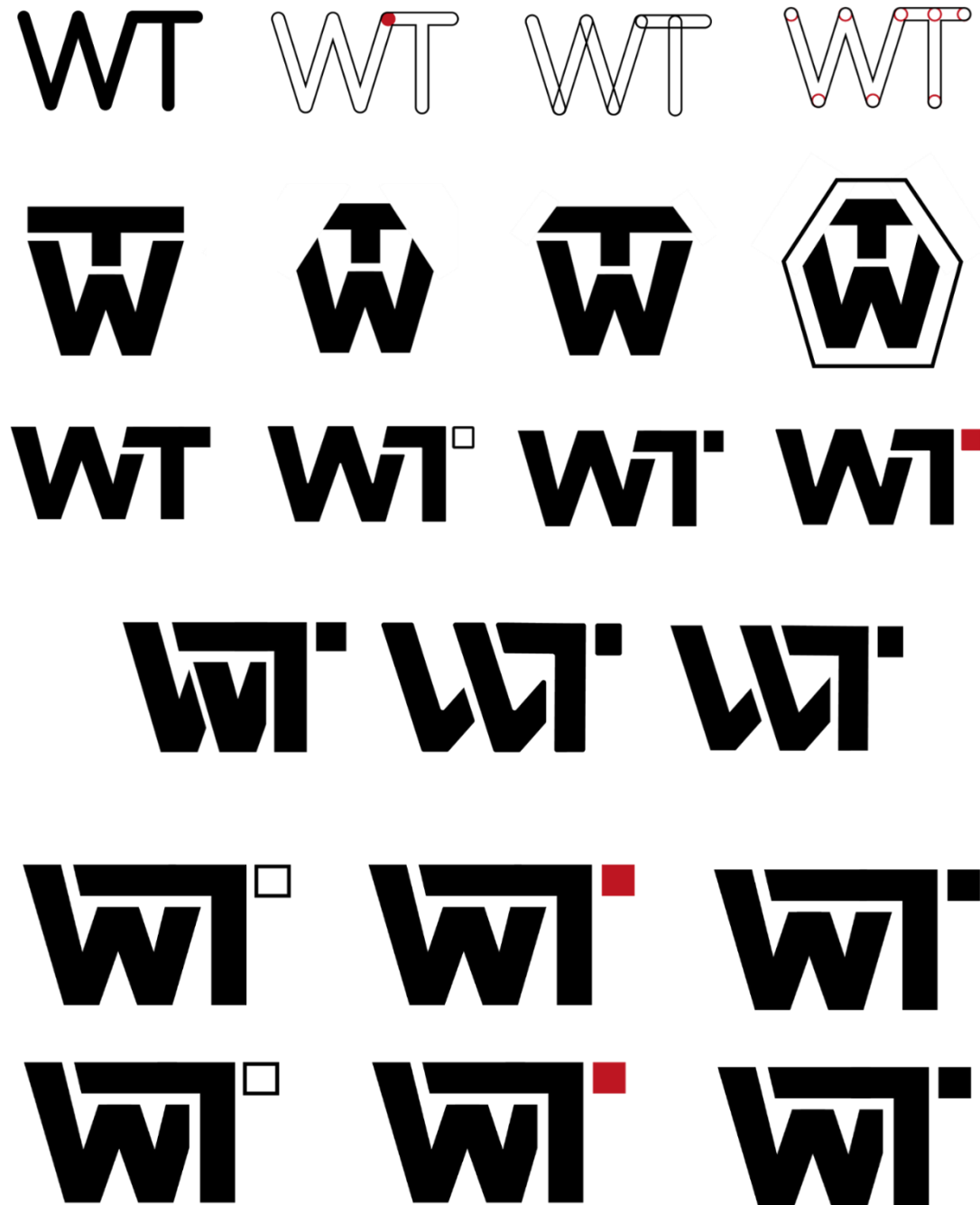


Figura 3.4. Resumen del proceso de diseño del isotipo.

En este pequeño resumen del proceso, se puede observar cómo, según se ha ido avanzando, se han ido integrando mejor las características que se querían potenciar hasta llegar al siguiente isotipo final (Figura 3.5).



Figura 3.5. Isotipo definitivo.

El isotipo final está formado por una W y una T que cumplen las consideraciones establecidas inicialmente. Se trata de un isotipo compacto y de gran volumen. Esto se ha conseguido con un grosor considerable de las letras y mediante formas geométricas no redondeadas, que aportan peso visual y forman una estructura rígida propia de las uniones estructurales que abarca la marca. Además, la T corta a la W de forma que se siguen diferenciando entre ellas, pero dan una sensación de encaje, como el de las maquetas de madera. La forma de la T guarda más significado, pues está dividida en una parte rellena y en otra contorneada. Estos cortes siguen el principio de proximidad de la Gestalt, pues la T está formada por dos elementos separados que se perciben como uno. La parte rellena de la T tiene una forma muy similar a la de las uniones pilar dintel que se ensamblan en el producto, lo cual es una referencia clara a las uniones estructurales que se podrán montar. Esta T está completada por un cuadrado contorneado, simulando ser una pieza de madera lista para ser troquelada, y aportando un detalle distintivo y diferenciador al isotipo.

A continuación, se expone en varios formatos, sin profundizar en su relación con los colores corporativos, que se presentarán más adelante (Figura 3.6).

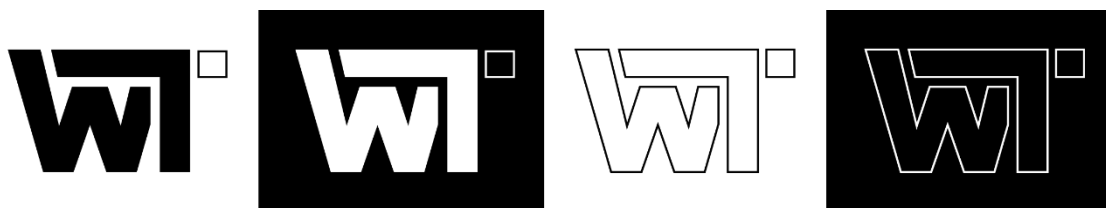


Figura 3.6. Versiones del isotipo en una tinta, en positivo y negativo.

El siguiente elemento a diseñar será el propio **logotipo**, que es la representación tipográfica del nombre de la marca. Solo se utiliza texto, aunque este tenga algún detalle. Aporta el reconocimiento verbal, de manera que así se referirá el usuario a la marca [23]. Para el logotipo se ha partido de la tipografía corporativa “Metropolis”, en la que se profundizará más adelante. El proceso de diseño del logotipo ha tenido una clara evolución. Desde un inicio se ha tenido claro que todas las letras del logotipo irán

en mayúsculas (Figura 3.7) pues, al ser una única palabra, es fácil mantener la cohesión y sensación de volumen sin resultar en un concepto sobrecargado.

WETRUSS

Figura 3.7. Logotipo de partida.

Se comenzó una experimentación con él, disminuyendo el *tracking* (interletraje) para dar sensación de encaje entre las propias letras (Figura 3.8). Sin embargo, esta percepción funciona más cuando se visualiza el logo con cierto zoom que al disminuirlo de tamaño. Al alejar la vista del logo (pensando en el futuro imagotipo) se desdibuja el encaje y queda más descuidado y menos simple. Es por esto que se ha acabado descartando este método.



Figura 3.8. Proceso de diseño de logotipo 1.

Tras este intento, el concepto se enfocó más en los contornos de las formas, que hacen ver que las letras son piezas de madera a troquelar. Para mantener el foco en “*truss*” y que tenga más peso visual que “*we*”, se ha mantenido rellena la palabra con mayor significado estructural, dejando contorneada la palabra con significado colectivo (Figura 3.9). Poco a poco se va llegando a un concepto más personalizado sin dejar a un lado la simpleza necesaria en un logotipo de esas características.



Figura 3.9. Proceso de diseño de logotipo 2.

Una vez consolidada, esta idea del contraste entre lo contorneado y lo coloreado ha sido el pilar de la identidad visual de la marca. Tras añadir unos pequeños detalles que personalizan aún más el logo y lo cohesionan con el isotipo, se ha llegado al logotipo que se expone a continuación, en la Figura 3.10.

The image shows the final logo for 'WETRUISS'. The word 'WETRUISS' is rendered in a bold, sans-serif typeface. The letters 'W', 'E', and 'I' are white with black outlines, while 'T', 'R', 'U', 'S', and 'S' are solid black. The letters are closely spaced, creating a cohesive and modern brand mark.

Figura 3.10. Logotipo definitivo.

Al igual que anteriormente, se muestra en negativo, sin profundizar en su relación con los colores corporativos, que se expondrán más adelante (Figura 3.11).



Figura 3.11. Logotipo en una tinta en positivo y negativo.

Por último, se procede a diseñar el **imagotipo**, que se corresponde con la combinación del logotipo (texto) con el isotipo (símbolo). Ambos pueden funcionar por separado, pero se combinan en el imagotipo para dar un mensaje completo al usuario [23]. Debido al cuidado diseño del logotipo y del isotipo, siempre teniéndose en cuenta el uno al otro, la simple unión de ambos elementos da lugar a un imagotipo válido, coherente y equilibrado (Figura 3.12).



Figura 3.12. Imagotipo definitivo.

Tanto el isotipo como el logotipo tienen elementos similares y características semejantes. Ambos hacen uso de la sensación de encaje de letras, y los dos tienen una zona contorneada. Al estar los contornos en esquinas opuestas del imagotipo, este queda equilibrado visualmente, y se acentúa una diagonal mediante las partes rellenas. A continuación, su versión en negativo y la distribución de pesos visuales en la Figura 3.13:

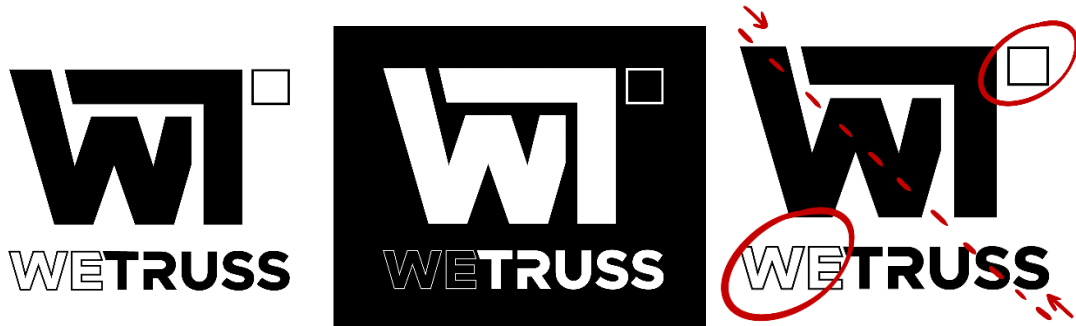


Figura 3.13. Imagotipo en positivo y negativo (izquierda y centro) y distribución del peso visual (derecha).

Se presentan así, terminados y en una única tinta, isotipo, logotipo e imagotipo en la Figura 3.14:



Figura 3.14. Isotipo, logotipo e imagotipo definitivos en este orden de izquierda a derecha.

Adicionalmente, se presenta la representación visual del eslogan de la marca: “WETRUSS. We build. We learn.” Una vez más, siguiendo con la línea visual de la marca, se juega con el contorno de las letras para enfatizar una u otra parte. En este caso, el nombre de la marca está completamente relleno, y son los verbos “build” y “learn” los que están contorneados. Esto acentúa la palabra “we”, que se repite tres veces, enfatizando el aspecto comunitario y pedagógico del producto. Se ha utilizado la tipografía corporativa “Metropolis” una vez más, pero en este caso en minúsculas. Esto se debe a que habiendo más palabras que en el logotipo, el uso de mayúsculas en todo el eslogan aportaría una sensación demasiado tosca. El eslogan representa algo más cercano y que llega de manera directa al usuario, por lo que lo más preferible es facilitar una lectura sencilla.

Se presentan dos representaciones estandarizadas en función de las necesidades del espacio en el que se coloquen. En la primera (Figura 3.15), con forma casi cuadrada, cabe destacar que la zona rellena tiene la misma forma que la T del logotipo, haciendo referencia a la unión pilar dintel perpendicular.

wetruss
webuild
welearn

Figura 3.15. Versión 1 del eslogan.

La segunda (Figura 3.16), más alargada, sirve para zonas en las que se tenga un espacio más largo que alto.

wetruss
webuild**we**learn

Figura 3.16. Versión 2 del eslogan.

3.4 TIPOGRAFÍA

La marca WETRUSS viene acompañada de la tipografía “Metropolis” como tipografía corporativa. Se trata de una tipografía moderna, geométrica y *sans serif* (sin serifa), inspirada en los principios de diseño de la Bauhaus y en el estilo tipográfico del siglo XX. Toma inspiración visual de otras como “Futura” en las formas geométricas puras o “Gotham” o “Avenir” en su enfoque de legibilidad y neutralidad visual. Esto hace que sea idónea para esta identidad corporativa, pues sigue la línea técnica de la ingeniería, ofreciendo un aspecto moderno y minimalista. Sus equilibradas proporciones la hacen funcionar bien tanto en pantalla como en impresos y cuenta con una amplia gama de pesos, con sus respectivas itálicas.

A continuación en la Figura 3.17, se expone la versión estándar y sus variaciones más utilizadas.

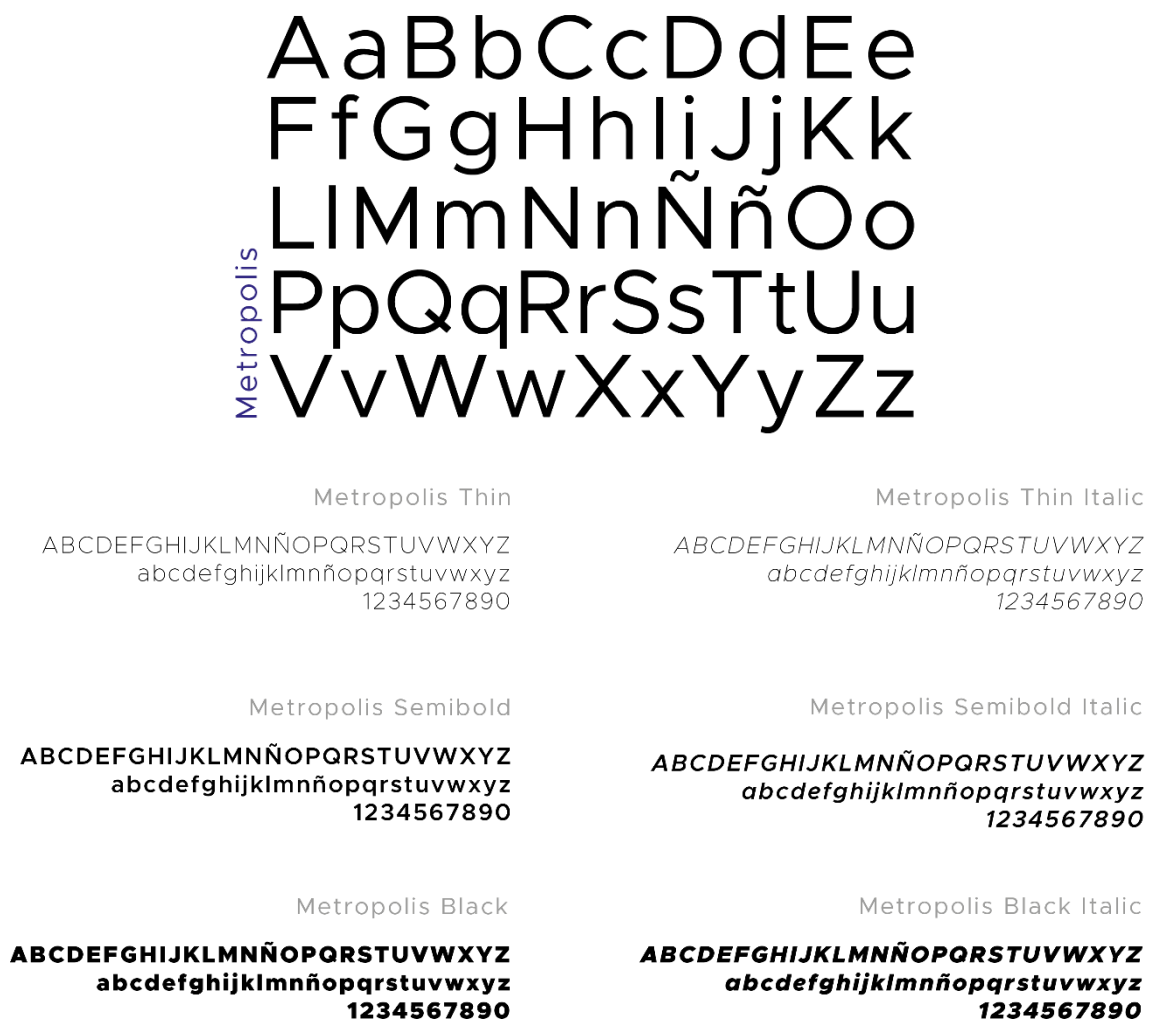


Figura 3.17. Tipografía corporativa y variaciones.

Metropolis cuenta con una alta legibilidad y con un diseño limpio que le proporciona un aspecto contemporáneo y profesional, ideal para diseños tecnológicos o de producto. Por otro lado, las diferentes variantes que presenta esta tipografía permiten adaptar la carga de tinta en los materiales impresos para que siempre que sea posible, se apliquen los tipos que minimicen el uso de tinta. Así, se reducirán los costes de producción y se actuará de forma respetuosa con el medio ambiente. Además, sus características la convierten en idónea para los soportes digitales, cada vez más comunes en la vida cotidiana y profesional.

3.5 PALETA DE COLORES

La paleta de colores de una marca es otro de sus elementos fundamentales, siendo uno de los más importantes en la construcción de su identidad visual. La paleta comunica la personalidad de la marca, refuerza el reconocimiento visual y genera coherencia en su identidad. Tiene un impacto psicológico en el posible cliente, influyendo directamente en cómo los usuarios perciben, reconocen y recuerdan la marca.

Los colores corporativos de las marcas actuales en el mercado suelen estar compuestas por colores oscuros y un color claro que aporta contraste y crea una combinación distintiva. La naturaleza del color oscuro suele ser debida a que en el *packaging* suele haber una imagen de la maqueta montada. Al ser la maqueta de madera de un color claro, se necesita un fondo oscuro que la potencie.

A continuación en la Figura 3.18, se presentan los colores que forman la paleta corporativa de la marca WETRUS.

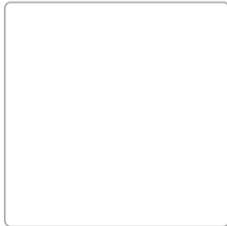
			
#05546C	#559193	#FFF4BB	#FFFFFF
R: 5 G: 84 B: 108	R: 85 G: 145 B: 157	R: 255 G: 244 B: 187	R: 255 G: 255 B: 255
Cuatricomía	Cuatricomía	Cuatricomía	Cuatricomía
C: 92 M: 53 Y: 38 K: 27	C: 68 M: 26 Y: 39 K: 8	C: 2 M: 2 Y: 35 K: 0	C: 0 M: 0 Y: 0 K: 0

Figura 3.18. Paleta de colores corporativos.

La paleta de colores está formada por 4 colores, de los cuales uno es el blanco. Los tres colores restantes son:

- **Azul oscuro** (color primario): se trata del color más oscuro del conjunto. Aporta un significado técnico y sienta las bases para un *packaging* oscuro.

- **Azul grisáceo** (color secundario): se trata de una versión más clara del azul oscuro, que será utilizado para detalles de la marca.

- **Amarillo pálido** (color primario): se trata del color más claro del conjunto, aportando un gran contraste con los otros colores. Es un color que aporta creatividad y viveza a la paleta, y que recuerda al color de la madera de tilo.

Esta combinación principal de azul oscuro y amarillo pálido no es común, debido a que la opción más típica habría sido combinar el azul con su color complementario, el naranja. Esta innovadora combinación proporciona distinción a la marca, y la diferencia de sus competidores.

Uno de los factores más determinantes a la hora de saber si una paleta de colores es funcional, es estudiar el **contraste** existente entre los colores que la forman [24]. El contraste se mide numéricamente en un ratio que es una medida numérica que indica cuánto se diferencian visualmente un color de fondo con uno en primer plano. Esta relación es clave en la legibilidad del diseño y su fórmula estándar viene de las Pautas de Accesibilidad para el Contenido Web (WCAG) [25]:

$$\text{Relación de contraste} = \frac{(L1 + 0.05)}{(L2 + 0.05)}$$

Donde:

L1 = luminancia del color más claro

L2 = luminancia del color más oscuro

El resultado es un número que va desde 1:1 (sin contraste, como el blanco sobre el blanco) hasta el 21:1 (máximo contraste, como el negro sobre el blanco). Comúnmente, se requiere que este valor sea un mínimo de 4 para poder considerar legible el texto de un color sobre el fondo del otro. Se exponen los ratios entre los distintos colores de la paleta de la marca para comprobar su relación de contraste:

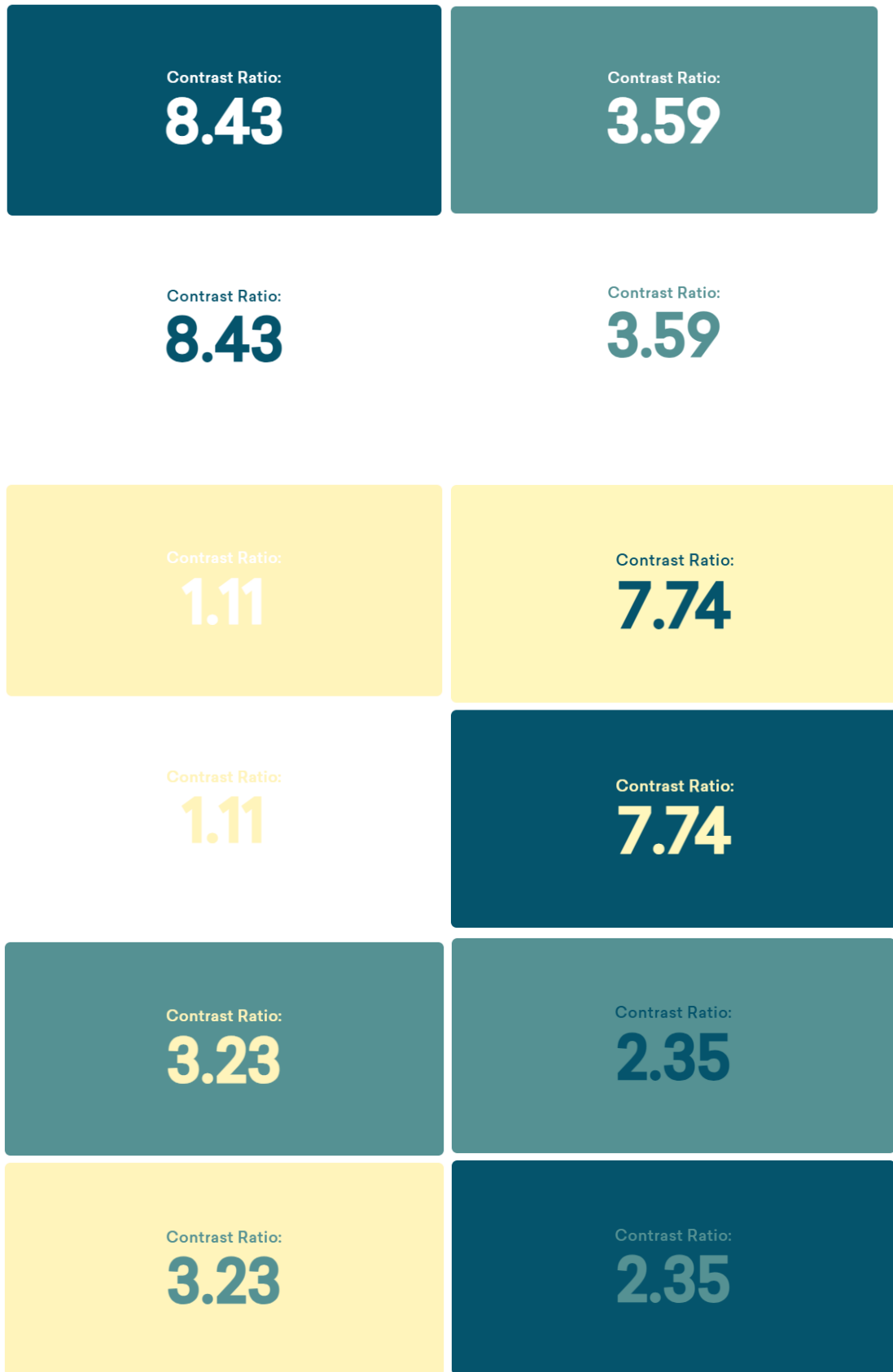


Figura 3.19. Relación de contraste de los colores corporativos [26].

Al aplicarse sobre la paleta corporativa en la Figura 3.19, se obtienen resultados satisfactorios, pues la mayoría de las combinaciones cuentan con un ratio razonable. Como se puede observar la combinación primaria de colores cuenta con una relación de contraste de 7.74, valor completamente válido. La combinación secundaria de amarillo y azul grisáceo tiene un valor de 3.23. Debido a que el azul grisáceo se utilizará para marcar acentos sobre el azul oscuro es importante que su ratio sea también razonable, en este caso 2.35. Es el valor justo para destacar sin ser el elemento que más llame la atención (esa es la función del amarillo). Tras este estudio también se valoran las combinaciones que evidentemente no se utilizarán en textos, como el amarillo y el blanco en la zona central de la Figura 3.19.

A continuación en la Figura 3.20, Figura 3.21 y Figura 3.22, se muestra la paleta de colores aplicada a la identidad corporativa en distintas versiones.



Figura 3.20. Imagetipo en el color corporativo primario.

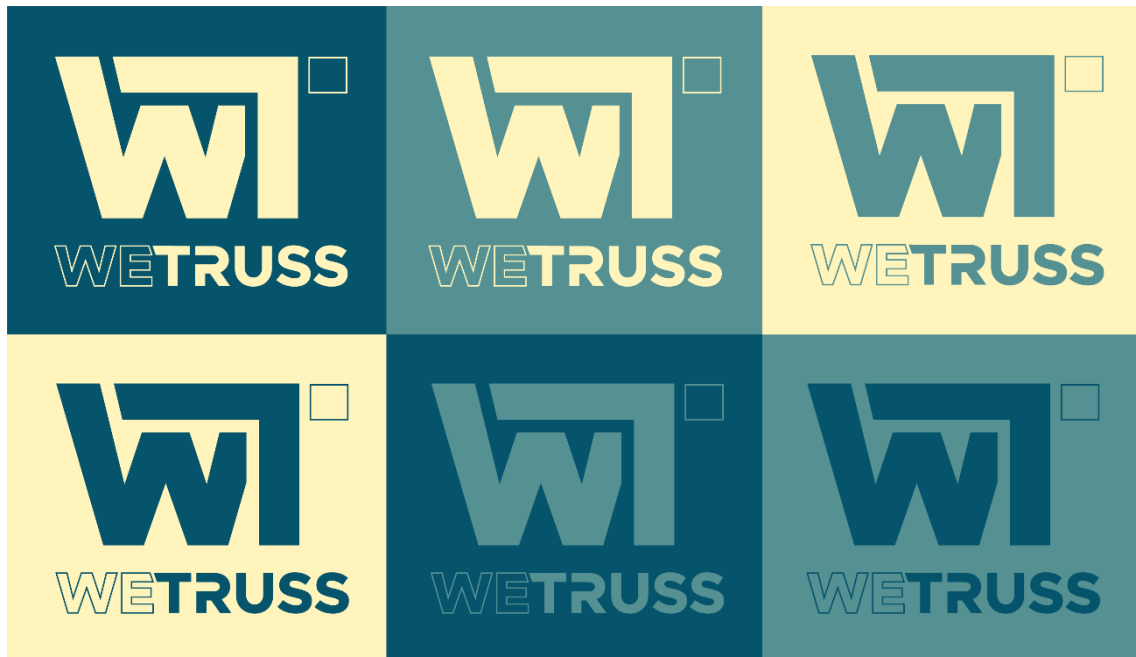


Figura 3.21. Variaciones del imagetipo en los colores corporativos.



Figura 3.22. Variaciones del imagotipo en positivo y negativo.

Se presentan también opciones corporativas al eslogan de la marca en la Figura 3.23.



Figura 3.23. Variaciones del eslogan con los colores corporativos.

CAPÍTULO 4. DISEÑO DE PRODUCTO

Una vez diseñado el propio modelo físico y la identidad corporativa de la marca, se puede pasar a enumerar los elementos que surgen de su combinación en un producto industrial. El producto estará formado por los siguientes componentes:

- **Envase y Embalaje (*Packaging*)**. Se trata del embalaje del producto, y es fundamental porque combina funciones prácticas, informativas y emocionales. Su principal función es la protección física del producto. Debe mantener seguro su contenido durante el transporte, almacenamiento y manipulación. También proporciona información al consumidor, aportando datos esenciales como sus características principales o su propósito. Es el principal transmisor de la marca, pues es el primer contacto del usuario con el producto. Su diseño, basado en la identidad corporativa, ha de transmitir los valores y la identidad del producto y de la marca (Figura 4.1).



Figura 4.1. Embalaje de la maqueta.

- **Manual de montaje**. Se trata de un elemento vital en el producto, pues informa al usuario acerca del artículo y lo guía en el montaje de la maqueta de madera. Está también determinado por la imagen corporativa de la marca, e ilustrado de manera clara para facilitar el ensamblaje del modelo (Figura 4.2). Debido a la naturaleza didáctica del producto, el manual de instrucciones cumple una función adicional. Estará lleno de información de carácter formativo acerca de la unión estructural que esté siendo montada para hacer del ensamblado una actividad educativa y enriquecedora.

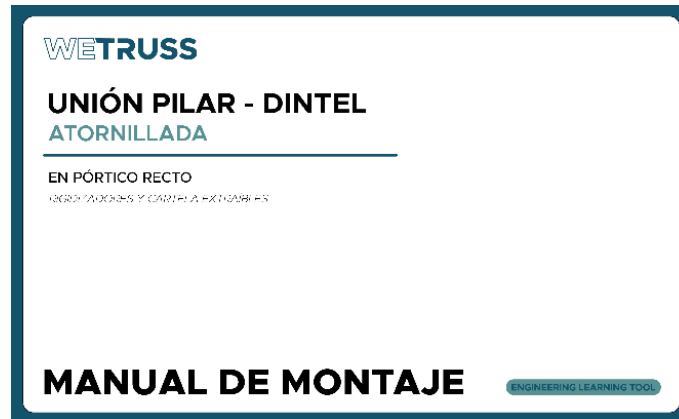


Figura 4.2. Portada del manual de montaje.

- **Láminas de madera.** Las propias piezas de la maqueta inicialmente están distribuidas en láminas de madera (Figura 4.3), listas para ser troqueladas. La distribución de las piezas en estas láminas ha de ser la más óptima posible buscando siempre el mayor grado de aprovechamiento del espacio. Las láminas vienen con sus respectivos cortes y grabados (en el caso de los cordones de soldadura) y con sus correspondientes etiquetados (tanto funcionales como didácticos).

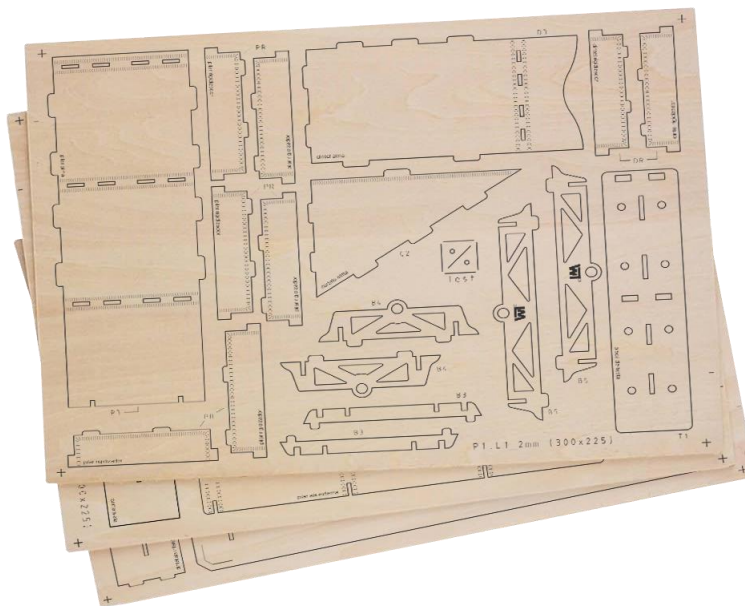


Figura 4.3. Láminas de madera de tilo grabadas.

- **Componentes adicionales.** Debido a que las uniones estructurales que se van a representar son uniones atornilladas, es necesario que la caja proporcione un pequeño compartimento con los elementos necesarios para llevarlas a cabo. En

este compartimento se incluirán tornillos, arandelas y tuercas, entre otras cosas (Figura 4.4).



Figura 4.4. Componentes adicionales.

Cabe destacar que en ese apartado del proyecto se desarrollarán en profundidad estos elementos para el caso base de “Unión pilar-dintel atornillada sin/con rigidizadores y cartela”. Este desarrollo sentará las bases para su estandarización, de manera que, en otras maquetas de la misma marca, solo variará el contenido, pero no la forma.

Por último, se profundizará en aspectos relacionados con la fabricación del producto como el flujograma de proceso de fabricación y la propuesta de presupuesto industrial para determinar el precio de venta del producto. Ambos estudios prácticamente son iguales para cualquier maqueta de la línea de uniones estructurales.

4.1 LÁMINAS DE MADERA

Se comenzará con el diseño de las láminas de madera. Como ya se ha mencionado previamente, las piezas están preparadas para ser troqueladas en láminas de madera de distintos grosores. Estas láminas cuentan con varios elementos que es importante comprender de cara a su diseño.

- **Piezas.** Las piezas están grabadas en las láminas y distribuidas optimizando al máximo el espacio. El contorno de cada pieza ha sido grabado con los parámetros concretos para poder ser troquelada de manera sencilla. Cada pieza cuenta con los grabados y cortes necesarios para la representación de los cordones de soldadura. También cuenta con los grabados ornamentales (en el caso de las etiquetas o de la base) y con el etiquetado didáctico en las piezas más relevantes a nivel formativo.

- **Etiquetado funcional.** Al lado de cada pieza, en la lámina de madera, estará grabado para que todas queden completamente denominadas. Estará en una tipografía que no es la corporativa, sino una mucho más geométrica para que suponga el menor coste temporal al láser.

- **Identificación de la lámina.** Cada lámina cuenta con una línea de texto, de nuevo en una tipografía geométrica, que la identifica. Esta denominación está formada por 3 elementos de la siguiente manera:

P 1 . L 1 _ 2 mm (3 0 0 x 2 2 5)

- **Producto:** identifica la lámina como parte de un producto (Producto 1, en este caso correspondiente a “Unión pilar-dintel atornillada sin/con rigidizadores”). Todas las láminas del mismo producto tendrán el mismo número después de la P.
- **Lámina:** identifica a la lámina en concreto dentro de ese producto. Cada lámina tendrá un número distinto posterior a la L. No puede haber dos láminas con el mismo número.
- **Grosor:** determina el grosor de la lámina de la madera. En el caso del Producto 1 podrá ser 2 o 3 mm.
- **Dimensiones:** determina las dimensiones totales de la lámina de madera.

- **Guías.** Las láminas cuentan con una serie de marcas cortadas que sirven como guías preimpresas o pregrabadas (grabados o pequeños cortes con láser). Estas guías

ayudan a que su producción se lleve a cabo con precisión y orden. Principalmente se encargan de marcar los márgenes de seguridad (a 5 mm) para delimitar las zonas en las que no se debe cortar ni grabar. Además, sirven de herramienta para calibrar la lámina con la máquina de grabado láser en caso de ser necesario.

- **Test.** En cada lámina hay una pequeña zona de testeo formada por un cuadrado con una línea diagonal y dos círculos cortados que sirve como una zona de calibración o prueba (Figura 4.5). Se encarga de verificar previamente varios aspectos de la impresión (como la potencia del láser, la precisión y las dimensiones) antes del grabado del resto de elementos.

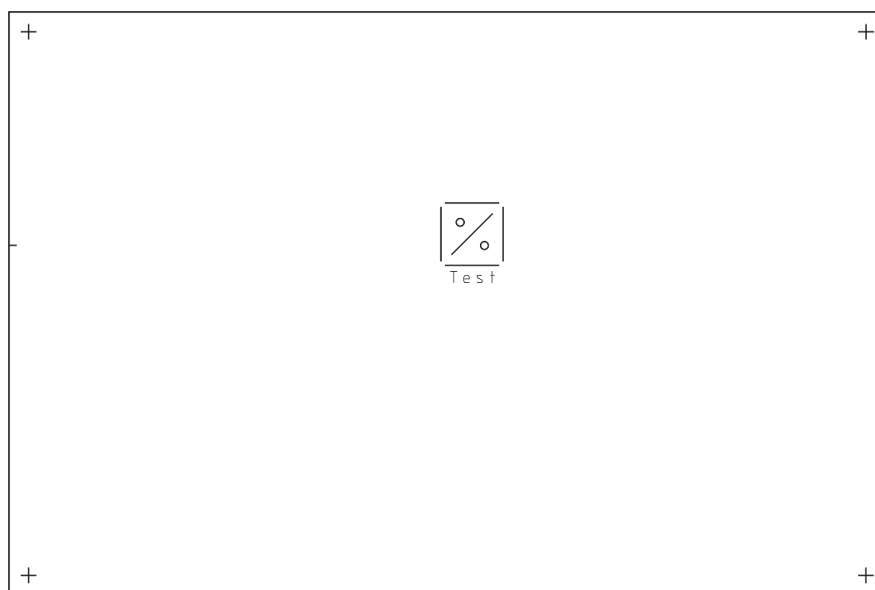


Figura 4.5. Guías y testeo en las láminas de madera.

En el caso de la maqueta de “Unión pilar-dintel atornillada sin/con rigidizadores” son necesarias 3 láminas de dos grosores distintos y dos dimensiones distintas.

- **Lámina 1:** se trata de una lámina de 2 mm de grosor y de dimensiones 300x225 mm. Su denominación corresponde con **P1.L1_2mm (300x225)** (Figura 4.6).
- **Lámina 2:** se trata de una lámina de 2 mm de grosor y de dimensiones 225x150 mm. Su denominación corresponde con **P1.L2_2mm (225x150)** (Figura 4.7).
- **Lámina 3:** se trata de una lámina de 3 mm de grosor y de dimensiones 300x225 mm. En esta lámina se recogen todas las piezas de 3 mm grosor, que son considerablemente menos que las de 2 mm de grosor. Su denominación corresponde con **P1.L3_3mm (300x225)** (Figura 4.8).

A continuación, se presentan las tres láminas finales.

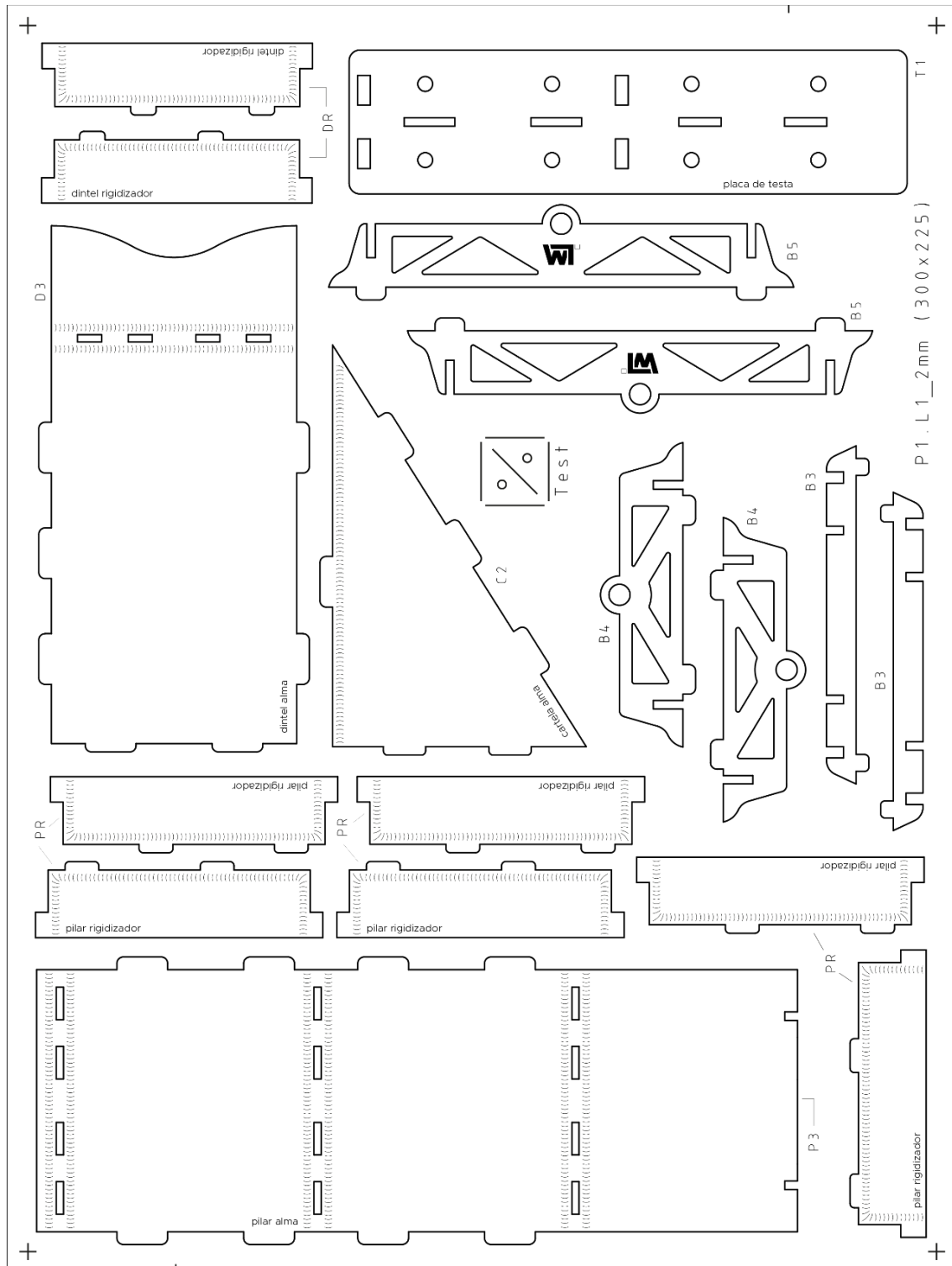


Figura 4.6. Disposición de Lámina 1.

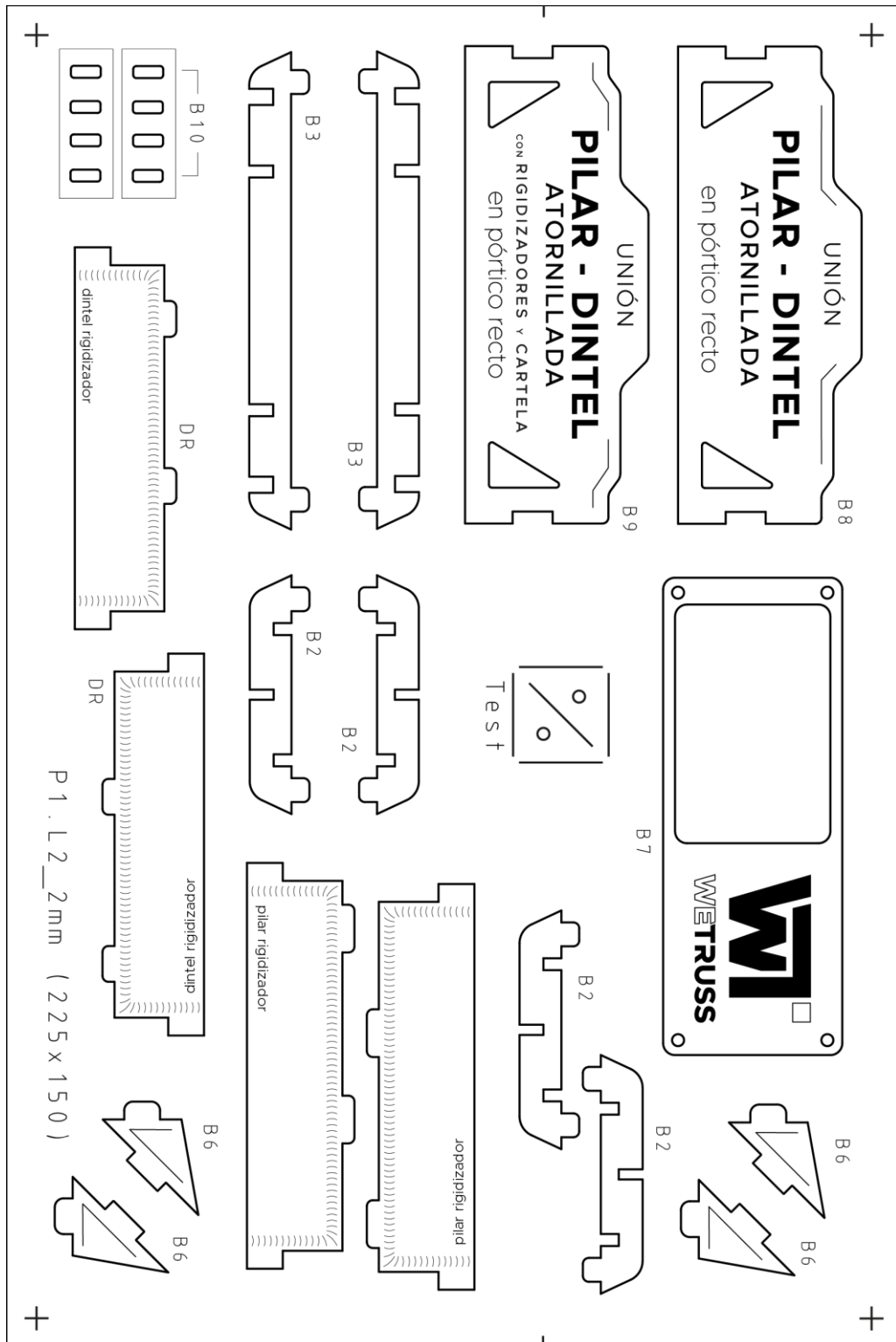


Figura 4.7. Disposición de Lámina 2.

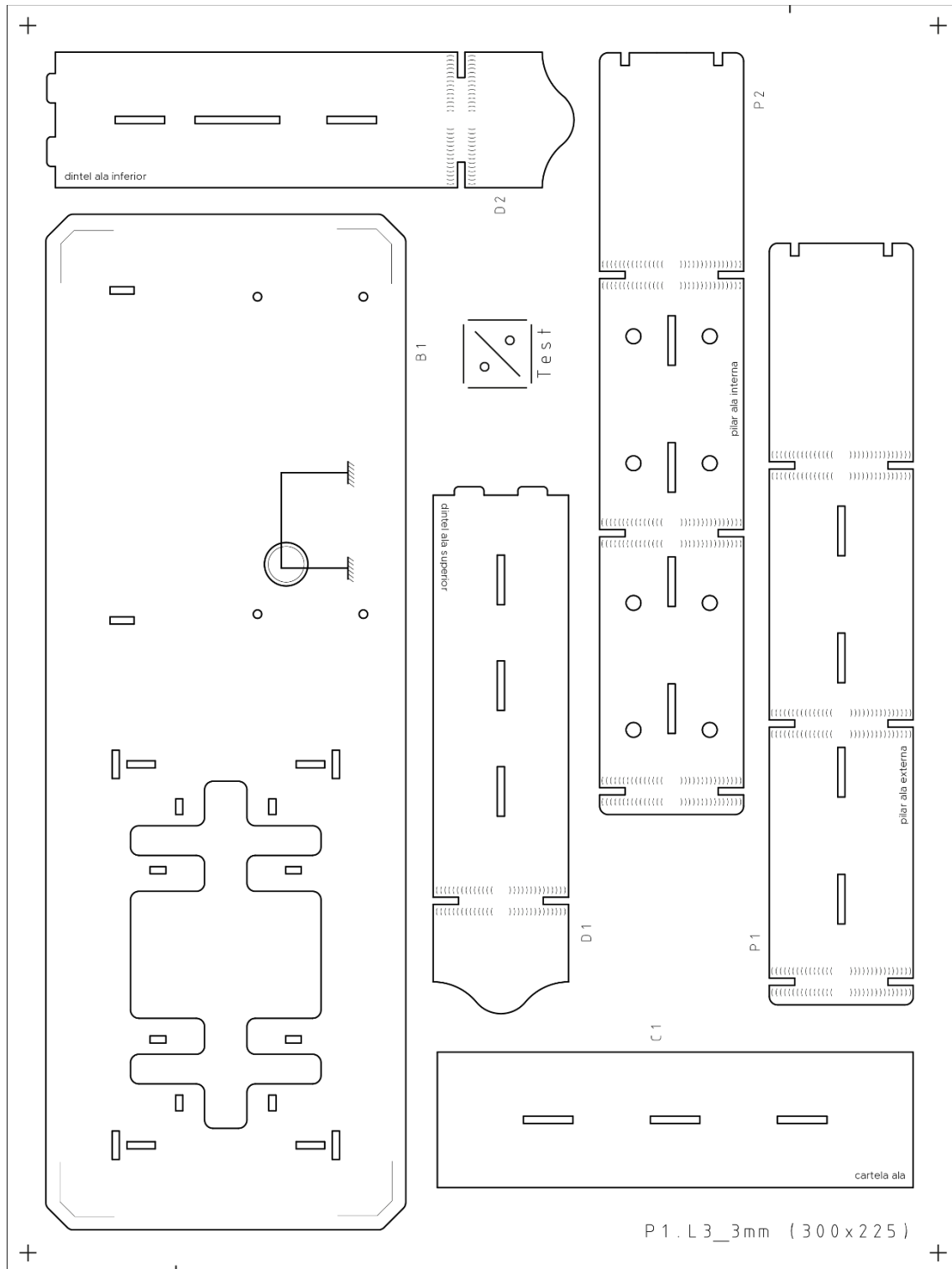


Figura 4.8. Disposición de Lámina 3.

Estos trazados se importan en formato “dxf” al *software* de corte y grabado láser LightBurn y se realiza la división por capas con distintos parámetros en función de si se quiere grabar, troquelar o cortar. No se necesitarán los mismos parámetros si el objetivo es grabar una gran superficie, o una pequeña etiqueta de texto. Es por esto que en el conjunto de las 3 láminas se han configurado hasta 15 capas distintas. Algunas comparten configuración de parámetros, pero es determinante el orden en el que se realizan. Por ejemplo, los cortes de las guías y el testeo serán el primer paso, y constituyen una única capa, aunque utilice la misma configuración de parámetros que los cortes necesarios para marcar la soldadura. Esto se debe a que, si ocurre un error en esta primera capa de prueba, se calibrará y se comenzará de nuevo.

La primera lámina con denominación P1.L1_2mm (300x225) de 2 mm de grosor requiere la siguiente configuración de capas (Figura 4.9 y Tabla 4.1):

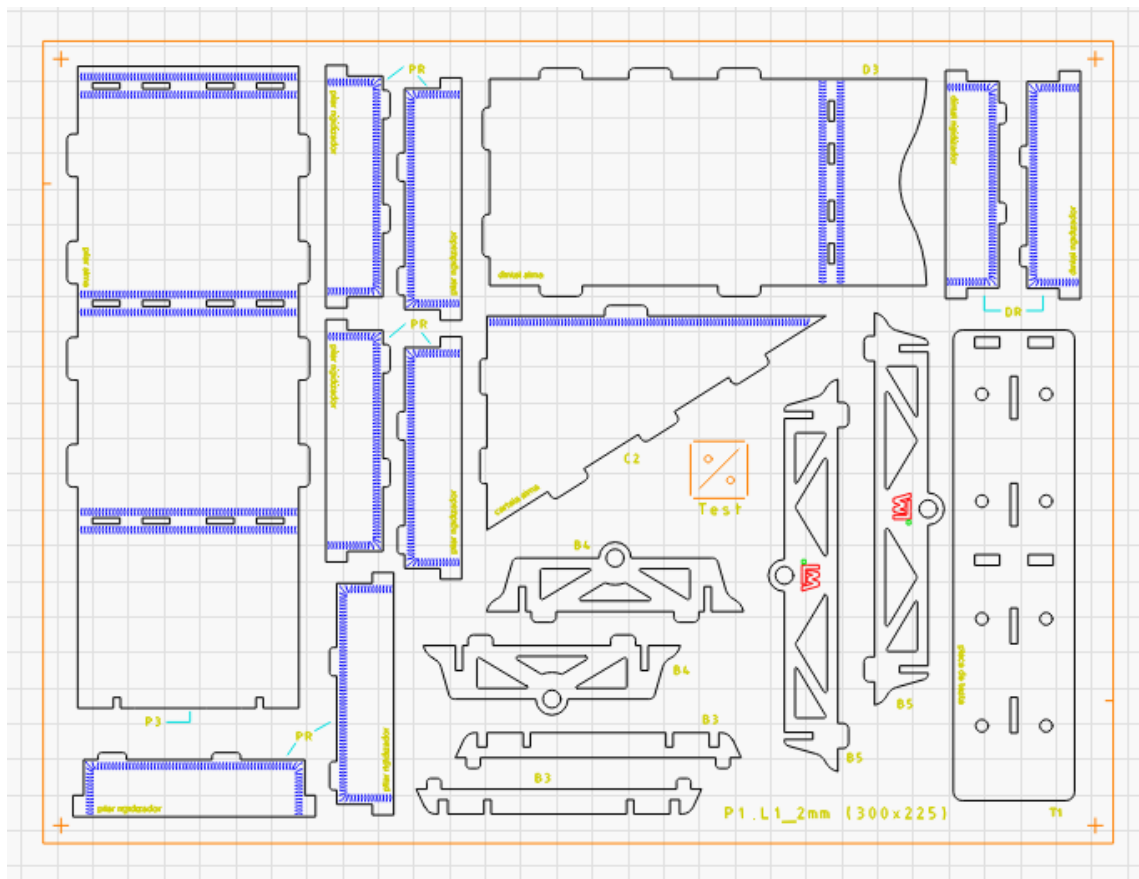


Figura 4.9. Diseño de capas de Lámina 1 en LightBurn.

LÁMINA 1						
P1.L1_2mm (300x225)						
Capa	Modo	Velocidad (mm/m)	Potencia (%)	Intervalo (mm)	Uso	Tiempo
05	LINE	150	60		Corte guías / test	0:53
01	LINE	150	60		Soldadura (corte)	15:25
02	FILL	1000	25	0,025	Grabado isotipo (relleno)	2:51
03	LINE	1000	45		Grabado isotipo (contorno)	0:02
06	LINE	1000	45		Líneas etiquetado funcional	0:06
04	FILL	1000	35	0,05	Etiquetado (FUN + DID + Test)	12:35
00	LINE	150	42,25		Troquelado	37:25
						1:09:15

Tabla 4.1. Configuración de capas de Lámina 1 en LightBurn.

La previsión de tiempos es la correspondiente en el caso real de desarrollo del modelo bajo las condiciones y limitaciones de los recursos que se tienen al alcance.

La segunda lámina con denominación P1.L2_2mm (225x150) de 2 mm de grosor requiere la siguiente configuración de capas (Figura 4.10 y Tabla 4.2):

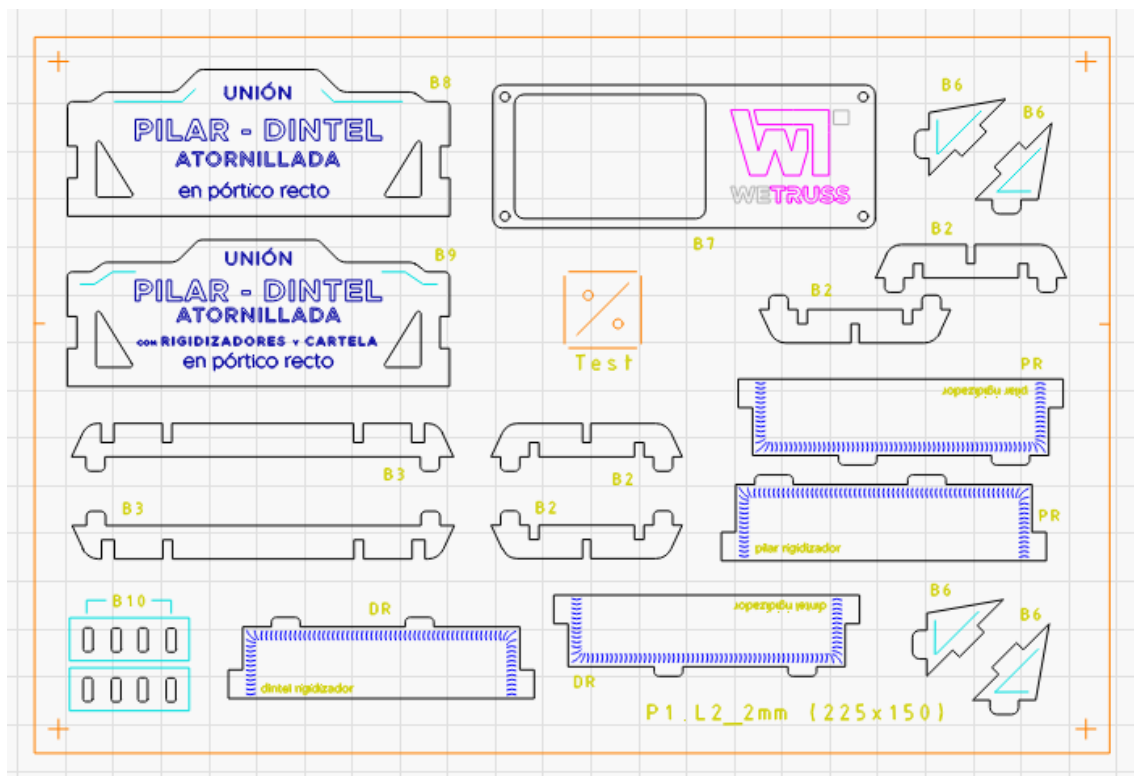


Figura 4.10. Diseño de capas de Lámina 2 en LightBurn.

LÁMINA 2 P1.L2_2mm (225x150)						
Capa	Modo	Velocidad (mm/m)	Potencia (%)	Intervalo (mm)	Uso	Tiempo
05	LINE	150	60		Corte guías / test	0:52
01	LINE	150	60		Soldadura (corte)	4:08
07	FILL	1000	45	0,075	Grabado imagotipo (relleno)	4:21
08	LINE	1000	55		Grabado imagotipo (contorno)	0:05
09	FILL	1000	45	0,075	Grabado etiqueta general	11:09
06	LINE	1000	45		Líneas etiquetado funcional / ornamentales	0:21
04	FILL	1000	35	0,05	Etiquetado (FUN + DID + Test)	8:57
00	LINE	150	42,25		Troquelado	19:10
						58:18

Tabla 4.2. Configuración de capas de Lámina 2 en LightBurn.

La tercera lámina con denominación P1.L3_3mm (300x225) de 3 mm de grosor requiere la siguiente configuración de capas (Figura 4.11 y Tabla 4.3):

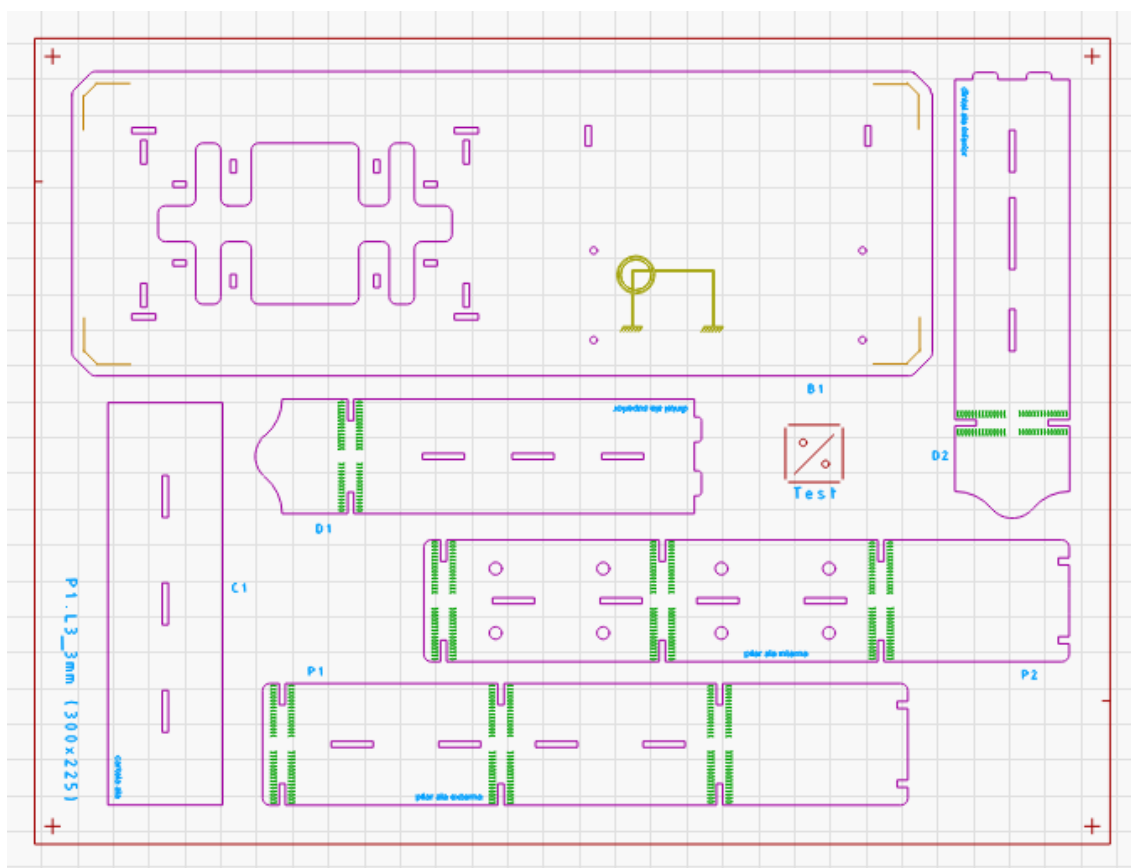


Figura 4.11. Diseño de capas de Lámina 3 en LightBurn.

LÁMINA 3 P1.L3_3mm (300x225)						
Capa	Modo	Velocidad (mm/m)	Potencia (%)	Intervalo (mm)	Uso	Tiempo
10	LINE	100	80		Corte guías / test	1:17
11	OFFSET FILL	1000	55	0,1	Soldadura (grabado)	2:06
12	OFFSET FILL	1000	30	0,025	Grabado esquema pórtico	1:45
13	LINE	1000	45		Grabados ornamentales	0:08
14	FILL	1000	40	0,05	Etiquetado (FUN + DID + Test)	6:13
15	LINE	100	68		Troquelado	38:14
						49:39

Tabla 4.3. Configuración de capas de Lámina 3 en LightBurn.

Como se puede observar, las capas del grabado del etiquetado y del propio troquelado de las piezas es el más demandante a nivel temporal. Combinando las 3, se tarda aproximadamente 2 h 57 min 12 s en preparar las láminas de madera del producto.

Debido a su tamaño o detalle, la maqueta viene con algunas piezas de repuesto en caso de necesitarlas. A continuación en la Tabla 4.4, se indica su tipo y cantidad en función de la cantidad de piezas de ese tipo necesarias en el modelo.

Pieza		Modelo	Repuestos
Rigidizador pilar	PR	6	2
Rigidizador dintel	DR	2	2
Agarre interno corto	B2	2	2
Agarre interno largo	B3	2	2
Soporte etiqueta	B6	2	2
Eje encaje C chapa	B10	4	4

Tabla 4.4. Listado de repuestos de piezas.

4.2 COMPONENTES ADICIONALES

Adicionalmente, en la caja del producto está incluido un compartimento de cartón con una pequeña bolsa de plástico con componentes adicionales necesarios para el ensamblaje de la maqueta (Tabla 4.5).

En la primera están los elementos de la unión atornillada: 8 tornillos M2.5 de 16 mm de longitud, 16 arandelas planas y 8 tuercas hexagonales M2.5. Además, debido a que se trata de componentes de pequeño tamaño y fáciles de perder se incluyen los siguientes repuestos: 2 tornillos, 4 arandelas y 2 tuercas. En total la bolsa incluye 10 tornillos, 20 arandelas y 10 tuercas.

También incluye un par de pequeños trozos de papel de lija rectangulares (40x35 mm) para que el usuario lije la madera según lo considere y los encajes se den de manera satisfactoria.

Pieza	Modelo	Repuestos
Tornillo	8	2
Tuerca	8	2
Arandela	16	4
Lija	2	0

Tabla 4.5. Listado de repuestos de componentes adicionales.

4.3 ENVASE Y EMBALAJE (*PACKAGING*)

El embalaje, comúnmente denominado *packaging* (sobre todo en la rama del envase relacionada con el *marketing*), es el contenedor primario del producto. Se trata del recipiente que protege, agrupa y transporta el producto. En este caso se trata de la caja que contiene todos los componentes del producto. Su principal función es proteger su interior de amenazas físicas, golpes, o de cualquier agente químico que lo pueda poner en peligro durante su transporte, almacenamiento y manipulación. Como se ha mencionado anteriormente, es un elemento fundamental en la transmisión de información al consumidor, pues su diseño se encarga de transmitir los valores de la marca y la identidad del producto [27].

Para el embalaje primario se utilizarán planchas de 530 x 600 mm de cartón micro corrugado de 2 mm de grosor. Este tipo de cartón es ligero, reciclable y permite la impresión del *branding* sobre él. Se trata de un cartón ideal pues, sin dejar de lado la capacidad de reciclaje, permite imprimir sobre él los elementos de la identidad corporativa y hacerlo atractivo para el usuario.

Se han estudiado las estructuras de las cajas de este tipo de maquetas y se ha concluido el siguiente despliegue plano. Las líneas de mayor grosor representan los cortes y las líneas de menor grosor los dobleces. Las áreas de doblez son de 2 mm de grosor. Se presenta el despliegue completo con las medidas generales y la denominación de las caras más importantes (Figura 4.12), que más adelante se referenciarán al aplicar el diseño sobre cada una de ellas. Para una acotación completa, consultar el Anexo de Envase y Embalaje.

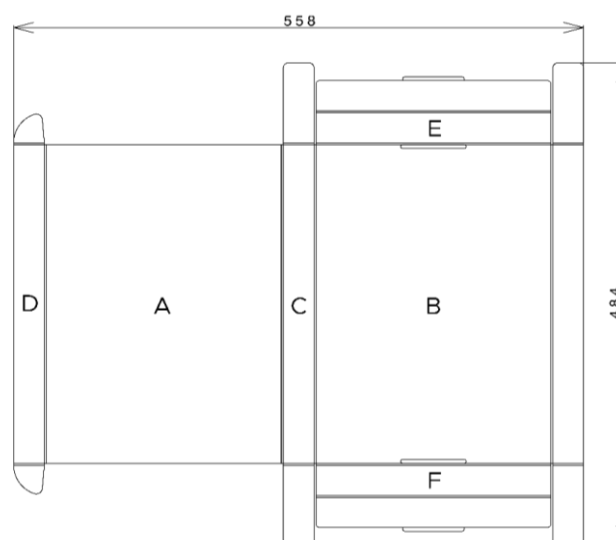


Figura 4.12. Despliegue plano del embalaje primario.

El montaje se basa en dobleces en su mayor parte, y un par de encajes para formar las paredes. A continuación en la Figura 4.13, se presenta un gráfico explicativo del montaje, aunque resulta el típico e intuitivo en este tipo de productos.

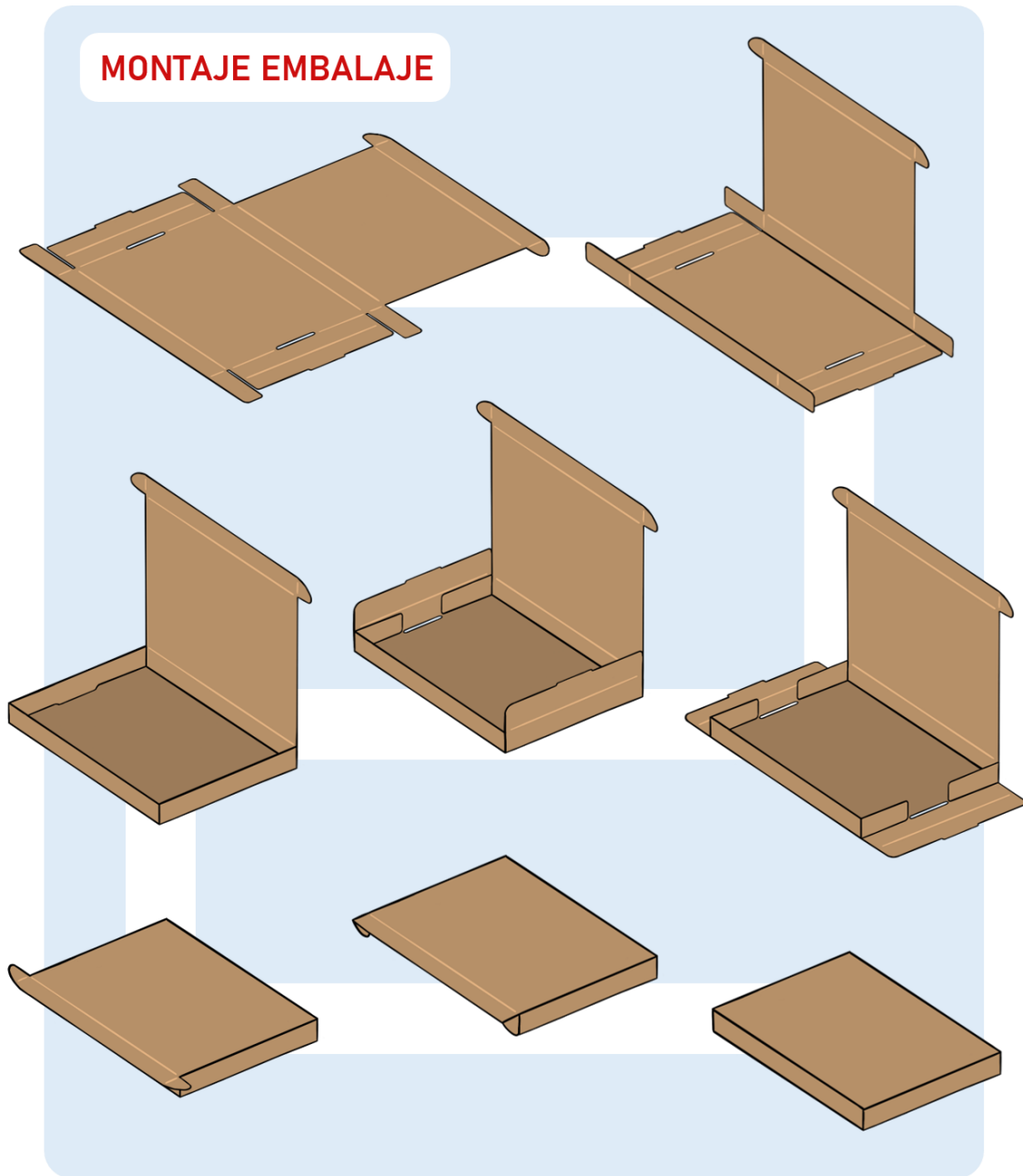


Figura 4.13. Montaje del embalaje primario paso a paso.

A su vez, en el interior, existe otra plancha de cartón de 1 mm de grosor con sus respectivos dobleces que forma una estructura que cumple dos funciones. La primera es crear un compartimento para la caja con los componentes adicionales ya mencionados (tornillos, tuercas, arandelas, lijas). A su vez, al crear este compartimento

hundido, proporciona una altura sobre la que se apoyan las láminas de madera con las piezas y el manual de montaje. Esta práctica es común en este tipo de maquetas para organizar de la manera más sencilla posible el contenido del interior de la caja. Una vez más, se presenta su despliegue plano con las medidas generales en la Figura 4.14.

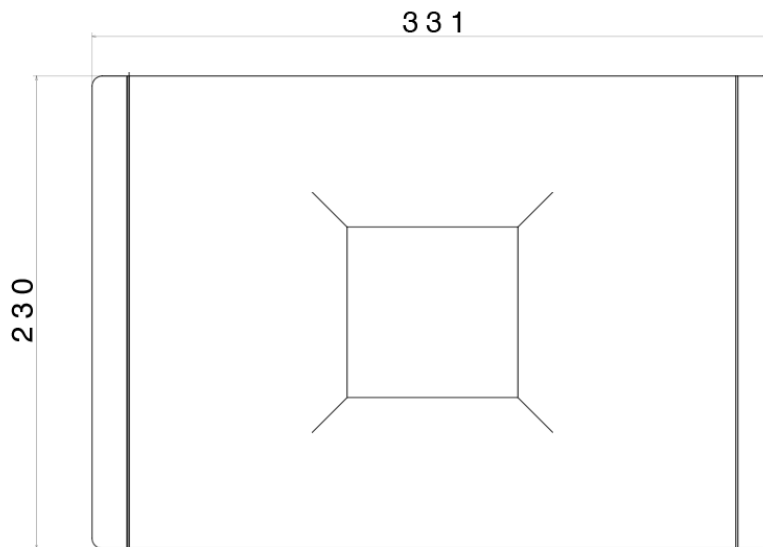


Figura 4.14. Despliegue plano del divisor interior de la caja.

En este caso, se utilizarán planchas de 380 x 280 mm de cartón kraft de 1 mm de grosor. Este tipo de cartón es marrón de manera natural y está fabricado con pulpa de papel sin blanquear, de manera que es muy resistente. A parte de ser 100% reciclable y biodegradable, resiste a la humedad y, al no ser necesario imprimir sobre él, es idóneo para realizar la división interna del envase.

Las líneas gruesas representan los cortes y las delgadas las áreas de doblez de 1 mm de grosor. Para una acotación completa, consultar el Anexo de Envase y Embalaje. En la Figura 4.15, se presenta un gráfico explicativo de su sencillo montaje y su inclusión en la caja ya montada (Figura 4.16).

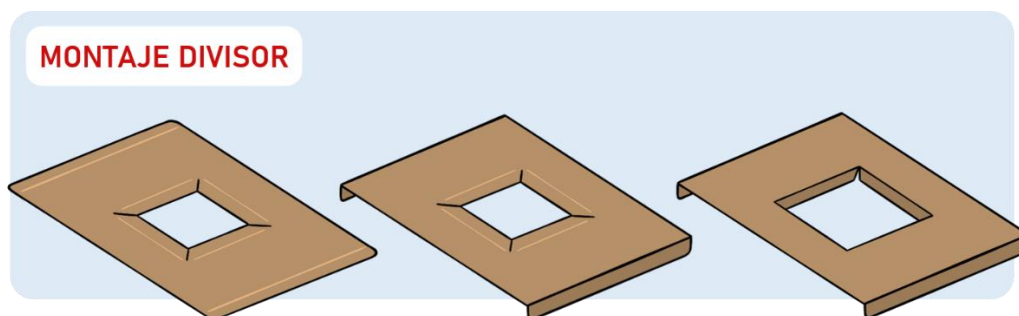


Figura 4.15. Montaje del divisor paso a paso.

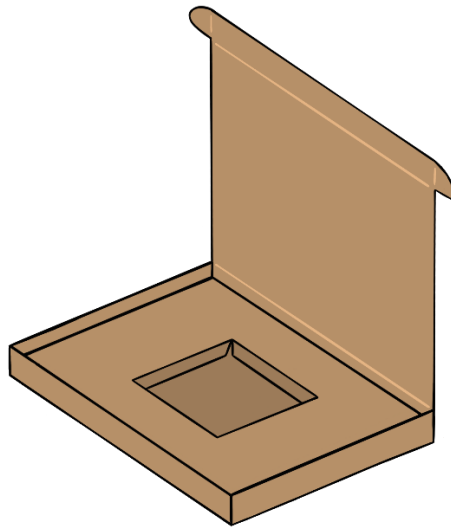


Figura 4.16. Disposición del divisor en el interior de la caja.

Por último, el envase del compartimento que contiene los componentes adicionales (tornillos, tuercas, arandelas, lija...) es otra pequeña caja de cartón fino blanco y de 0,5 mm de grosor que se deposita en el hueco generado dentro del embalaje general. Se trata de un envase porque está en contacto directo con elementos del producto. En este caso, se utilizarán planchas de 490 x 270 mm de cartulina blanca reciclada de 0,5 mm de grosor. Su ventaja es que está hecha de fibras recicladas y es más fina que el cartón corrugado, de manera que además de ser reciclable y sostenible, es la más adecuada para embalajes secundarios como este.

A continuación en la Figura 4.17, se expone su despliegue plano con las cotas generales y un gráfico de su montaje (que se realiza mediante encajes y una pequeña área de adhesivo) en la Figura 4.18 y la Figura 4.19. Para una acotación más extensa, consultar el Anexo de Envase y Embalaje.

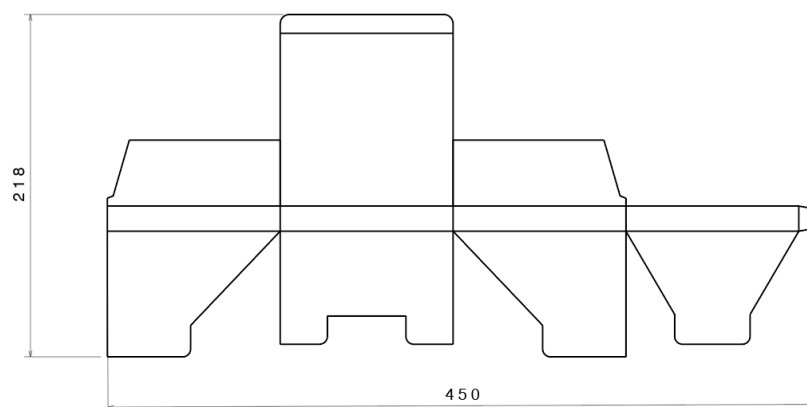


Figura 4.17. Despliegue plano del compartimento interior.

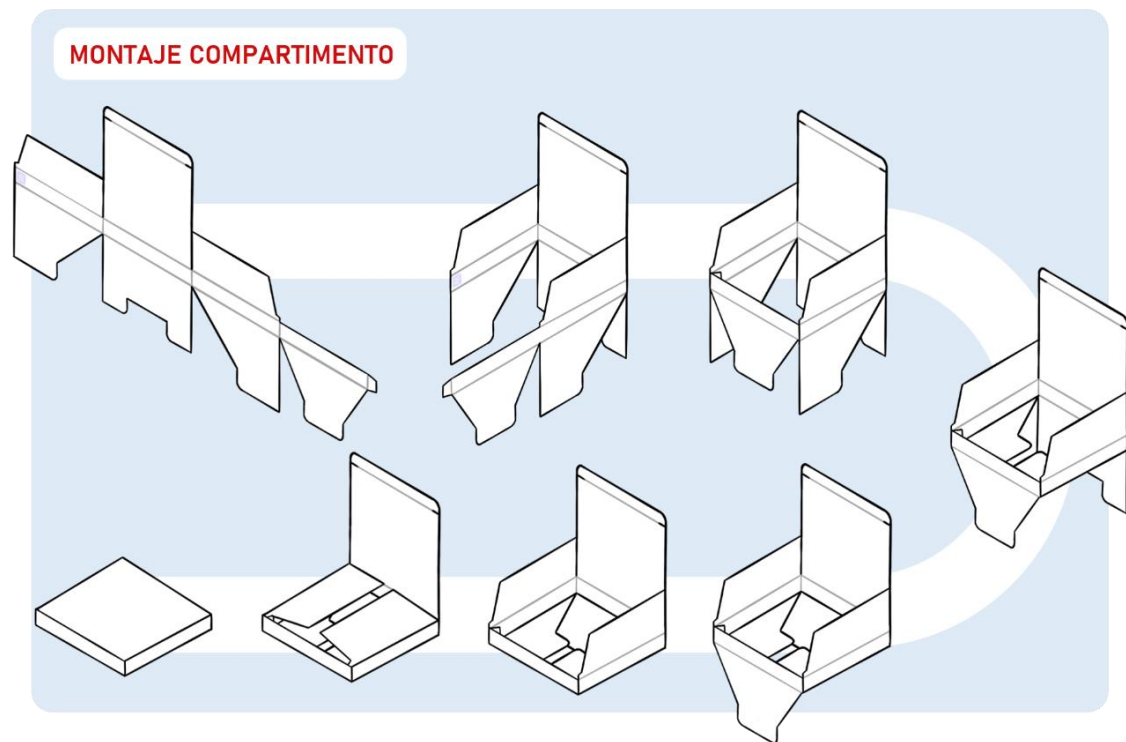


Figura 4.18. Montaje del compartimento interior paso a paso.

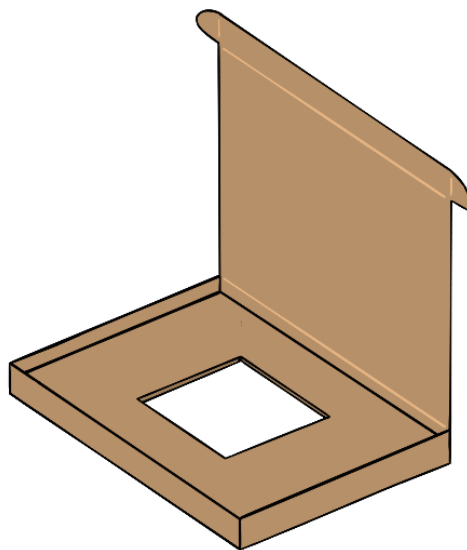


Figura 4.19. Disposición del compartimento interior dentro de la caja.

Una vez establecida la forma de proteger el producto, se procede a diseñar el impreso exterior del embalaje. Utilizando los elementos de la identidad corporativa de la marca se ha llegado al siguiente diseño de *packaging* (Figura 4.20).



Figura 4.20. Impreso del embalaje.

Se procede a detallar el diseño de cada una de las caras más relevantes para explicar su contenido. Comenzando con la **cara A** (Figura 4.21), es el primer vistazo del consumidor al producto, de manera que contiene la denominación de la maqueta y una imagen de gran tamaño. Está presente el logo de la marca y una pequeña advertencia de contenido de piezas pequeñas. En la parte inferior hay una pequeña línea informativa con las características más importantes, pero muy limitada para no sobrecargar el diseño. Se combina información en español y en inglés para llegar a un público más amplio. Sin

embargo, toda la información en inglés se encuentra en español en la cara B, debido a que es el principal público objetivo.



Figura 4.21. Cara A del embalaje.

La **cara B** (Figura 4.22) es la que está en la parte de atrás, y contiene información con un mayor grado de detalle que la cara A. Da una idea tridimensional de la maqueta, con sus dimensiones generales y vistas desde otras perspectivas. Proporciona información acerca del nivel de dificultad, tiempo estimado de montaje y número de piezas, enfatizando la ausencia de necesidad de pegamento y herramientas especiales.

Además, enfatiza un poco más el carácter formativo de la maqueta, con la presencia del eslogan y del etiquetado didáctico de las piezas.

Por último, aparece la advertencia de riesgo de asfixia en varios idiomas, el código de barras y el logotipo una vez más.

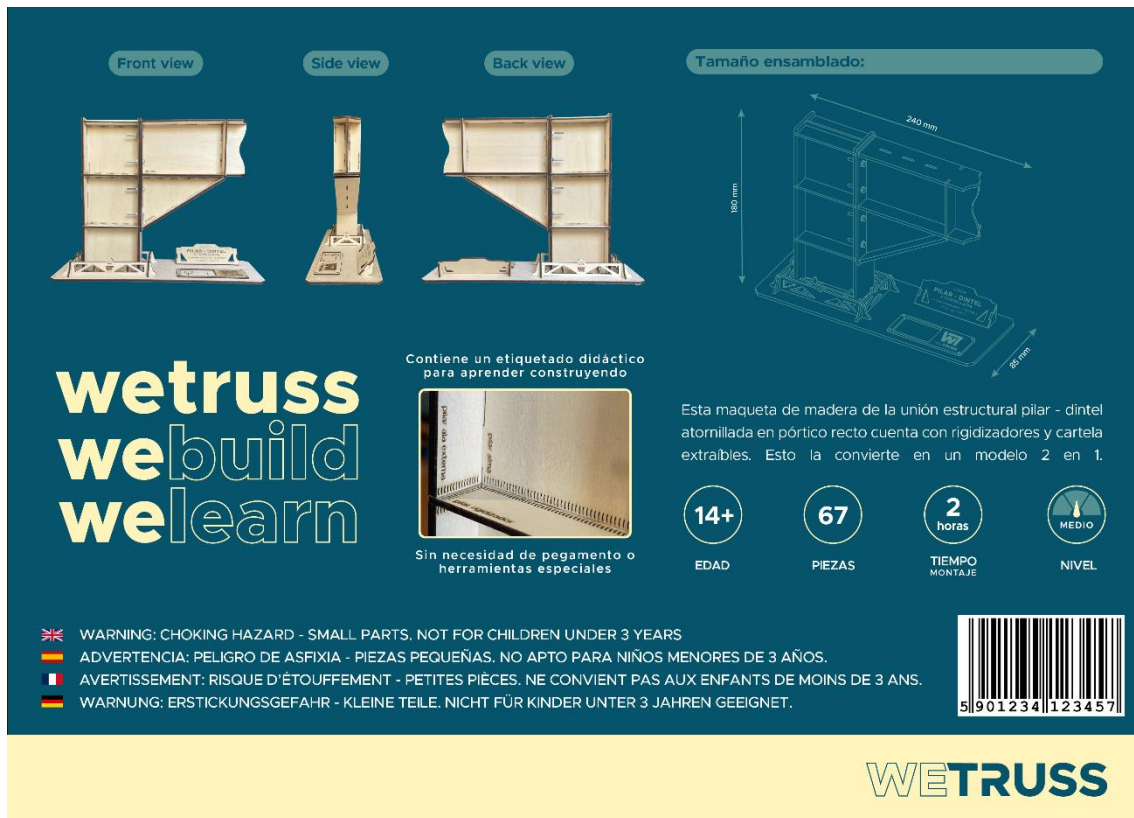


Figura 4.22. Cara B del embalaje.

Las siguientes **caras C, D E y F** (Figura 4.23, Figura 4.24 y Figura 4.25) son las caras laterales de la caja, y únicamente cuentan con la denominación de la maqueta, el logotipo e isotipo y alguna imagen del modelo.



Figura 4.23. Cara C del embalaje.



Figura 4.24. Cara D del embalaje.



Figura 4.25. Caras E y F del embalaje.

Comúnmente la cara A del *packaging* de una maqueta de este tipo contiene una fotografía de la maqueta montada. Sin embargo, la maqueta está fotografiada con mucha calidad y en un entorno de iluminación y tratamiento posterior imposibles de garantizar en este trabajo. Es por esto que se ha realizado un render digital de la maqueta montada para obtener un *packaging* de calidad y propio de este tipo de productos. Un render fotorrealista es más complicado de elaborar, pero se puede obtener un entorno digital que en la realidad es complicado de obtener. Así, se ha elaborado el render de la maqueta expuesto en la Figura 4.26.



Figura 4.26. Render de la maqueta sin marcas de grabado.

Posteriormente a la generación del render, se han añadido todas las marcas de grabados y el efecto del quemado de la madera, que solo es posible añadirlo en “Adobe Photoshop”, resultando el render de la Figura 4.27.



Figura 4.27. Render de la maqueta con marcas de grabado.

A continuación, se exponen dos renders del diseño del *packaging* final (Figura 4.28 y Figura 4.29).



Figura 4.28. Render del packaging (perspectiva frontal).



Figura 4.29. Render del packaging (perspectiva trasera).

Por último, la Figura 4.30 y la Figura 4.31 muestra un render fotorrealista de la maqueta integrada en un entorno digital.



Figura 4.30. Render fotorrealista.



Figura 4.31. Zoom en render fotorrealista.

El embalaje secundario de cada caja corresponderá con una envoltura de film de polietileno PE reciclado. Se trata de un material que combina las características funcionales del plástico convencional con un menor impacto ambiental. Además de contar con un origen sostenible, reduciendo la demanda de plástico virgen y la huella de carbono, es reciclable de nuevo. Se trata de un recubrimiento impermeable, flexible, y con buena resistencia al rasgado y al estiramiento. Esta envoltura estará presente agrupando las láminas de madera y envolviendo la caja completa.

4.4 MANUAL DE MONTAJE

El manual de instrucciones es uno de los elementos más importantes del producto, pues sirve de guía para el usuario en el montaje de la maqueta de madera. Se trata de un manual principalmente gráfico, que de manera clara comunica al usuario cada paso en el ensamblado del modelo.

Su imagen también está determinada por la imagen corporativa de la marca, utilizando su tipografía corporativa. Sin embargo, lo común en este tipo de manuales es ser de papel impreso en escala de grises. En muchos casos, la portada y contraportada del manual sí que está a color, pero su interior no, para minimizar costes. Debido a la naturaleza didáctica del producto, el manual de instrucciones cumple una función adicional. Estará lleno de información de carácter formativo acerca de la unión estructural que esté siendo montada para hacer del ensamblado una actividad educativa y enriquecedora.

El manual de montaje está constituido por una portada y contraportada, unas notas iniciales, un listado de piezas y 19 pasos de montaje. En total, está constituido por 20 páginas. Como se puede ver en la Figura 4.32, bajo el listado de piezas se encuentran 5 símbolos que aparecerán a lo largo del manual y que facilitarán la comunicación con el usuario.

LISTA DE MATERIALES												
PILAR					DINTEL							
IPE 180					IPE 160							
Artículo	Ala externa	Ala interna	Alma	Rigidizador	Ala superior	Ala inferior	Alma	Rigidizador				
Etiqueta	P1	P2	P3	PR	D1	D2	D3	DR				
Ilustración												
Cantidad	1	1	1	6	1	1	1	2				

CARTELA			TESTA		BASE								
Artículo	Ala	Alma	Placa de testa	Base	Agarre interno corto	Agarre interno largo	Embellecedor corto	Embellecedor largo	Soporte	Chapa	Etiqueta estándar	Etiqueta variante	Eje
Etiqueta	C1	C2	T1	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
Ilustración													
Cantidad	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	4

UNIÓN ATORNILLADA			
Artículo	Tornillo	Arandela	Tuerca
Etiqueta	A1	A2	A3
Cantidad	8	16	8

Este listado incluye el número de piezas necesarias para el montaje de la maqueta, sin contar con los repuestos.

Atención especial en el montaje

Identificación de pieza a troquelar

Comienzo de nuevo subconjunto

Recuperar subconjunto

Anotación didáctica

2

Figura 4.32. Ejemplo de página manual de montaje (listado de piezas).

Los símbolos más relevantes que se darán instrucciones al usuario a lo largo del montaje son los siguientes (Figura 4.33).



Figura 4.33. Símbolos de comunicación con el usuario.

- **Atención especial en el montaje.** Señaliza los pasos que pueden requerir de una mayor dificultad para el usuario, ya sea por el tamaño de las piezas a usar o debido a el número de encajes que se realizan simultáneamente. Este símbolo suele venir acompañado de un texto que concreta la dificultad del paso.

- **Identificación de pieza a troquelar.** Establece las piezas que será necesario troquelar en el paso determinado. Aparece dos veces en cada paso, al inicio junto con el listado de piezas a usar en el paso, y en la ilustración señalando a qué pieza corresponde.

- **Comienzo de nuevo subconjunto.** Varias veces durante el montaje, se termina un subconjunto y se inicia otro que se unirá al anterior más adelante. Este será el símbolo que comunica al usuario el comienzo de un nuevo ensamblaje.

- **Recuperar subconjunto.** Una vez se termina un subconjunto, a menudo se unirá a otro. Este símbolo señala qué subconjunto anterior vuelve a aparecer en este paso.

- **Anotación didáctica.** Como ya se ha comentado, para potenciar la formación como objetivo del montaje de la maqueta, algunos pasos cuentan con pequeñas burbujas informativas para explicar la función o importancia de algunas piezas particulares.

A continuación, la Figura 4.34 expone un ejemplo de un paso del montaje para ver su estructura y la aplicación de estos símbolos.

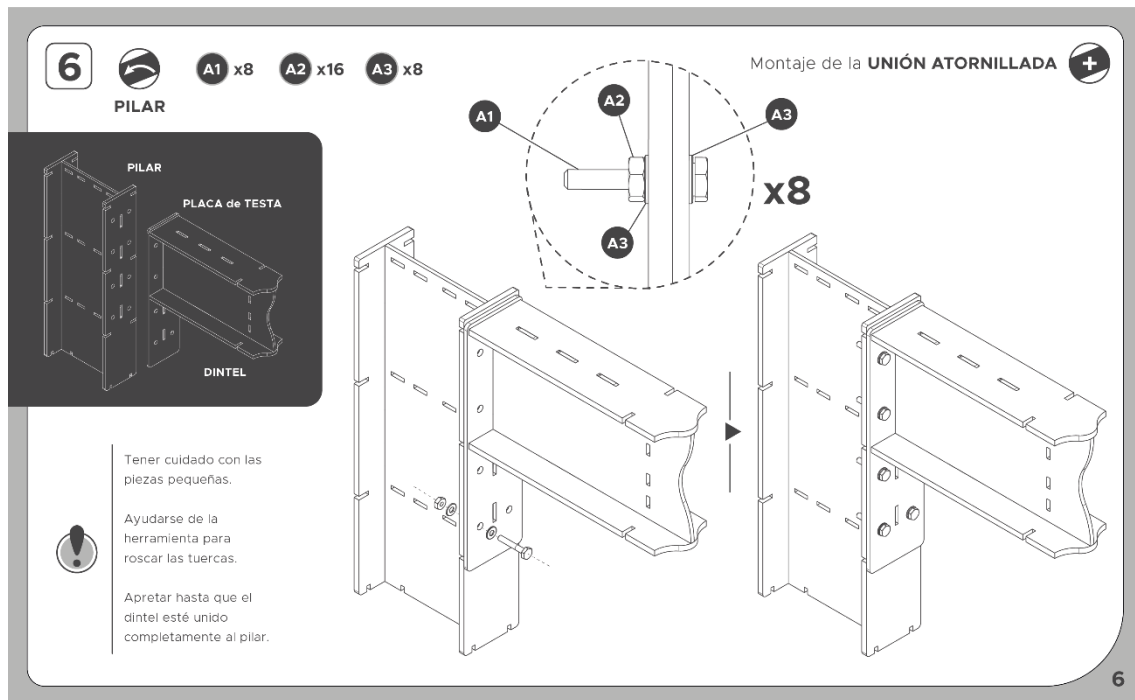


Figura 4.34. Ejemplo de página manual de montaje (paso).

En la zona superior izquierda se encuentra el número del paso actual, así como la lista de piezas necesarias para completarlo. En caso de que sea necesaria más de una pieza del mismo tipo, se señalará con “X (nº de piezas)”. En este caso también es necesario recuperar el subconjunto pilar, de manera que se indica mediante su símbolo correspondiente. En la zona superior derecha se indica que el paso 6 corresponde al montaje de la unión atornillada.

En el centro de la página se ilustra la posición que han de tomar las piezas y su resultado al ensamblarlas. En este caso, debido a la complejidad del montaje se ha requerido un detalle ampliado de la zona de la unión para evitar posibles confusiones. A su vez, se señalizan tres indicaciones para el correcto ensamblaje en la zona inferior izquierda.

En este caso, se ha necesitado toda la página para el paso 6, pero en ocasiones en los que las piezas a montar son de menor complejidad, la página se puede dividir en 2 secciones horizontales o verticales para albergar dos pasos simultáneamente. Esto se observa en la Figura 4.35, en la que la página está dividida en dos secciones horizontales para optimizar el espacio y reducir costes.

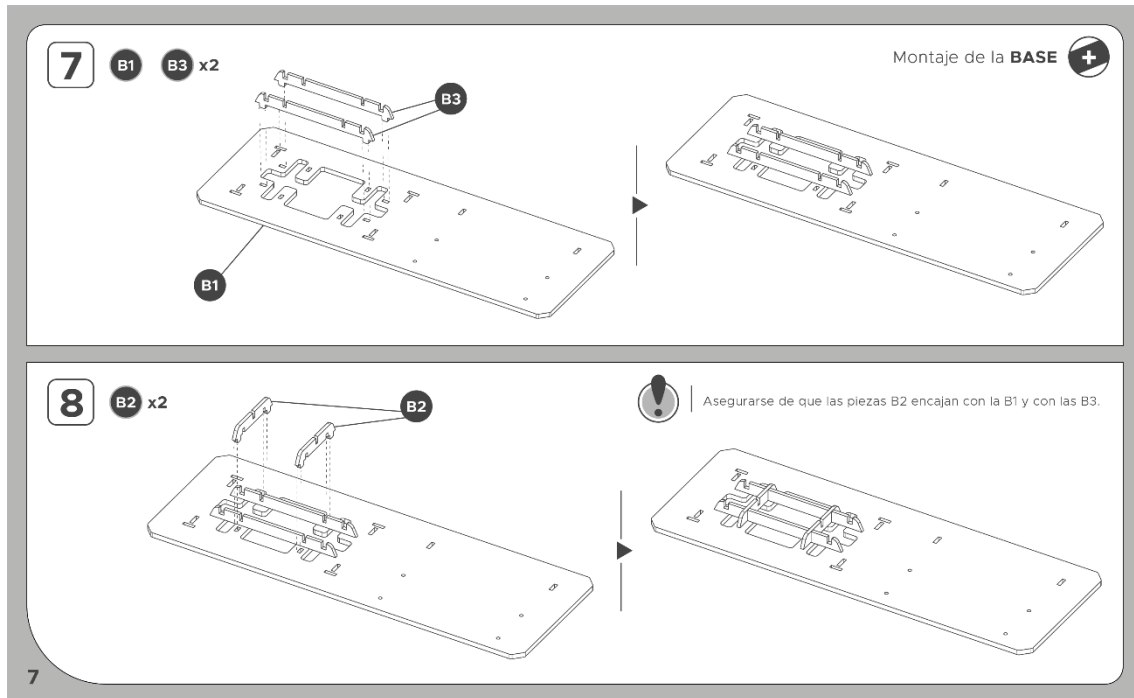


Figura 4.35. Ejemplo de página manual de montaje (división).

Para ver el manual de montaje al completo, ver el Anexo Manual de Montaje.

4.5 FLUJOGRAMA DEL PROCESO

El diagrama de flujo es la representación gráfica y secuencial de las operaciones empleadas en la fabricación de un producto. Es fundamental para la planificación y comprensión del proceso. El flujograma de proceso se basa en una representación de símbolos que guardan relación con la naturaleza de los pasos a seguir en la fabricación del producto (Figura 4.36). Se muestra el flujo a seguir en caso de que cada paso se realice satisfactoriamente o no.

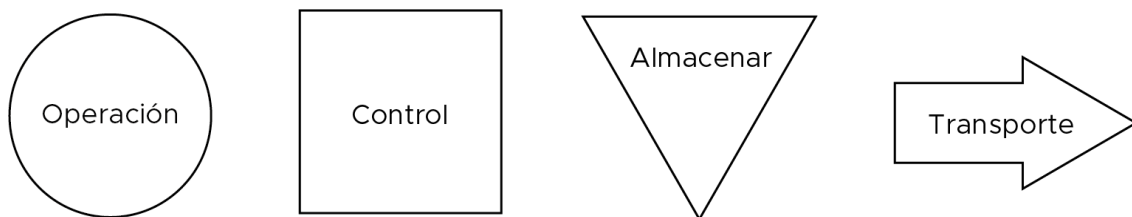


Figura 4.36. Símbolos del flujograma de proceso.

El proceso de fabricación de una maqueta está compuesto por 7 operaciones. Inicialmente se recibe el material y se realiza un control de la materia prima.

- **OP 10 Grabado de guías y testeo.** Inicialmente se realiza el grabado y corte de las guías y la zona de testeo de las láminas de madera. Conformar un paso por sí solo debido a que es importante no entrar en un proceso largo como el grabado del resto de la lámina si hay algún error en esta prueba inicial. Así, en caso de rechazo, la pérdida de tiempo será la menor posible.
- **OP 20 Grabado láser de piezas.** Se procede al grabado y corte del resto de las piezas de las láminas de madera (etiquetas, soldaduras...).
- **OP 30 Limpieza y revisión de piezas.** Una vez terminada la impresión de las láminas se limpian posibles restos de ceniza o polvo de la madera con una herramienta de aire comprimido para dejar las planchas listas.
- **OP 40 Agrupación de componentes del modelo.** Una vez listas las piezas, se agrupan el resto de componentes adicionales de la caja (manual de montaje, tornillos, lijas...).
- **OP 50 Control.** Se realiza una operación de control de las operaciones anteriores, para comprobar que todos los componentes están localizados y agrupados, y que las láminas han sido impresas de la manera adecuada mediante herramientas de comprobación dimensional.

- **OP60 Embalaje.** Se prepara el producto guardándolo en su correspondiente caja y embalándolo de manera cuidada.
- **OP70 Control.** Se realiza una operación de control del embalaje para asegurar la seguridad e integridad del producto ya preparado.

Por último, se transporta a su zona de almacenaje para estar listo para expedición.

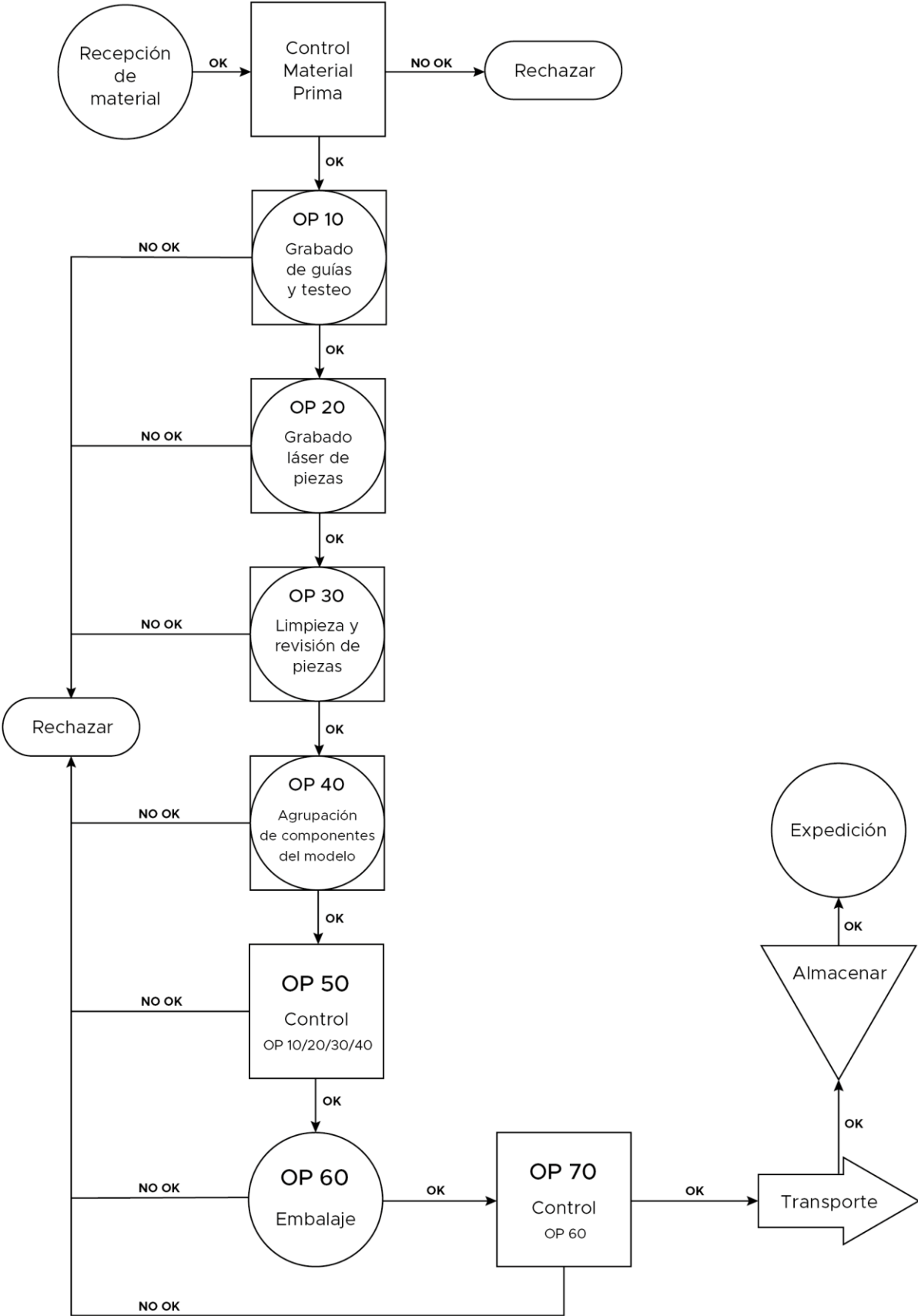
Este modelo de flujograma es válido para cualquier maqueta de la línea diseñada, pues todas contienen componentes similares y comparten proceso de fabricación.

FLUJOGRAMA DEL PROCESO

EFFECTUADO POR:
Alonso Iglesias Pordomingo
FECHA:
Junio 2025

Modelo de flujograma válido para cualquier maqueta de la línea
WE TRUSS

UNIDAD DE COSTO:
1 producto de maqueta



4.6 PRESUPUESTO

Una de las partes finales y esenciales para el proyecto es el análisis económico del producto y su desarrollo. Para llevarlo a cabo se tienen en cuenta diversos costes parciales, que se disponen en diferentes secciones del documento.

4.6.1 Número de piezas a producir por año

En primer lugar, se ha calculado el número de piezas a producir por año. Para ello, se ha considerado que la producción se realiza en tres turnos (mañana, tarde y noche) de 8 horas al día durante 5 días a la semana (de lunes a viernes). Esto da una media de 222 turnos por equipo. Partiendo de esta base, se calculan los segundos trabajados o de producción al año, obteniendo el siguiente resultado:

$$\frac{8h}{1 \text{ turno}} \cdot \frac{3600s}{1h} \cdot \frac{222 \text{ turnos}}{1 \text{ equipo}} \cdot 3 \text{ equipos} = 19.180.800 \frac{s}{\text{año}} \text{ de producción}$$

Una vez conocido el tiempo que se dispone para realizar las piezas, es necesario conocer los segundos que se tarda en producir cada pieza. Para ello, se ha realizado una tabla con las diferentes operaciones por las que pasa la materia prima hasta llegar a ser el producto final y sus respectivos tiempos de ciclo estimados (Tabla 4.6).

OPERACIONES	TIEMPO DE CICLO (s)
Grabado de guías y test	15
Grabado de piezas	315
Limpieza de piezas	30
Agrupación de componentes	60
Control	12
Embalaje	20
Control	12
TIEMPO MÁXIMO	315

Tabla 4.6. Tiempo de ciclo de las operaciones.

Como se plantea una producción en serie, donde las piezas pasan secuencialmente por diferentes procesos consecutivos y en un flujo continuo, la velocidad de producción está determinada por el cuello de botella, es decir, por la operación más lenta. En este caso, se estima que el tiempo de producción es de 315 s/pieza, siendo la acción que determina este tiempo el grabado de piezas. El grabado es la operación más lenta debido a que se requiere una precisión tediosa de conseguir.

Es conveniente hacer referencia a que este tiempo viene determinado de una estimación relacionada con las condiciones de producción, que difieren de las que se han tenido a la hora de hacer el prototipo físico en este trabajo. Con los recursos expuestos en esta propuesta de presupuesto, se cuenta con unos dispositivos de mayor procesamiento y capacidad, y componentes adicionales, como puede ser un extractor de aire, que harán que la maquinaria no se sobrecaliente y se pueda llegar a la misma precisión final en menor tiempo.

Uniendo los segundos de producción al año con los segundos que se tarda en producir cada pieza, se obtiene un total de 60.891 piezas al año:

$$\frac{19.180.800s}{1 \text{ año}} \cdot \frac{1 \text{ pieza}}{315s} \approx 60.891 \text{ piezas/año}$$

Sin embargo, la producción no tiene una eficiencia continua del 100%, por lo que se le aplica un OEE (eficiencia general de los equipos) del 80%:

$$60.891,43 \frac{\text{piezas}}{\text{año}} \cdot 0,80 \approx 48.713 \text{ piezas/año}$$

4.6.2 Coste de la materia prima

Tras el cálculo del número de piezas producidas al año, se calcula el coste de la materia prima. A continuación en la Tabla 4.7, se presenta la lista de componentes necesarios para comenzar el proceso de fabricación, su cantidad, su proveedor y su precio unitario, con el fin de calcular el coste de la materia prima de una maqueta.

Elemento	Proveedor	Cantidad	Precio Unitario	IMPORTE TOTAL
Lámina madera de tilo 300x225 (2mm)	OWLKELA	1	2,60 €	2,60 €
Lámina madera de tilo 225x150 (2mm)	OWLKELA	1	1,75 €	1,75 €
Lámina madera de tilo 300x225 (3mm)	BAFUMIU	1	2,17 €	2,17 €
Tornillo	STANDERS	10	0,03 €	0,30 €
Arandela	STANDERS	20	0,03 €	0,60 €
Tuerca	STANDERS	10	0,03 €	0,30 €
Lija	STEBRUAM	2	0,19 €	0,38 €
Manual de montaje	CEVAGRAF	1	1,50 €	1,50 €
Plancha cartón micro corrugado 530x600mm (2mm) impresa	LACAPPELL	1	3,25 €	3,25 €
Plancha cartón kraft 380x280mm (1mm)	LACAPPELL	1	1,50 €	1,50 €
Plancha cartulina blanca fina 490x270mm (0,5mm)	LACAPPELL	1	1,90 €	1,90 €
				16,25 €

Tabla 4.7. Coste de la materia prima.

Se concluye que el coste de la materia prima necesaria es 16,25 €/maqueta.

4.6.3 Coste de maquinaria, utillaje y herramientas

Otros costes a tener en cuenta son aquellos asociados a las máquinas, utillaje y herramientas empleadas para la realización de la maqueta. Para calcular estos costes se ha realizado una lista con las diferentes operaciones que se deben realizar y sus correspondientes máquinas, utillaje y herramientas, así como los precios orientativos de cada una (Tabla 4.8):

Operaciones	Recepción del material	Carretilla elevadora	Maquinaria	30.000 €
		Contenedores almacenamiento temporal	Herramienta	3.000 €
	Control materia prima	Mesa inspección	Utillaje	600 €
		Equipo medición dimensional	Maquinaria	500 €
		Plantillas de verificación	Herramienta	300 €
	Grabado	2 x Creality Falcon 2	Maquinaria	4.000 €
		Sistema de extracción	Utillaje	300 €
	Limpieza y revisión	Soplete de aire comprimido	Herramienta	50 €
	Control	Inspección visual		
	Embalaje	Etiquetadora	Maquinaria	11.000 €
	Control	Inspección visual		
	Transporte	Carretilla	Maquinaria	9.000 €
		Caja de cartón	Herramienta	29.410 €
		Cinta adhesiva	Herramienta	2.900 €
	Almacenamiento	Estanterías	Utillaje	13.200 €

Tabla 4.8. Coste de maquinaria, utillaje y herramientas.

Finalmente se agrupan por categorías (maquinaria, herramienta y utillaje) y se calcula la amortización correspondiente a cada una en la Tabla 4.9 y la Tabla 4.10:

TOTAL SIN AMORTIZACIONES

TOTAL MAQUINARIA	54.500 €
TOTAL HERRAMIENTA	32.760 €
TOTAL UTILLAJE	14.100 €
TOTAL	101.360 €

Tabla 4.9. Total sin amortizaciones.

AMORTIZACIONES	TOTAL CON AMORTIZACIONES	
10 años	TOTAL MAQUINARIA	5.450 €/año
5 años	TOTAL HERRAMIENTA	6.552 €/año
5 años	TOTAL UTILLAJE	2.820 €/año
	TOTAL	14.822 €/año

Tabla 4.10. Total con amortizaciones.

4.6.4 Costes financieros

Los costes financieros se calcularán teniendo en cuenta un 3% de coste de financiación y un 50% de los costes en activos de financiación (Tabla 4.11). Se consideran que los costes en activos son aquellos dedicados a la maquinaria, utillaje y herramienta.

COSTES FINANCIEROS	DATOS	3 % de coste de financiación 50 % de los costes en activos de financiación
	TOTAL	1.520,40 €

Tabla 4.11. Costes financieros.

4.6.5 Coste del alquiler de la infraestructura

Se considera que se debe de tener en cuenta el precio asociado al alquiler de una nave donde desarrollar la producción. Para ello, se ha estimado que la superficie de esta es de al menos 450 m². La nave se establecerá en un polígono industrial, abaratando los costes.

El alquiler aproximado al mes es de 2.025 €, por lo que se considera que el precio al año es de $2.025 \text{ €/mes} \cdot 12 \text{ meses} = 24.300 \text{ €/año}$.

4.6.6 Costes MOD, MOI y otros gastos

Para el cálculo de los costes de producción, también se deben de tener en cuenta los costes asociados a la mano de obra, tanto la directa como la indirecta.

En primer lugar, en función de las diferentes operaciones que hay que realizar para la correcta fabricación de la maqueta, se ha estimado el número de trabajadores por operación en la Tabla 4.12:

Cálculo de trabajadores	Recepción del material	1
	Control materia prima	1
	Grabado de piezas	2
	Limpieza y revisión	1
	Agrupación de componentes	1
	Control	1
	Embalaje	1
	Control	1
	Transporte	1
	Almacenamiento	1

Tabla 4.12. Cálculo de trabajadores.

Por otro lado, también se ha considerado que debe haber dos responsables en planta para controlar las diferentes operaciones que realizan los trabajadores. Partiendo de los siguientes datos (Tabla 4.13) se ha calculado el dinero dedicado a los salarios de los trabajadores al año:

Datos de partida	nº trabajadores/turno	11	trabajadores/turno
	nº responsables/turno	2	trabajadores/turno
	Horas trabajadas/turno	8	h/turno
	nº turnos/día	3	turnos/día
	Días trabajados/año	222	días
	Absentismo	5	%
	Salario/h por trabajador	20	€/h
	Salario/h por trabajador	23	€/h

Tabla 4.13. Datos de partida para el cálculo del cómputo de horas trabajadas al año.

Una vez estimados los trabajadores, se determinará el cómputo de horas trabajadas al año:

$$\frac{11 \text{ trabajadores}}{1 \text{ turno}} \cdot \frac{3 \text{ turnos}}{1 \text{ día}} \cdot \frac{222 \text{ días trabajo}}{1 \text{ año}} \cdot \frac{8 \text{ h}}{1 \text{ turno}} = 58.608 \text{ h/año}$$

Se han calculado las horas no trabajadas y las efectivas aplicando un 5% de absentismo. Calculando las horas no trabajadas mediante la aplicación de este porcentaje de absentismo:

$$58.608 \text{ h/año} \cdot 0,05 = 2.930,4 \text{ h/año}$$

Por lo tanto, las horas efectivas son:

$$58.608 \text{ h/año} - 2.930 \text{ h/año} = 55.678 \text{ h/año}$$

Sin embargo, para calcular el salario anual de los trabajadores se han dividido las horas totales trabajadas entre 0,95, obteniendo las horas a trabajar. Aplicando el salario del trabajador:

$$\frac{58.608 \text{ h/año}}{0,95} \cdot 20 \text{ €/h} \approx 1.233.852 \text{ €/año}$$

Se hace el mismo cálculo con los dos responsables y, en resumen, se obtienen los siguientes resultados (Tabla 4.14):

HORAS TRABAJADAS	OPERARIOS	Horas a pagar	61.692,63 h/año
		Horas totales	58.608 h/año
		Horas no trabajadas	2.930,40 h/año
		Horas efectivas	55.677,60 h/año
		Salario/h por trabajador	20,00 €/h
		TOTAL OPERARIOS	1.233.852,63 €/año
	RESPONSABLES	Horas a pagar	11.216,84 h/año
		Horas totales	10.656 h/año
		Horas no trabajadas	532,80 h/año
		Horas efectivas	10.123,20 h/año
		Salario/h por trabajador	23,00 €/h
		TOTAL RESPONSABLES	257.987,32 €/año
	TOTAL MOD		1.491.839,95 €/año

Tabla 4.14. Mano de obra directa.

Para la mano de obra indirecta, se considera que es un 20-25% del MOD, que ya se ha calculado. Se tiene en cuenta un 25% (Tabla 4.15):

COSTE MOI	25 % de MOD	
	TOTAL MOI	372.960 €/año

Tabla 4.15. Mano de obra indirecta.

Por otro lado, se cuentan con otros gastos como la energía, el mantenimiento de las instalaciones y gastos generales, que serán un 20% del MOI (Tabla 4.16):

OTROS GASTOS	Energía	
	Mantenimiento instalaciones	
	Gastos generales	
		20 % de MOI
	TOTAL	74.592 €/año

Tabla 4.16. Otros gastos.

4.6.7 Coste SCRAPS

El coste SCRAPS es aquel que está asociado al coste del desperdicio de material o de productos que no cumplen las especificaciones preestablecidas durante el proceso de producción. Para su cálculo se ha considerado que este coste equivale a un 2% de la producción y de los costes financieros.

En primer lugar, se debe obtener el cálculo del coste de la producción mediante la producción anual (el número de piezas del año) y el coste de la materia prima empleada en cada pieza. Es por ello por lo que:

$$48.713 \frac{\text{piezas}}{\text{año}} \cdot 16,25 \frac{\text{€}}{\text{pieza}} = 791.586,25 \text{ €/año}$$

Como el coste financiero ya se ha obtenido anteriormente:

$$0,02 \cdot \left(791.586,25 \frac{\text{€}}{\text{año}} + 1.520,40 \frac{\text{€}}{\text{año}} \right) = 15.862,13 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

4.6.8 Coste total y final de la pieza

En la Tabla 4.17 se resumen los costes que conforman el coste total y permiten determinar el precio de venta para obtener un beneficio.

El coste total es la suma de todos ellos. Si se divide el coste anual entre la producción anual de maquetas, se obtiene un total de 57,22 €/maqueta.

Aplicando un 20% de beneficio estimado a ese coste, se obtiene un precio de venta por unidad de, aproximadamente, 68,67 €. Este valor de venta se establece en **69,99 €** siguiendo las prácticas comunes en el establecimiento de precios del mercado.

Piezas a producir	48.713 piezas/año	CÁLCULO	791.586,25 €/año
Coste materia prima	16,25 €/pieza	€/año	
Alquiler nave	24.300 €		
Coste MOD	1.491.840 €/año		
Coste MOI	372.960 €/año		
Otros gastos	74.592 €/año		
Coste SCRAPS	15.862,13 €/año		
Amortizaciones	14.822 €/año		
Costes financieros	1.520,40 €/año		
COSTE TOTAL	2.787.482,78 €		
COSTE/PIEZA	57,22 €		
PRECIO DE VENTA	68,67 €		20% de beneficio estimado

Tabla 4.17. Coste total y precio de venta.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

A continuación, se exponen las conclusiones del trabajo centradas en el proyecto desarrollado como producto y propuesta profesional. En primer lugar, es conveniente recordar los objetivos impuestos al comienzo del proyecto, y comprobar en qué grado se han cumplido o no.

El presente Trabajo de Fin de Grado ha tenido como objetivo principal el desarrollo de una línea de maquetas didácticas de uniones estructurales bajo el diseño de una marca comercial, con el propósito de facilitar su comprensión a través de un enfoque visual y tangible. Tras un largo proceso de investigación, conceptualización, diseño y desarrollo, se ha concluido una propuesta que busca aportar un valor combinado en el diseño de producto y en el ámbito educativo. Esto ha supuesto el grueso del desarrollo del proyecto, y se ha resuelto de manera satisfactoria. Así, de acuerdo con los objetivos del apartado 1.3:

- Se trata de un modelo que, combinando forma y función, representa fielmente la realidad de una manera estética, atractiva y sencilla. Se ha seleccionado como modelo base para el trabajo la unión pilar-dintel atornillada en pórtico recto, que ha sido el ejemplo perfecto sobre el que desarrollar una metodología de diseño que facilitará en gran medida el diseño de futuros modelos.
- Una vez convertido el proceso de ensamblado en un proceso pedagógico a través del etiquetado, el manual de montaje y la propia maqueta, se puede concluir que el producto facilita la comprensión de conceptos relativos a las uniones en la ingeniería estructural y ofrece un recurso de aprendizaje manipulativo.
- La selección de la madera de tilo como material y del corte y grabado láser como pilares del modelo ha conseguido generar un resultado fácil de ensamblar y con un acabado profesional y atractivo, permitiendo además el grabado del etiquetado y de marcas relevantes en cada pieza.
- La maqueta se ha diseñado atendiendo a criterios de claridad didáctica que han determinado el producto como recurso formativo. Esto se ha desarrollado mediante dos etiquetados distintos y grabados adicionales que dotan a la maqueta de carácter pedagógico no solo para quien la construye. Otra de las formas en las que se ha resuelto este objetivo ha sido el diseño de un manual de montaje con símbolos y notas informativas que complementan el proceso de construcción. Este manual es fundamental para el cumplimiento de varios objetivos del proyecto. En primer lugar, facilita y guía el montaje para convertirlo en una tarea sencilla e intuitiva que no requiere

de experiencia previa. Además, aporta una dimensión didáctica clave mediante el aprendizaje acerca de uniones estructurales de manera simultánea al montaje.

- El diseño de la marca y la identidad corporativa que rodea al modelo ha abierto las puertas al diseño de un producto en su totalidad. Se ha conseguido diseñar una marca que, mediante su logotipo y sus colores, representa una identidad cercana y didáctica, pero a la vez técnica y profesional. Esta imagen corporativa ha traspasado el marco conceptual, materializándose en el *packaging* y otros elementos como puede ser el manual de montaje.

Entre los objetivos se mencionaron algunos secundarios que lo dotan de un valor adicional. El presente Trabajo de Fin de Grado hace una gran labor de estudio del mundo del modelismo de madera, y actualmente llena un vacío en este ámbito, estableciendo una descripción detallada de sus usos, métodos y formas.

Mediante un estudio exhaustivo se ha identificado el funcionamiento de este tipo de maquetas de madera y sus características. No se ha encontrado ningún recurso abierto en el que esté plasmado, desde un punto de vista de diseño, la metodología y forma de proceder a la hora de diseñar un modelo físico de este tipo en detalle. Este trabajo constituye un *framework* que puede servir de referencia accesible en el mundo del modelismo de madera y en el desarrollo de un producto con fines didácticos.

Se puede considerar así que el proyecto ha culminado en un producto válido que cumple los objetivos propuestos y que supone el recurso didáctico que se quería aportar al área de las uniones estructurales en el ámbito de la ingeniería técnica.

En cuanto a las **conclusiones formativas**, el desarrollo de este trabajo en todas sus etapas ha requerido de competencias básicas correspondientes al Grado de Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del Producto. El diseño completo que se ha realizado ha supuesto un aprendizaje en profundidad a nivel conceptual, metodológico y técnico. El trabajo y la desenvoltura adquirida con la técnica del corte y grabado láser ha sido fundamental para desarrollar el proyecto, y se ha visto beneficiada del trabajo de taller que se realiza durante los 4 años de grado, adquiriendo soltura y manejo con diversas herramientas e iniciativa con las nuevas. Esto combinado con el uso paramétrico de *software* de modelado tridimensional han sentado las bases del proyecto.

Además, los valores impartidos en el grado han estado presentes en el trabajo, pues en el transcurso del diseño de producto se ha desarrollado una metodología de diseño que tiene un sentido futuro. Esto abre las puertas a que una posterior expansión de este proyecto se beneficie de esta metodología y simplifique su desarrollo.

En este trabajo se han desarrollado todas las etapas del proceso de diseño de un producto industrial, resultando en un proyecto transversal. El diseño de una marca con su correspondiente identidad corporativa es el resultado de un profundo aprendizaje a lo largo del grado acerca de este área tan importante en un producto. Además, el diseño y desarrollo del *packaging* es un resultado directo del conocimiento y competencias adquiridas en asignaturas como “Envase y embalaje” o “Taller de diseño III”. El avanzado manejo de *softwares* como “Adobe Illustrator”, que se imparte durante el grado en asignaturas como “Diseño básico y creatividad” o “Diseño y comunicación audiovisual” ha resultado esencial en un proyecto como este.

Igualmente, todo este trabajo de diseño de producto ha sido combinado con la documentación propia de un proyecto industrial, cuyos conocimientos corresponden con la materia impartida en la asignatura de “Oficina Técnica”. La realización de planos industriales y de un flujograma de proceso va más allá del diseño del producto en sí mismo, sino que abarcan su fabricación y completan la dimensión de este trabajo. Así mismo la propuesta de un presupuesto industrial, con su correspondiente desglose en costes parciales y determinación de un precio de venta, aporta un análisis económico al proyecto vital en una propuesta de esta magnitud.

El trabajo ha requerido la aplicación de conocimientos establecidos durante el grado y una larga experimentación con nuevas técnicas que han derivado en un aprendizaje multidisciplinar. A partir de múltiples ensayos se han realizado guías que han ido facilitando el proceso de diseño y que han supuesto una formación transversal en diversos campos de la ingeniería y el diseño industrial. Todo este aprendizaje ha culminado en el desarrollo completo de un producto industrial que abarca todas las áreas esenciales en su diseño, y que cumple los objetivos propuestos para el proyecto.

5.1 LÍNEAS FUTURAS

El desarrollo de este trabajo se ve limitado por varios factores, tanto temporales como de recursos, de manera que es interesante identificar distintas posibilidades de ampliación y mejora del proyecto. A continuación, se exponen algunas líneas futuras de desarrollo y profundización.

- La principal y más evidente es la **ampliación del catálogo didáctico**. Esta línea es uno de los fundamentos del trabajo más que una posibilidad de ampliación. Este trabajo ha estado limitado a nivel temporal y es por ello que se seleccionó un modelo base (la unión atornillada pilar-dintel en pórtico recto) sobre el cuál desarrollar una metodología de diseño con el objetivo de aumentar el catálogo de uniones estructurales en el futuro. Esta metodología simplificará el diseño de nuevas maquetas y ampliará el contenido pedagógico. Algunos ejemplos de modelos futuros son la unión pilar-dintel en pórtico inclinado, la maqueta de un pórtico completo o la adición de una viga ortogonal articulada. Estas maquetas se podrían aprovechar del packaging desarrollado, del flujograma y de la propuesta de presupuesto para su desarrollo.

- Otra vía de estudio futuro puede estar centrada en la **industrialización del proceso de fabricación**, buscando maneras de disminuir significativamente los tiempos de ciclo. Esto mejoraría la rentabilidad del proceso, pues el número de maquetas producidas al año está directamente relacionado con el precio de venta del producto. El precio actual es viable y está justificado, pues las maquetas de este tipo tienen precios parecidos, y esta contiene una dimensión educativa que aporta un valor añadido. Sin embargo, reducir los tiempos de ciclo del grabado láser abarataría el producto y lo haría más accesible.

- Una línea interesante sería buscar la **validación educativa en entornos reales**. La realización de pruebas piloto en centros educativos para evaluar la utilidad pedagógica y la viabilidad como recurso educativo aportaría un feedback importante que podría mejorar algún aspecto del producto.

- Otra de las líneas que no se han desarrollado al completo debido a las limitaciones temporales del proyecto es la **digitalización y el apoyo multimedia** del producto. La incorporación de manuales en formato digital o códigos QR con vídeos explicativos del montaje pueden mejorar la experiencia del usuario y facilitar su uso.

- Por último, si se planteara el producto en entornos educativos se podría hacer una propuesta de **certificación CE en contextos escolares**. En el trabajo no se ha determinado que el producto tenga que cumplir ninguna directiva de marcado CE obligatorio, pues se trata de un producto didáctico sin partes eléctricas ni electrónicas. Se podría aplicar la Directiva 2001/95/CE de Seguridad general de los Productos (SGP) para poder entrar en el mercado europeo, pero al no estar destinada a menores de 14

años, no se debe aplicar la Directiva 2009/48/CE de Seguridad de los juguetes. Si realmente el producto entrase en el mercado y tuviera algún tipo de aplicación escolar se debería realizar un estudio en profundidad en este ámbito para asegurarse de que el producto cumple la normativa necesaria en cada caso.

5.2 CONSIDERACIONES ADICIONALES

A lo largo del desarrollo del trabajo, se ha tenido siempre en cuenta el impacto medioambiental del producto. Tanto en la selección de materiales, como en su tratamiento e incluso en el *packaging*, el aspecto ecológico ha sido uno de los fundamentos del proyecto. En una actualidad en la que la relación del producto y su interacción con el medioambiente ya es uno de los pilares del diseño, este trabajo así lo ha tenido en cuenta.

El Trabajo de Fin de Grado se ha desarrollado en su mayor parte en el Departamento de Estructuras de la Escuela de Ingenierías Industriales de Valladolid. Debido a que allí se cuenta con una máquina *Creality Falcon 2* de corte y grabado láser, todas las operaciones con la madera se han llevado a cabo en este lugar. Previo a la escritura de esta memoria se ha realizado un periodo largo de experimentación con la madera y de investigación de las nuevas herramientas de trabajo, que ha formado parte de la labor del alumno en la asignatura “Prácticas en empresa”.

Combinando las láminas de madera utilizadas en la fase de pruebas y experimentación con las usadas en el desarrollo del modelo físico final, se han usado 20 láminas de 200x200x2 mm de la marca OWLKELA. Los tornillos, arandelas, tuercas y las láminas de madera de 3 mm de grosor (se han usado 5 de 300x200 mm) se han facilitado en el laboratorio, de manera que en total el gasto real del proyecto ha sido 32,28 €. El coste total del desarrollo del proyecto si el departamento no hubiera facilitado estos últimos elementos habría aumentado en 12 €. Si además se añade el precio de la máquina de corte y grabado láser el coste aumenta en 1.999 €. Así se puede concluir que el coste total del proyecto del TFG (suma de materia prima y maquinaria) es de 2.043,28 €.

En un contexto donde muchos productos didácticos se apoyan en tecnología compleja o informática, este producto apuesta por una solución física, tangible y analógica, que pone en valor la simplicidad, la claridad visual y el valor pedagógico del montaje manual. Hacer partícipe al usuario de su ensamblaje refuerza el aprendizaje activo, mejorando la comprensión espacial y potenciando habilidades psicomotrices a la vez que el entendimiento conceptual de un área fundamental en la ingeniería técnica. Este proyecto es el resultado de la combinación del diseño de producto y la ingeniería industrial en un recurso pedagógico que cubre una necesidad cada vez más creciente en el marco educacional actual.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN, «Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado (BOE),» 20 Febrero 2009. [En línea]. Available: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2009-2893. [Último acceso: 20 Marzo 2025].
- [2] J. Henao y M. S. Merchán Prince, «Influencia de la percepción visual en el aprendizaje,» *Ciencia y tecnología para la Salud Visual y Ocular*, vol. IX, nº 1, pp. 93-101, 2003.
- [3] MINISTERIO DE EDUCACIÓN, CULTURA Y DEPORTE, «Modelos y maquetas: la vida a escala,» Subdirección General de Documentación y Publicaciones, 2014. [En línea]. Available: <https://oa.upm.es/80411/2/80411.pdf>. [Último acceso: 22 Febrero 2025].
- [4] Robotime, «ROKR PUZZLES,» [En línea]. Available: <https://rokrpuzzles.com/es/?srsId=AfmBOoqF6dxTbmW0-i5kDQzKz5gnLZE5N--R7k3vbf25MJ36ypbNm4Wk>. [Último acceso: 2 Marzo 2025].
- [5] CYPE Ingenieros, S.A., «Uniones atornilladas para naves con perfiles laminados y armados en doble T,» [En línea]. Available: <https://info.cype.com/es/tema/uniones-ii-naves-con-perfiles-en-doble-t-uniones-atornilladas/>. [Último acceso: 8 Febrero 2025].
- [6] C. López-Colina Pérez, M. A. Serrano López, M. Lozano García y I. García García, «Uso de modelos didácticos de goma-EVA para la enseñanza de estructuras metálica (PINN-20-A-103),» Oviedo, 2020.
- [7] P. Urbán Brotóns, *Construcción de Estructuras Metálicas*, Cuarta ed., Alicante: EDITORIAL CLUB UNIVERSITARIO, 2006, p. 475.
- [8] MAJOFESA maderas, «MADERA DE TILO,» [En línea]. Available: <https://www.majofesa.com/tablon-de-madera/madera-de-tilo/>. [Último acceso: 12 Mayo 2025].
- [9] FRAMUN TECHNO, «Diferencia entre el marcado, el grabado y el corte láser,» [En línea]. Available: <https://www.framuntechno.com/diferencia-marcado-grabado-corte->

laser/#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20el%20corte%20y,%2C%20cart%C3%
%B3n%2C%20cuero%20y%20metacrilato.. [Último acceso: 7 Febrero 2025].

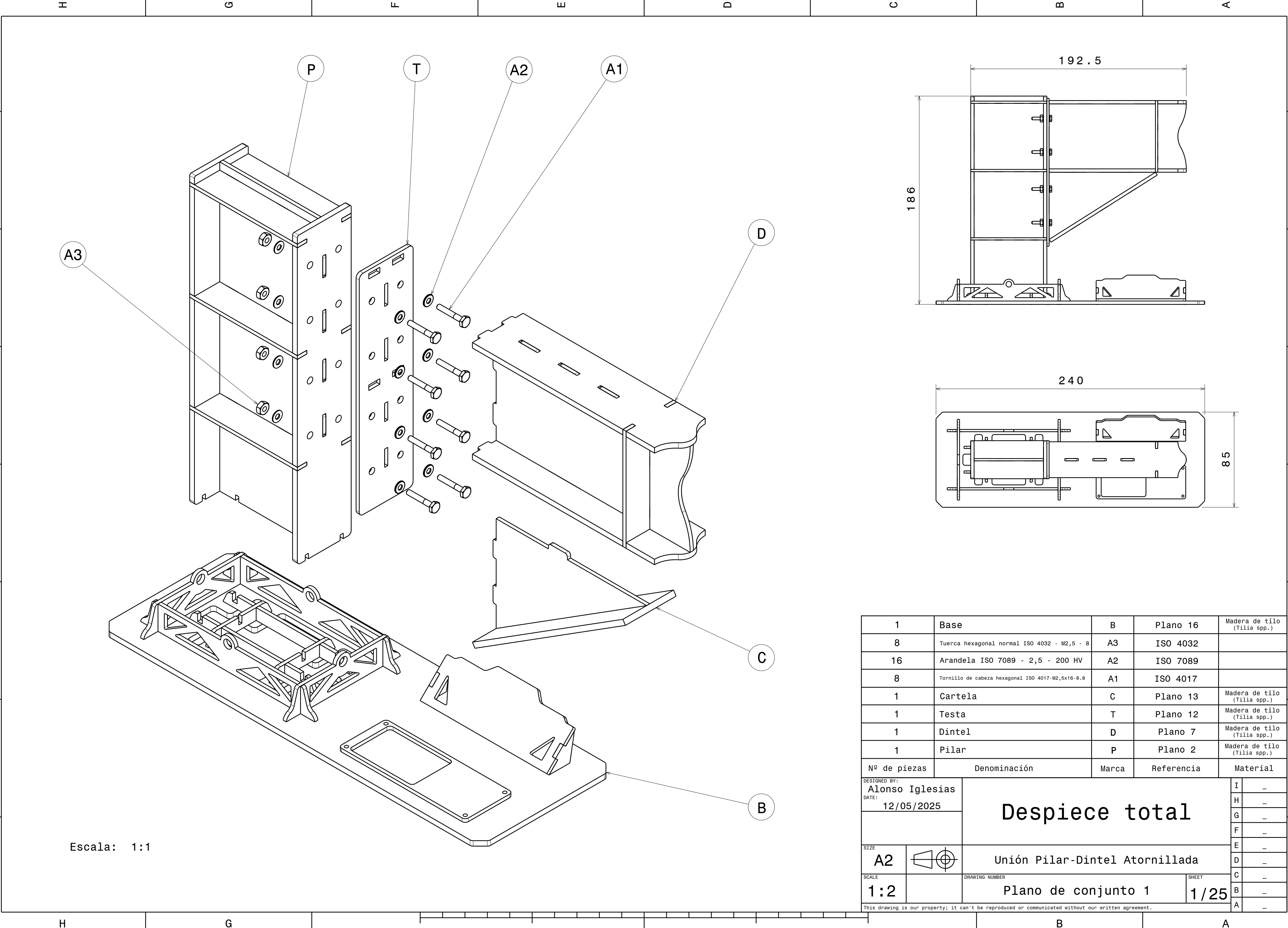
- [10] CREALITY STORE, «Falcon2 Máquina de Corte y Grabado láser de 40W,» Creality, [En línea]. Available: <https://store.creality.com/es/products/falcon2-maquina-laser-grabado-y-corte-40w>. [Último acceso: 21 Febrero 2025].
- [11] Creality Wiki, «Creality Falcon2 (12W/22W/40W) User Manual,» [En línea]. Available: <https://wiki.creality.com/en/laser-engraver/falcon2/user-manual>. [Último acceso: 9 Abril 2025].
- [12] LightBurn, «LightBurn User Manual Español,» LightBurn Software, LLC, [En línea]. Available: <https://www.sellos.cat/img/cms/LIGHTBURN%20Manual%20de%20instrucciones.pdf>. [Último acceso: 16 Enero 2025].
- [13] Á. Picazo Iranzo, «MEDIOS DE UNIÓN DE ESTRUCTURAS METÁLICAS,» Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica (UPM) Grupo Energía, Edificación y Patrimonio, 11 Mayo 2007. [En línea]. Available: <https://oa.upm.es/3786/1/Picazo-E15.pdf>. [Último acceso: 28 Marzo 2025].
- [14] J. Desai, «Beam To Column Connections In Steel Structure - Types & Design Procedure,» HOUSE CONSTRUCTION, 12 Agosto 2023. [En línea]. Available: <https://gharpedia.com/blog/beam-to-column-connections/>. [Último acceso: 9 Mayo 2025].
- [15] BMB Steel, «Bolted Connections Used In Pre-Engineere Steel Buildings,» 16 Septiembre 2023. [En línea]. Available: <https://bmbsteel.com.vn/en/connection-systems-in-pre-engineered-steel-buildings>. [Último acceso: 12 Mayo 2025].
- [16] CATIADOC, «Creating a Clash (Interference) Check,» CATIA v5, [En línea]. Available: http://catiadoc.free.fr/online/cfyugsimanl_C2/cfyugsimanlut0105.htm. [Último acceso: 26 Abril 2025].
- [17] UGEARS, «UGEARS Models,» [En línea]. Available: https://ugearsmodels.com/es?srsId=AfmBOopMFlwz_r2hU_9_ICwX5BFGXnzm uBm-Q8jbAQlgwAbfrqXX-mkF. [Último acceso: 13 Febrero 2025].
- [18] EWA, «Eco-Wood-Art,» Konglomerat LLC, [En línea]. Available: <https://eco-wood-art.by/en/>. [Último acceso: 3 Marzo 2025].

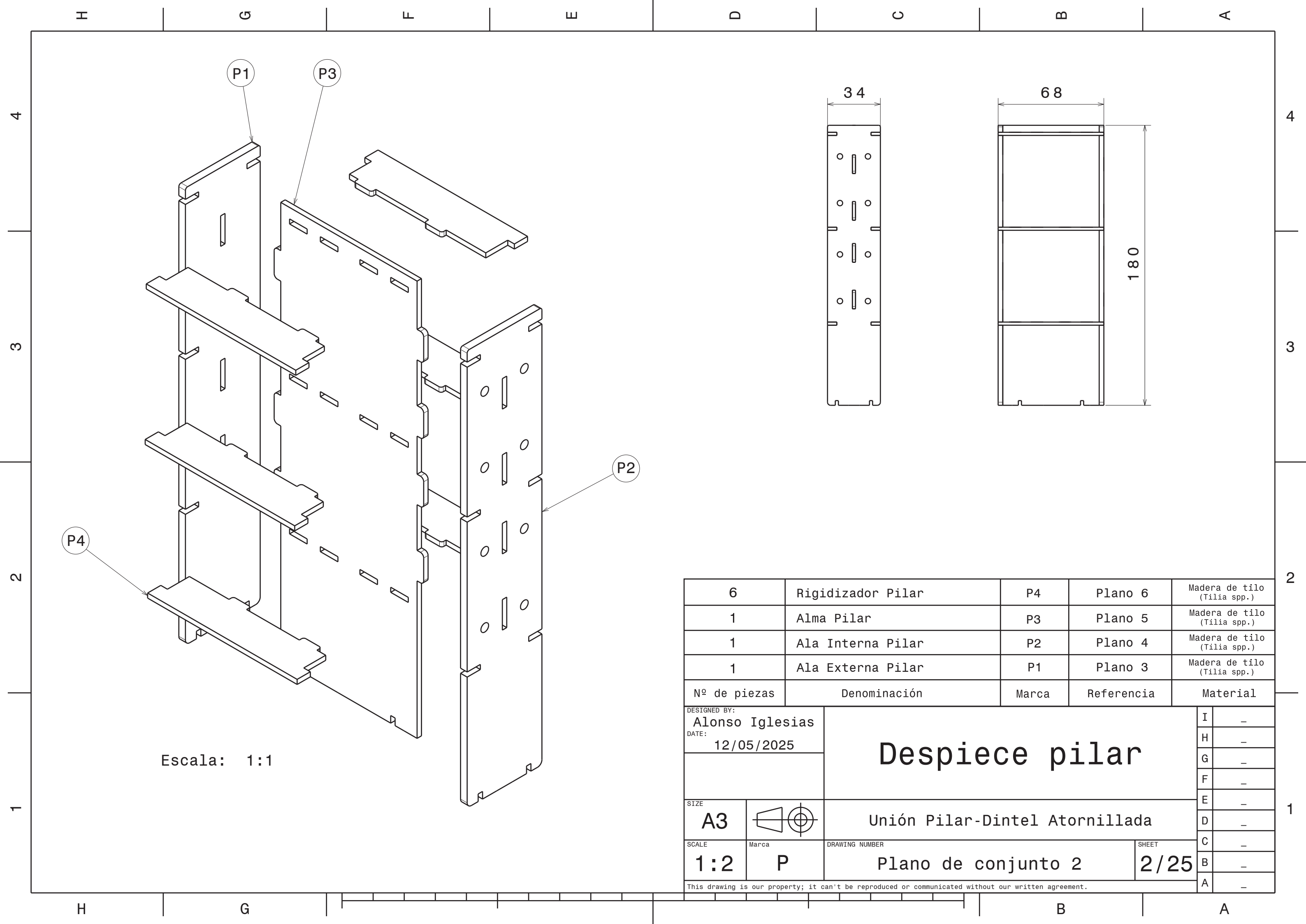
- [19] ROBOTIME, «ROBOTIME Building things to life,» [En línea]. Available: <https://www.robotimeonline.com/es>. [Último acceso: 25 Febrero 2025].
- [20] MINISTERIO DE INDUSTRIA Y TURISMO, «Oficina Española de Patentes y Marcas (OEPM),» GOBIERNO DE ESPAÑA, [En línea]. Available: <https://oepm.es/es/>. [Último acceso: 11 Mayo 2025].
- [21] EUROPEAN UNION INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE (EUIPO), «TM view,» UE, [En línea]. Available: <https://www.tmdn.org/tmview/#/tmview>. [Último acceso: 23 Mayo 2025].
- [22] M. Ciafardo y E. de Santo, «BREVIARIO DE LAS LEYES DE LA GESTALT,» 4 Febrero 2025. [En línea]. Available: https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/147756/Documento_completo.pdf?sequence=1.
- [23] E. Harada Olivares, «Logotipos, isotipos, imagotipos e isologos, una aclaración terminológica,» [En línea]. Available: [https://www.paginaspersonales.unam.mx/files/157/Logotipos,_isotipos,_imagotipos_e_isologos_\(e.pdf](https://www.paginaspersonales.unam.mx/files/157/Logotipos,_isotipos,_imagotipos_e_isologos_(e.pdf). [Último acceso: 2 Abril 2025].
- [24] J. Lillo, J. Collado, R. del Valle y P. Sánchez, «Color, contraste y diseño ergonómico (I) La percepción del color,» Facultad de Psicología (Universidad Complutense), https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/46343793/Color_contraste_y_diseo_ergonomico_I_La20160608-26762-1c94jf6-libre.pdf?1465407546=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DColor_contraste_y_diseno_ergonomico_I_La.pdf&Expires=1752176214&Signature=b.
- [25] F. Jiménez, «Contraste de colores y accesibilidad,» 16 Noviembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.paradigmadigital.com/dev/contraste-colores-accesibilidad/>. [Último acceso: 6 Mayo 2025].
- [26] The Color Palette Studio, «Color Contrast Checker,» [En línea]. Available: <https://thecolorpaletttestudio.com/pages/free-color-contrast-checker>. [Último acceso: 21 Marzo 2025].
- [27] A. L. Cervera Fantoni, Envase y Embalaje. La venta silenciosa., Segunda ed., ESIC Editorial, 1998.

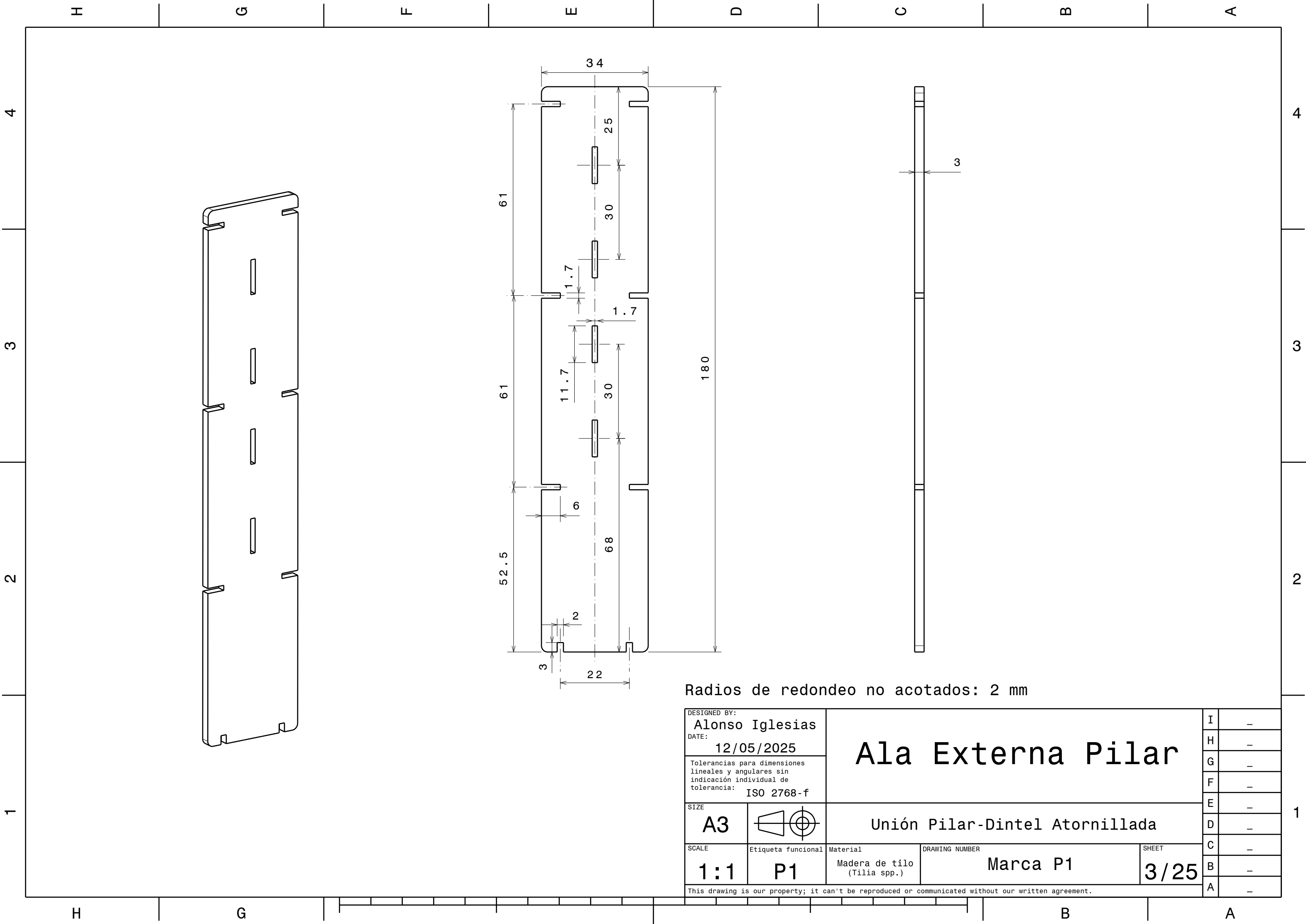


ANEXO DE PLANOS

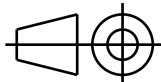
DISEÑO Y PROTOTIPADO DE UNA LÍNEA DE MAQUETAS DE MADERA
DE UNIONES TÍPICAS DE ESTRUCTURAS METÁLICAS

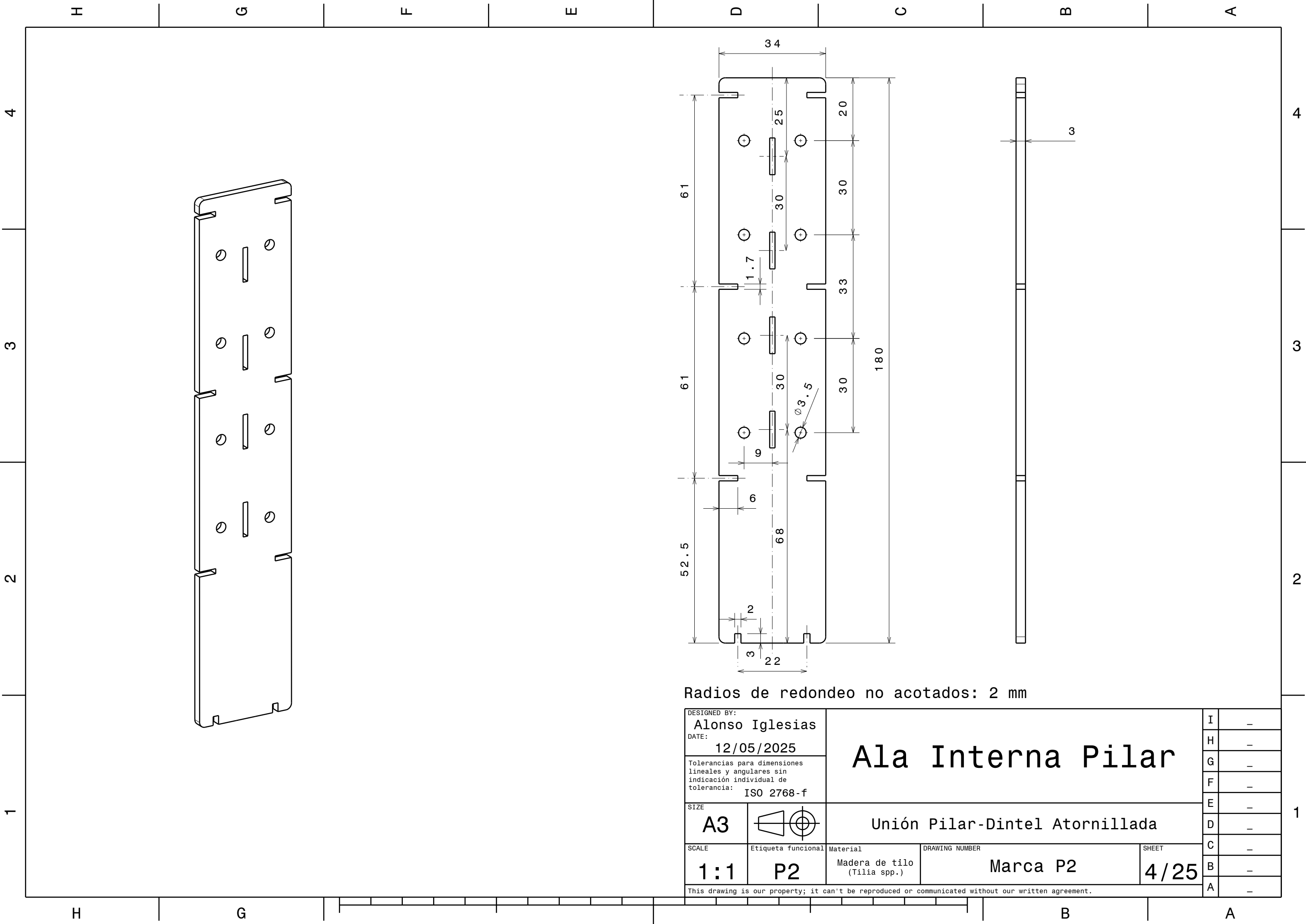


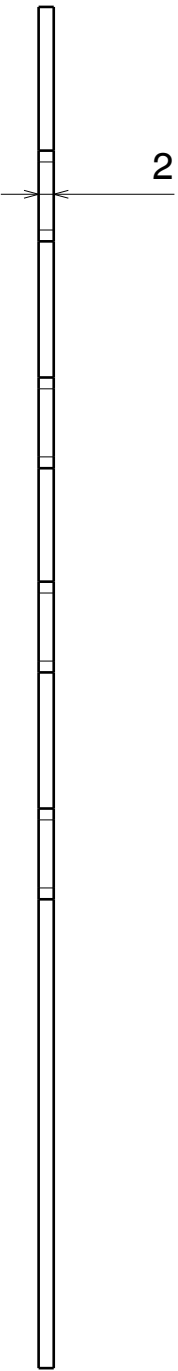
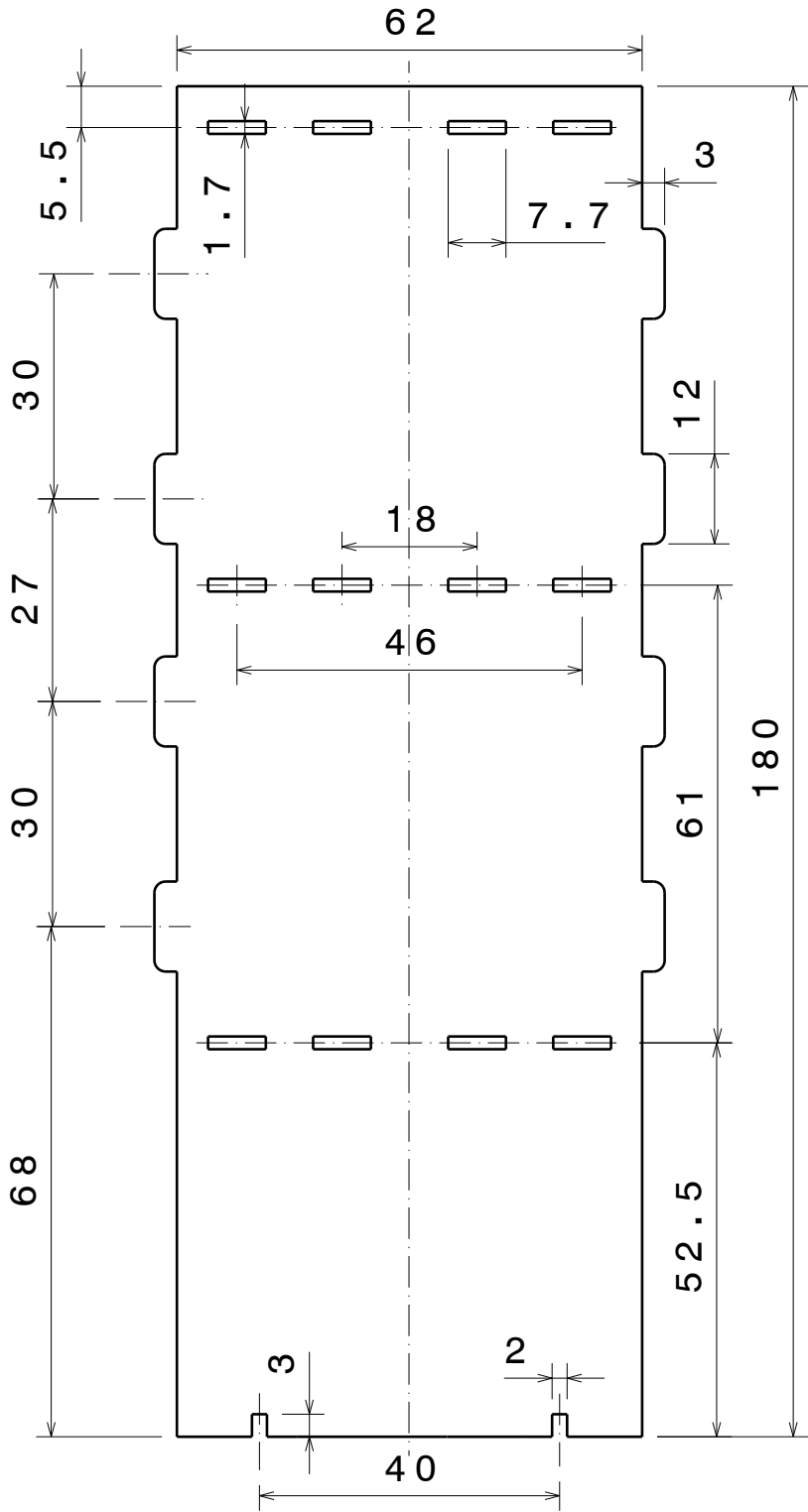
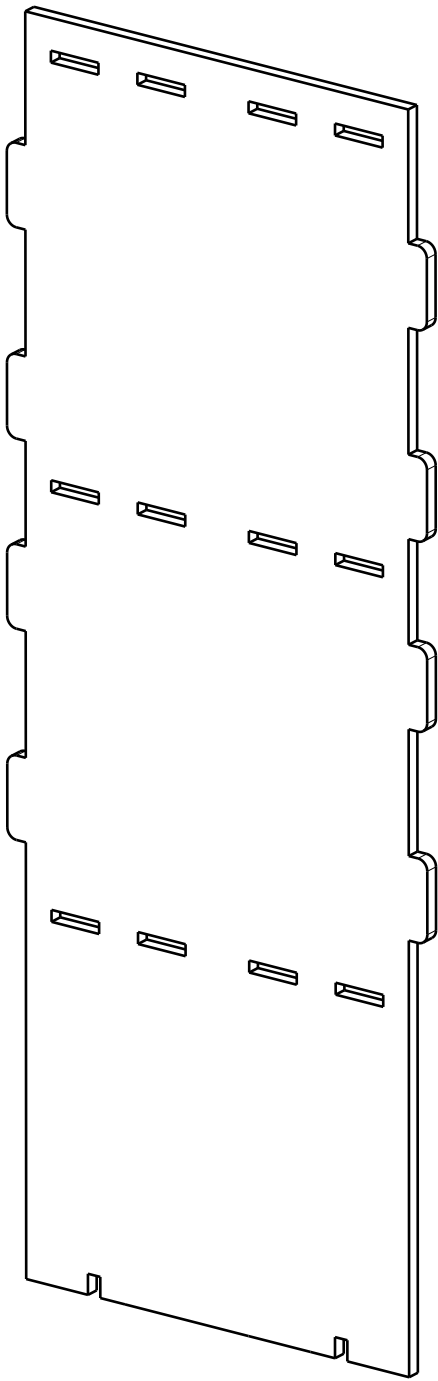




Radios de redondeo no acotados: 2 mm

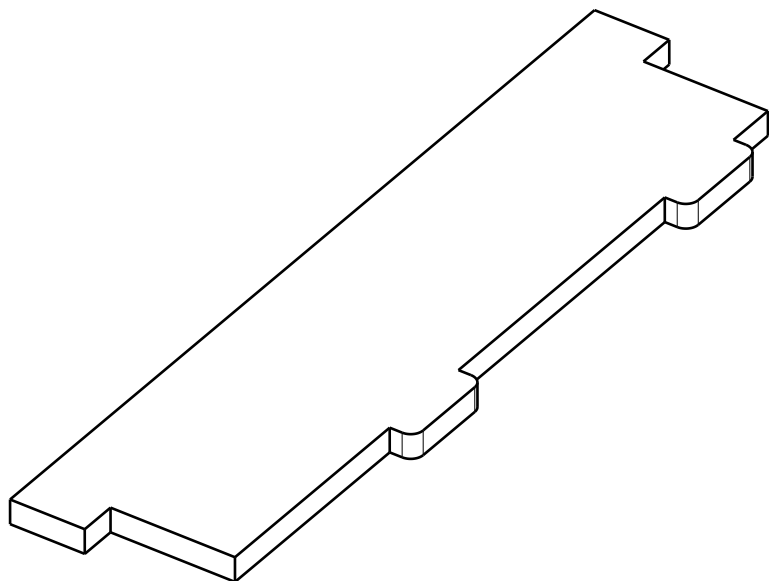
DESIGNED BY: Alonso Iglesias		Ala Externa Pilar		I	—
DATE: 12/05/2025				H	—
Tolerancias para dimensiones lineales y angulares sin indicación individual de tolerancia: ISO 2768-f				G	—
SIZE A3		Unión Pilar-Dintel Atornillada		F	—
SCALE 1:1	Etiqueta funcional P1	Material Madera de tilo (Tilia spp.)	DRAWING NUMBER Marca P1	E	—
				D	—
				C	—
				B	—
				A	—
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.					



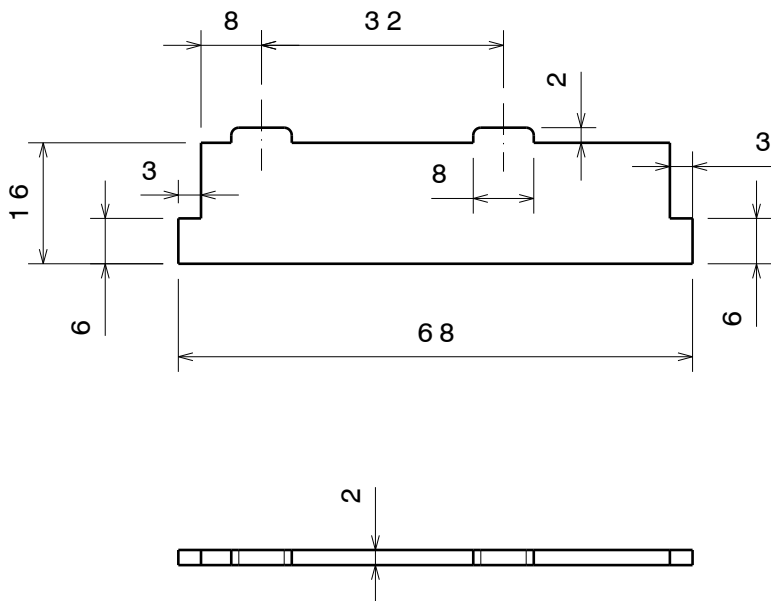


Radios de redondeo no acotados: 1,5 mm

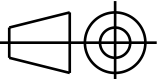
DESIGNED BY: Alonso Iglesias DATE: 12/05/2025		Alma Pilar		I	-
				H	-
Tolerancias para dimensiones lineales y angulares sin indicación individual de tolerancia: ISO 2768-f		Unión Pilar-Dintel Atornillada		G	-
				F	-
SIZE A3		Marca P3		E	-
SCALE 1:1	P3			D	-
Etiqueta funcional	Material Madera de tilo (Tilia spp.)	DRAWING NUMBER	SHEET	C	-
				B	-
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.				A	-

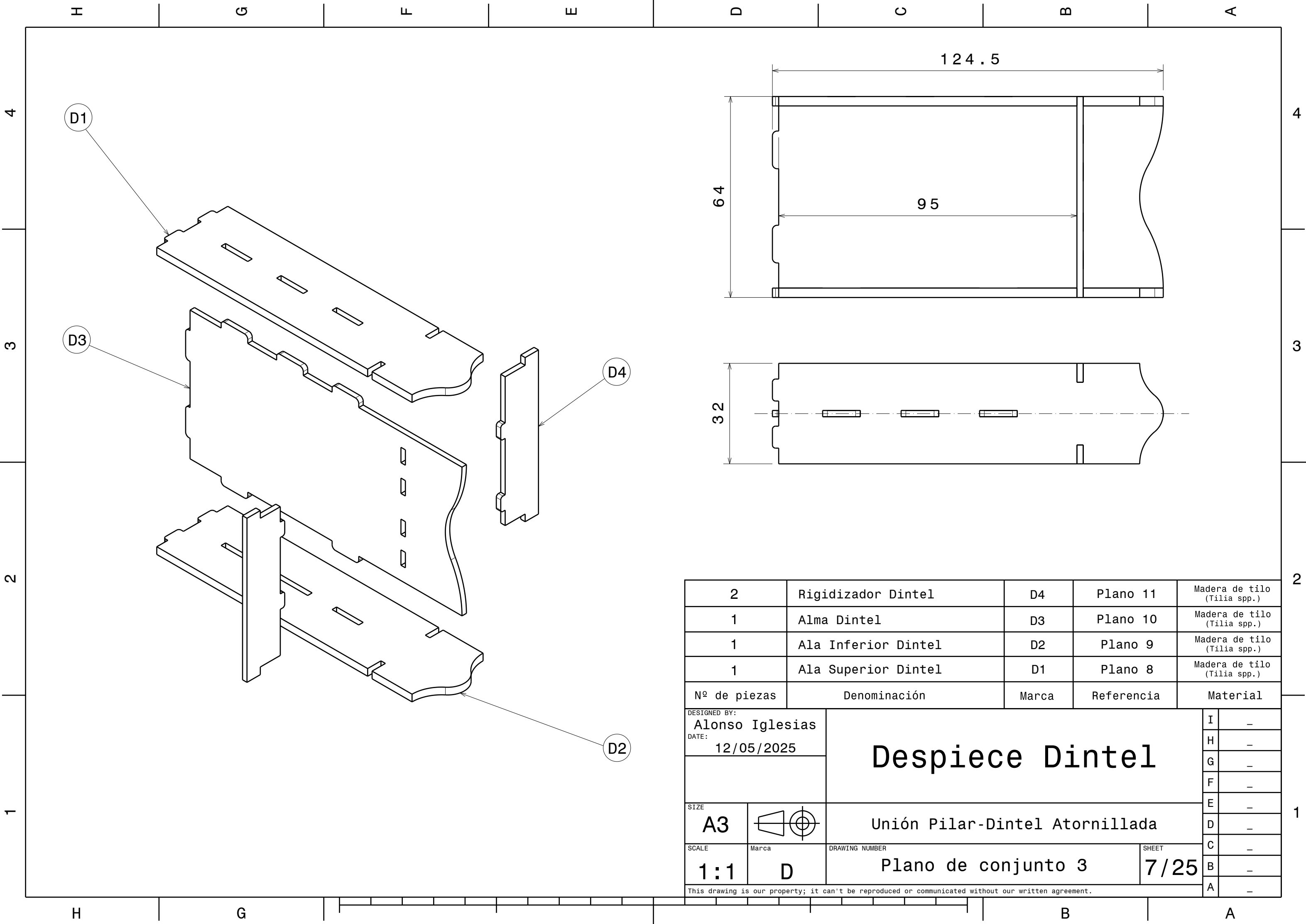


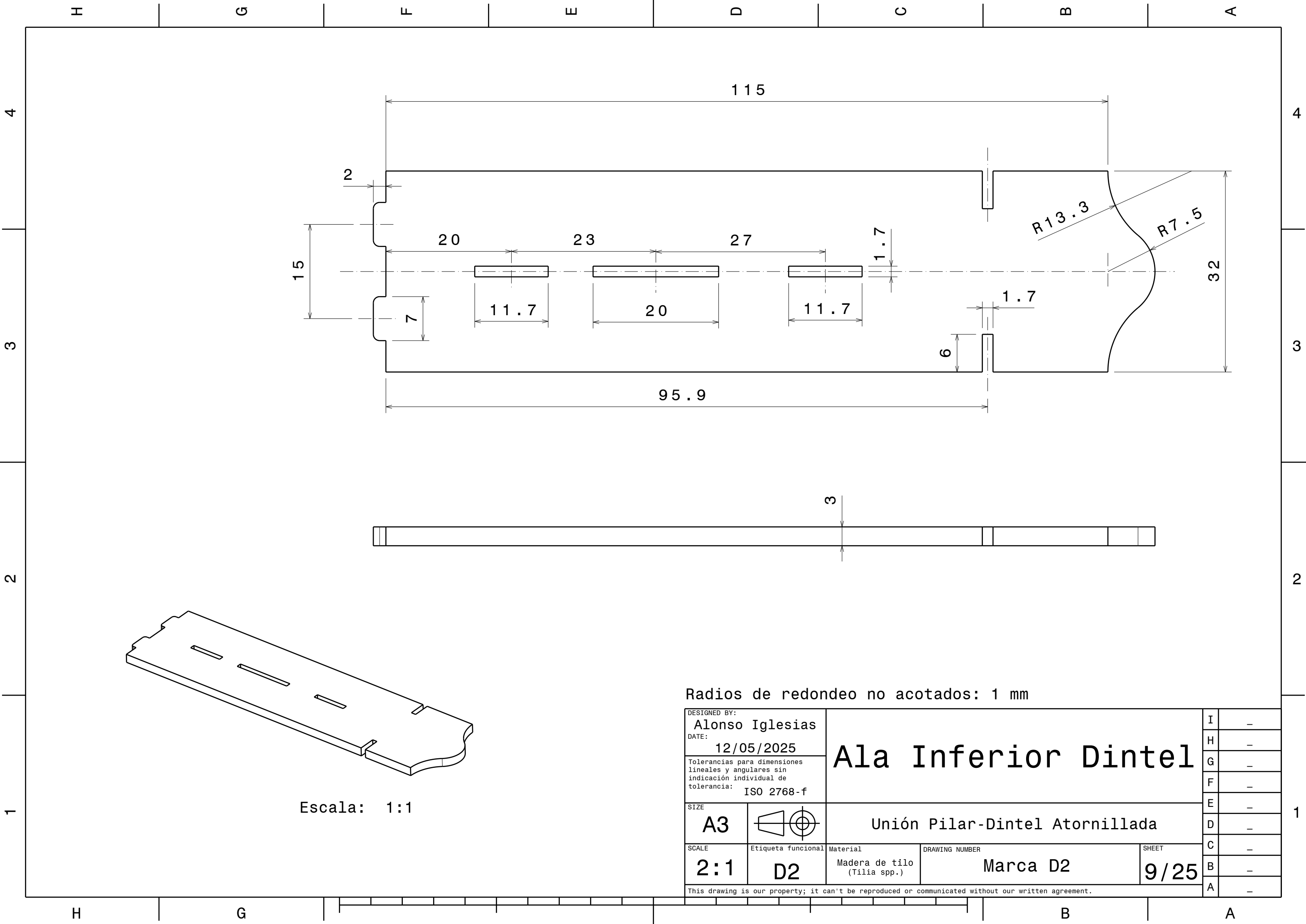
Escala 2:1

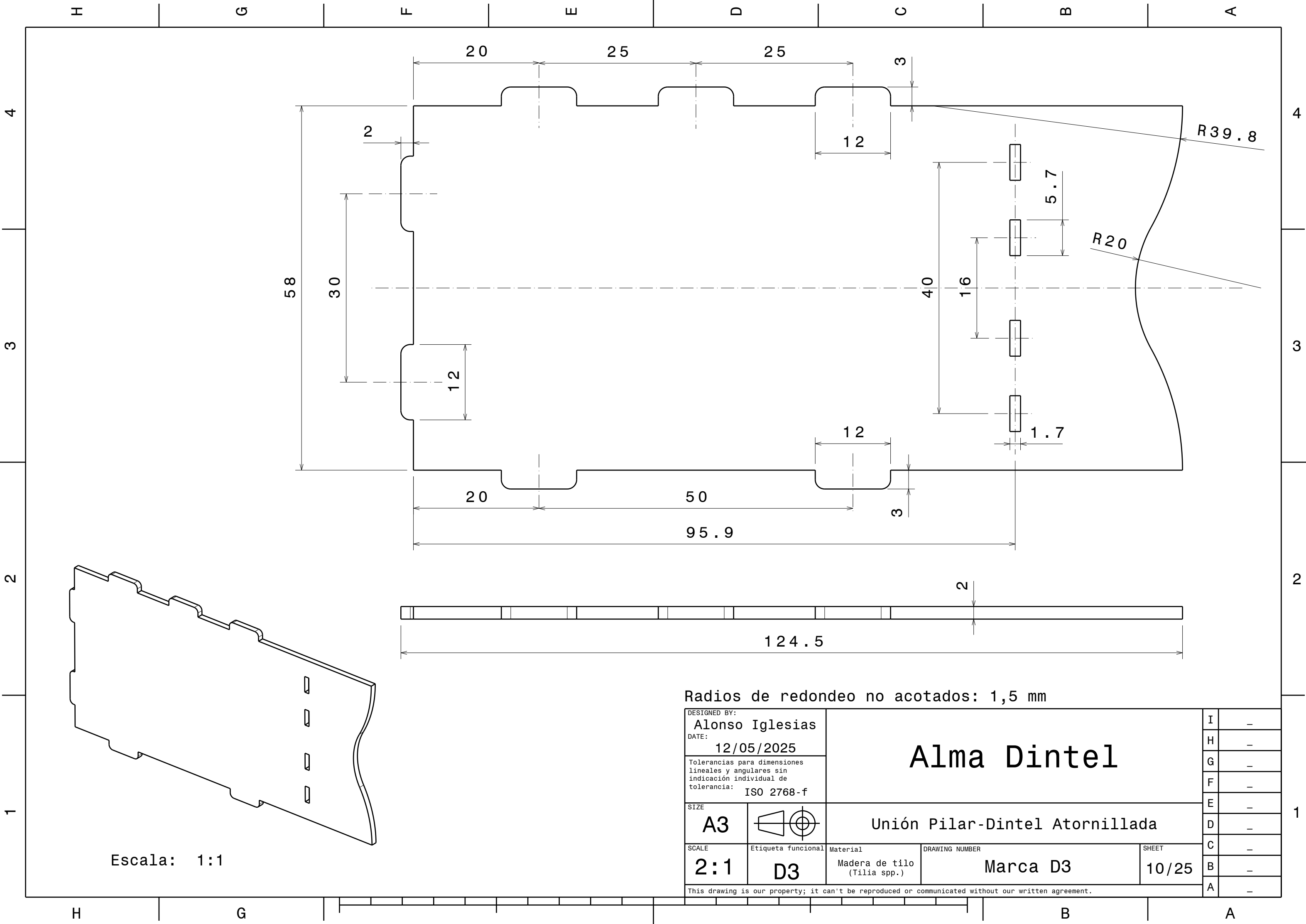


Radio de redondeo no acotados: 1 mm

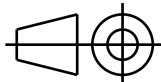
DESIGNED BY: Alonso Iglesias		Rigidizador Pilar			I	-
DATE: 12/05/2025					H	-
Tolerancias para dimensiones lineales y angulares sin indicación individual de tolerancia: ISO 2768-f					G	-
SIZE A4		Unión Pilar-Dintel Atornillada			F	-
SCALE 1:1	Etiqueta funcional PR	Material Madera de tilo (Tilia spp.)	DRAWING NUMBER Marca P4	SHEET 6/25	E	-
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.					D	-
					C	-
					B	-
					A	-



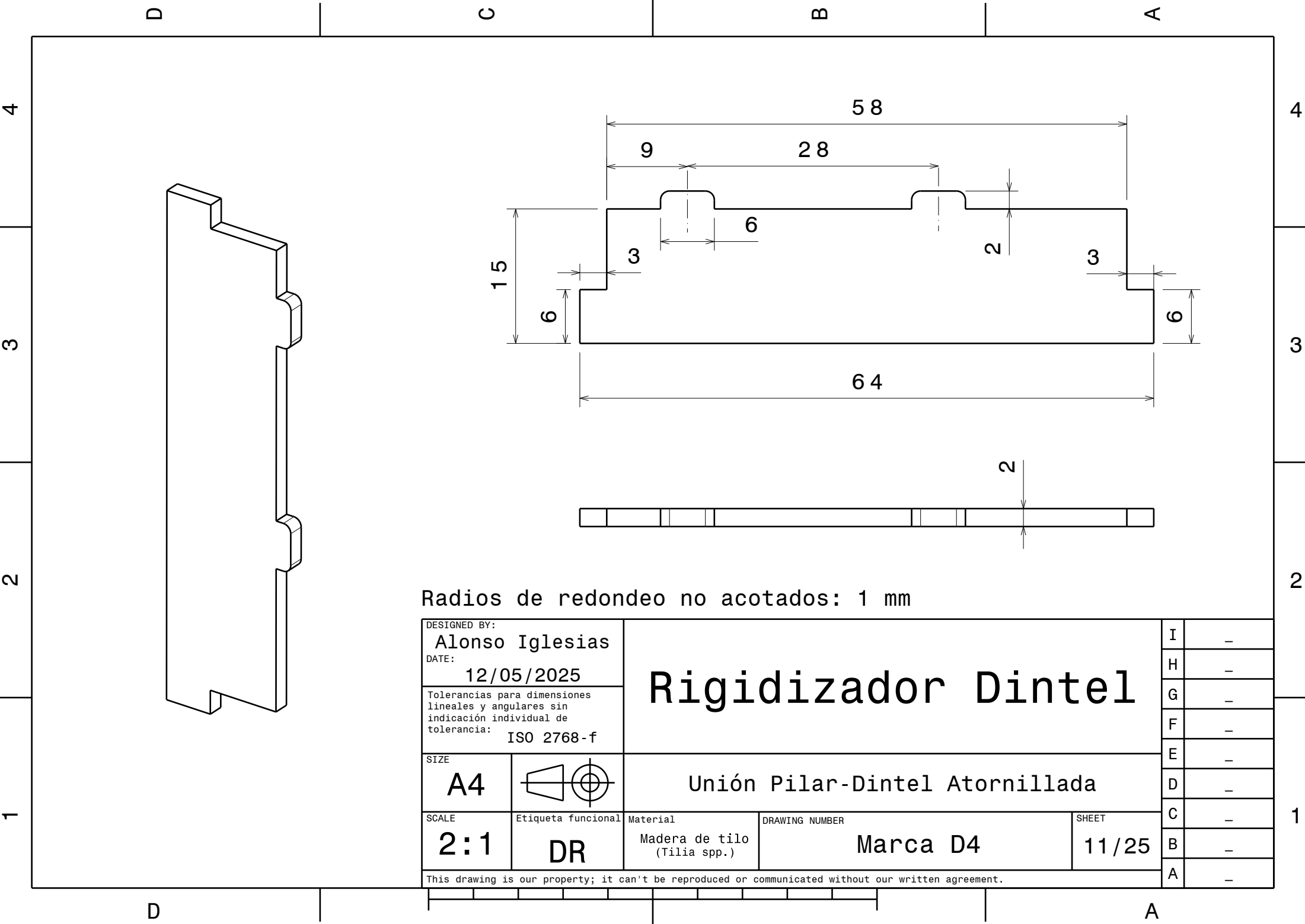




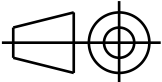
Radio de redondeo no acotados: 1,5 mm

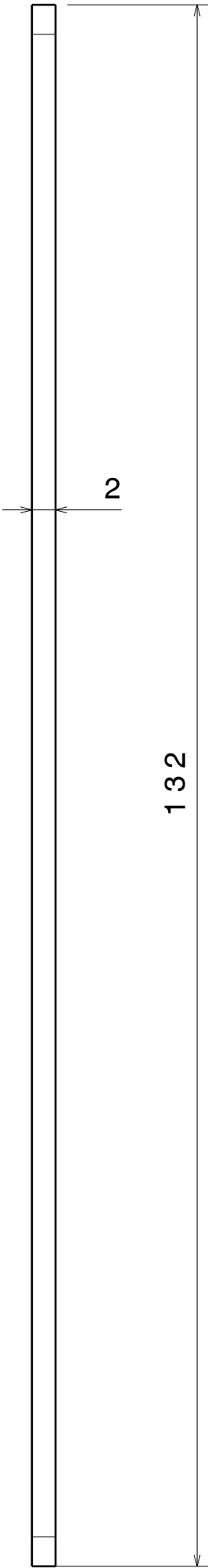
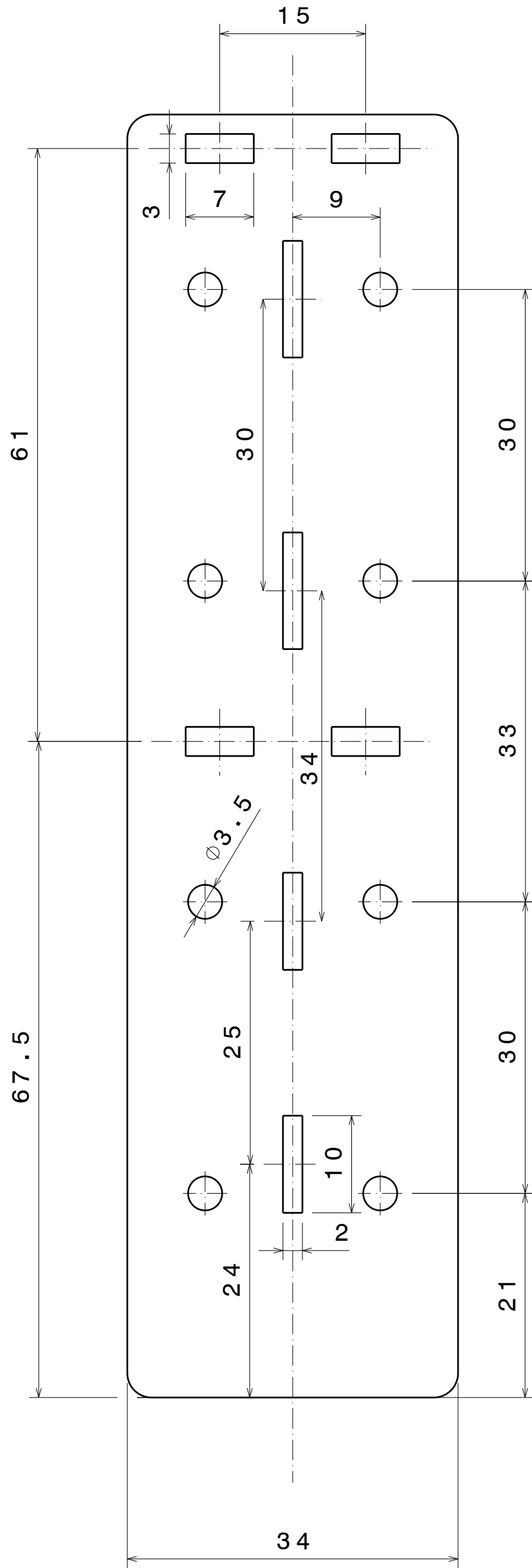
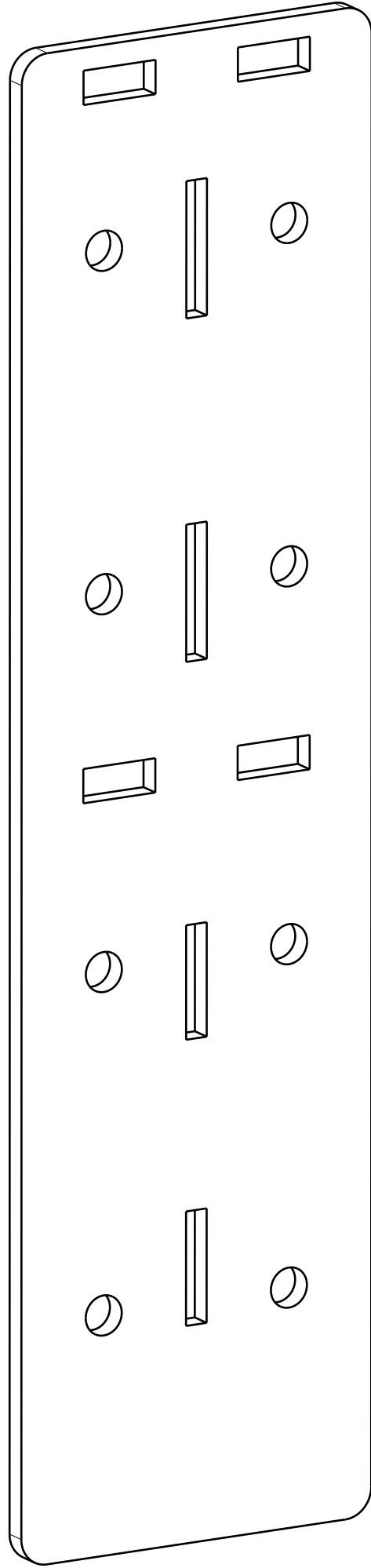
DESIGNED BY: Alonso Iglesias		Alma Dintel		I	-	
DATE: 12/05/2025				H	-	
Tolerancias para dimensiones lineales y angulares sin indicación individual de tolerancia: ISO 2768-f				G	-	
SIZE A3		Unión Pilar-Dintel Atornillada		F	-	
				E	-	
SCALE 2:1	Etiqueta funcional D3	Material Madera de tilo (Tilia spp.)	DRAWING NUMBER Marca D3	SHEET 10/25	D	-
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.					C	-
					B	-
					A	-

Escala: 1:1



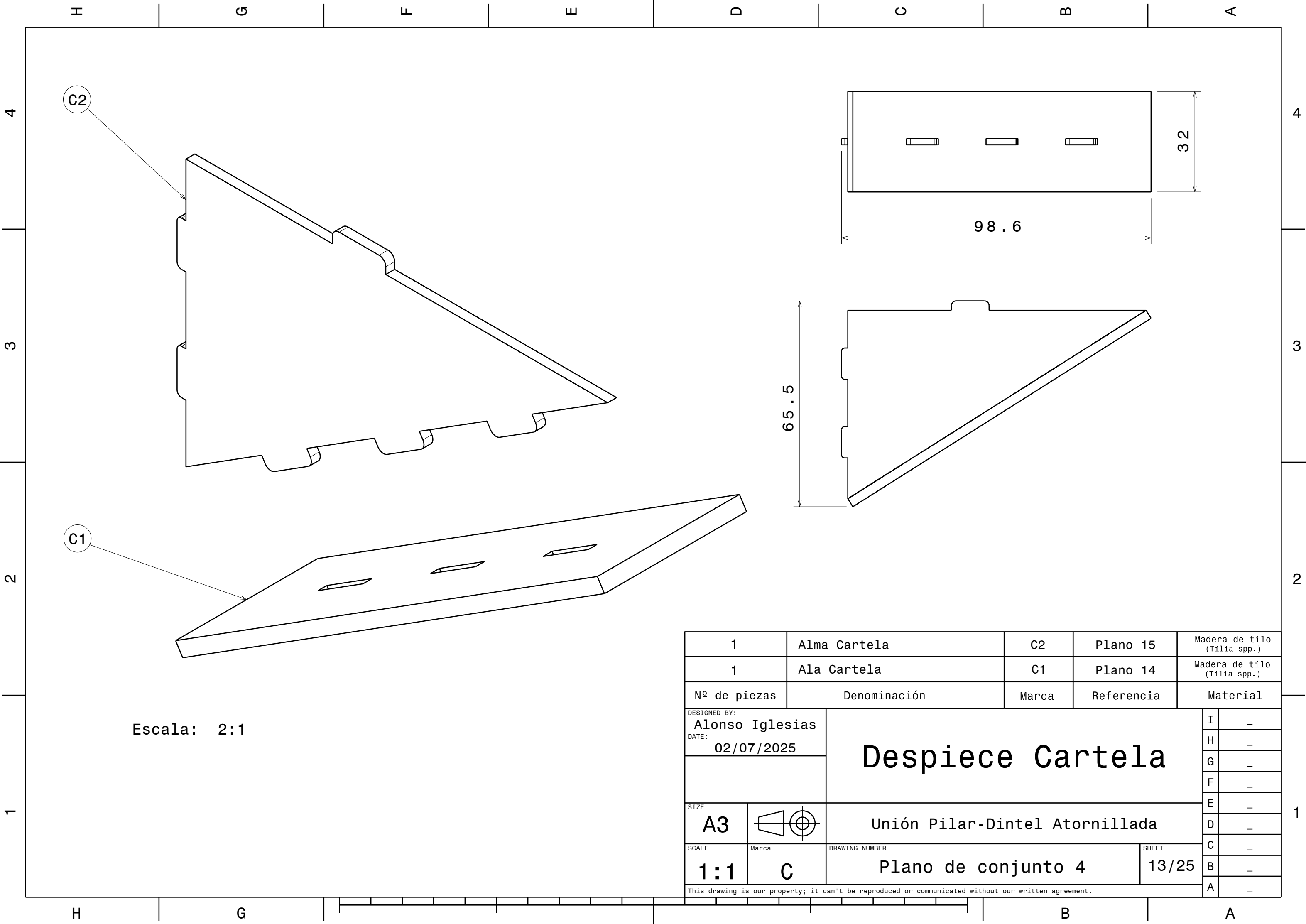
Radios de redondeo no acotados: 1 mm

DESIGNED BY: Alonso Iglesias		Rigidizador Dintel			I	—
DATE: 12/05/2025					H	—
Tolerancias para dimensiones lineales y angulares sin indicación individual de tolerancia: ISO 2768-f					G	—
				F	—	
				E	—	
SIZE A4		Unión Pilar-Dintel Atornillada			D	—
SCALE 2:1	Etiqueta funcional DR	Material Madera de tilo (Tilia spp.)	DRAWING NUMBER Marca D4	SHEET 11/25	C	—
					B	—
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.					A	—

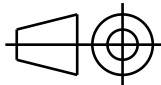


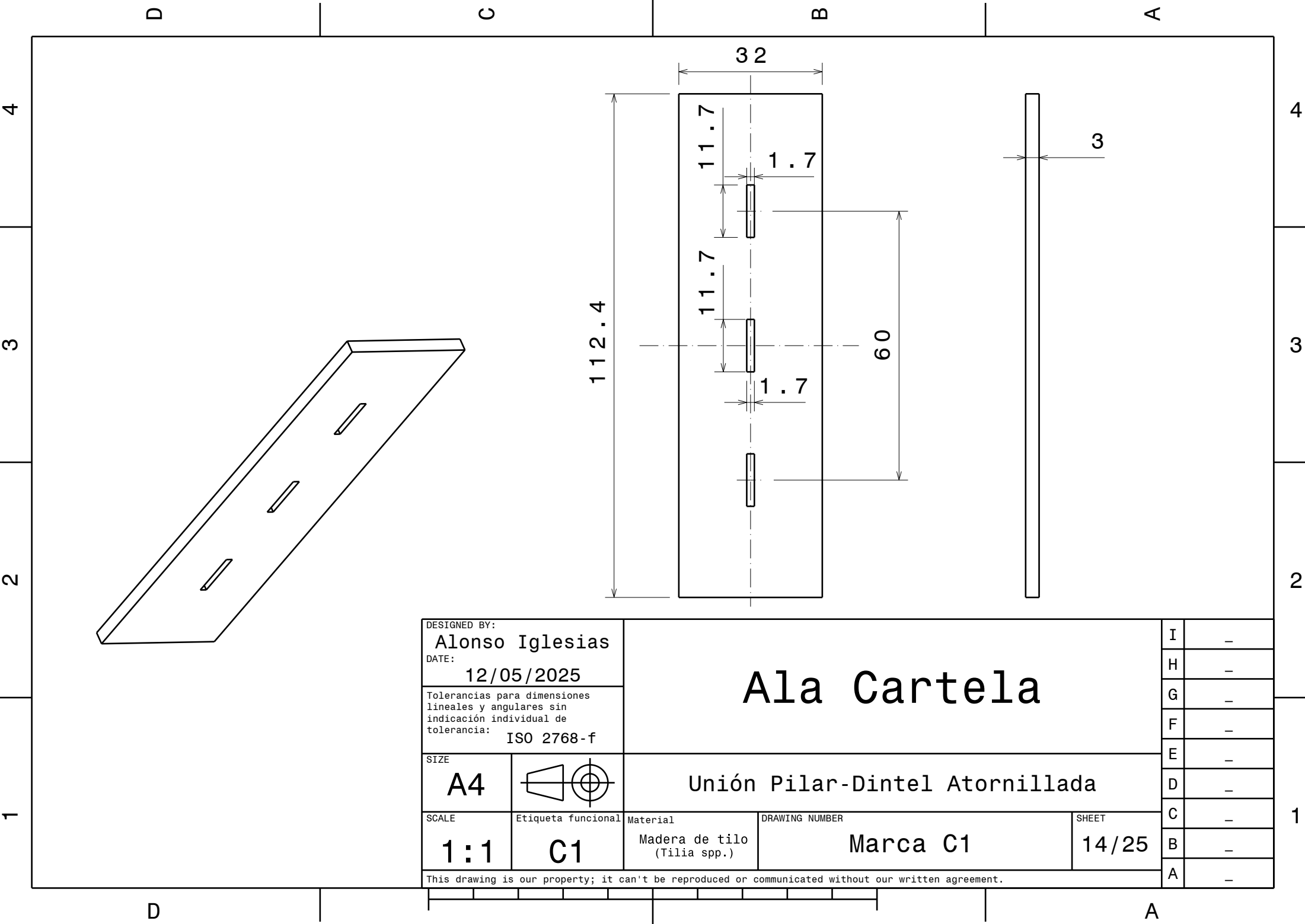
Radios de redondeo no acotados: 2,5 mm

DESIGNED BY: Alonso Iglesias		Placa de Testa		I	-
DATE: 12/05/2025				H	-
Tolerancias para dimensiones lineales y angulares sin indicación individual de tolerancia: ISO 2768-f				G	-
				F	-
				E	-
SIZE A2		Unión Pilar-Dintel Atornillada		D	-
SCALE 2:1	Etiqueta funcional T1	Material Madera de tilo (Tilia spp.)	DRAWING NUMBER Marca T1	C	-
				B	-
				A	-
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.					



Escala: 2:1

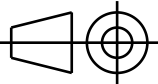
1	Alma Cartela	C2	Plano 15	Madera de tilo (Tilia spp.)		
1	Ala Cartela	C1	Plano 14	Madera de tilo (Tilia spp.)		
Nº de piezas	Denominación	Marca	Referencia	Material		
DESIGNED BY: Alonso Iglesias		Despiece Cartela			I	—
DATE: 02/07/2025					H	—
					G	—
					F	—
SIZE A3		Unión Pilar-Dintel Atornillada			E	—
SCALE 1:1	Marca C				D	—
		DRAWING NUMBER Plano de conjunto 4		SHEET 13/25	C	—
					B	—
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.					A	—



DESIGNED BY:
Alonso Iglesias
DATE:
12/05/2025

Tolerancias para dimensiones
lineales y angulares sin
indicación individual de
tolerancia: **ISO 2768-f**

SIZE
A4



SCALE
1:1

C1

Material
Madera de tilo
(Tilia spp.)

DRAWING NUMBER
Marca C1

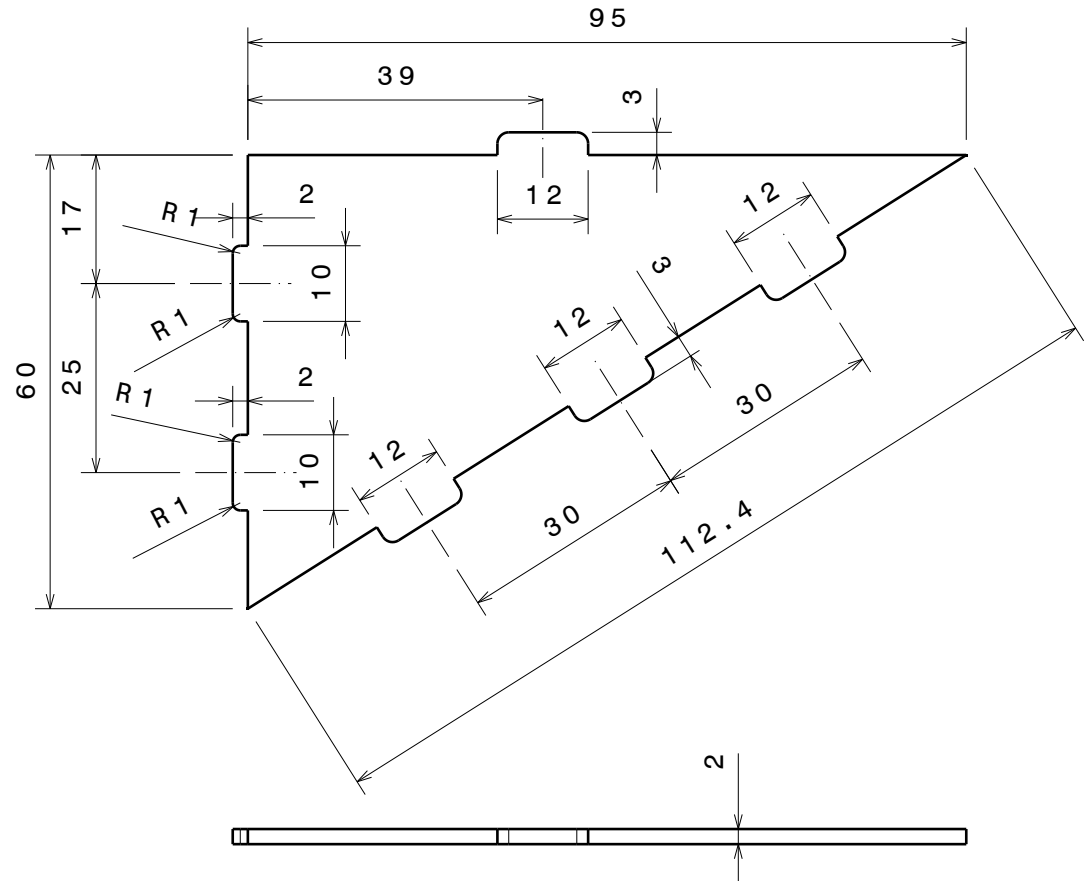
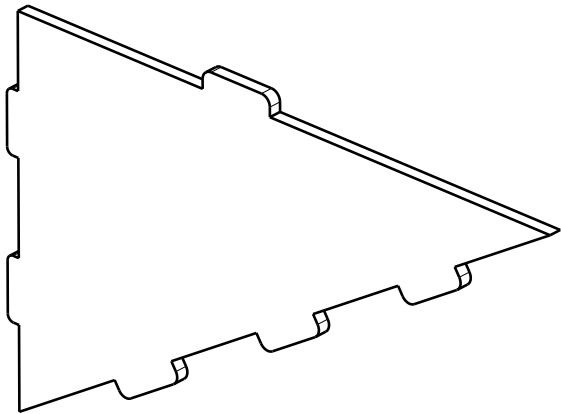
SHEET
14/25

Ala Cartela

Unión Pilar-Dintel Atornillada

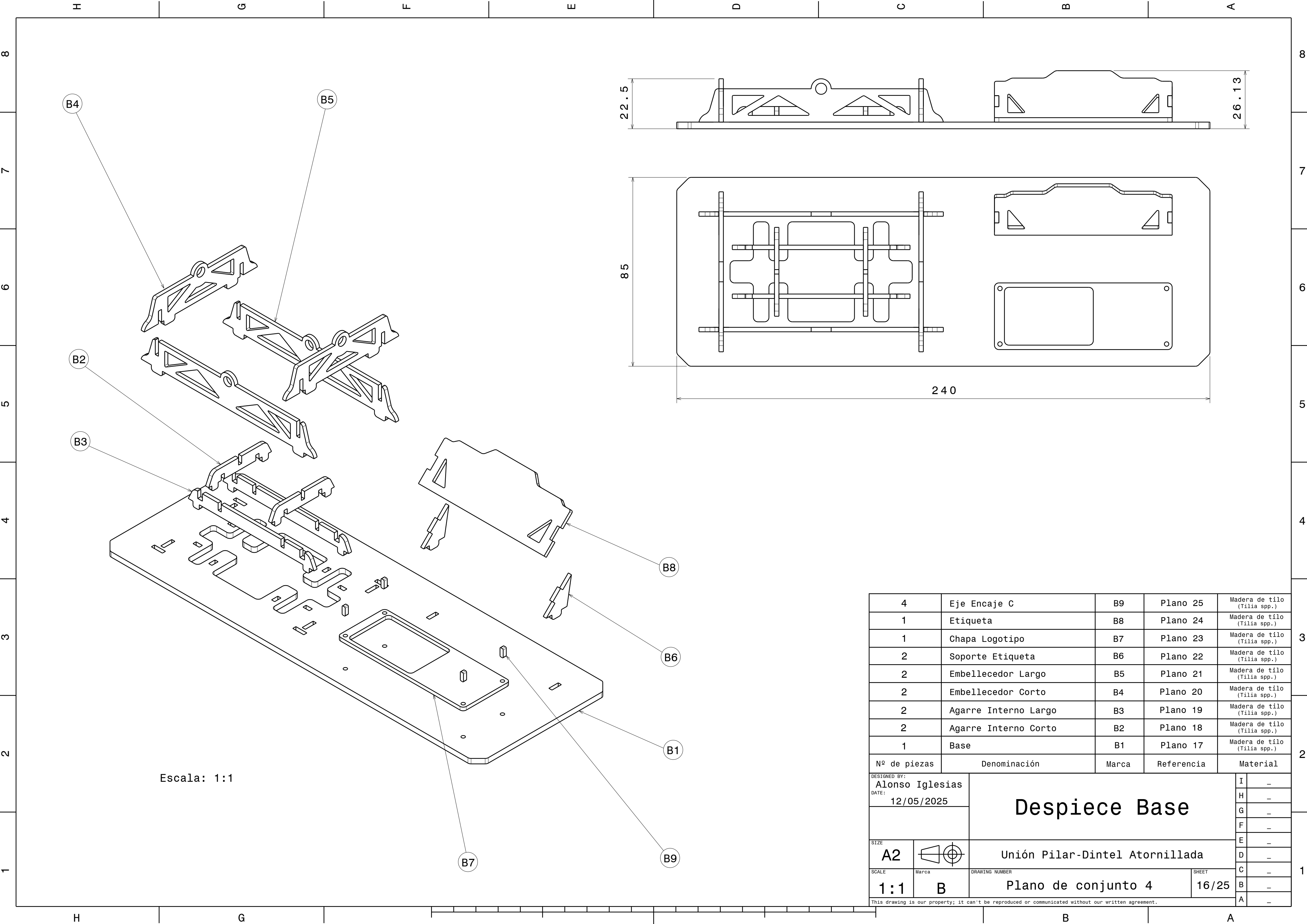
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

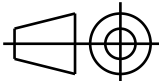
I	-
H	-
G	-
F	-
E	-
D	-
C	-
B	-
A	-

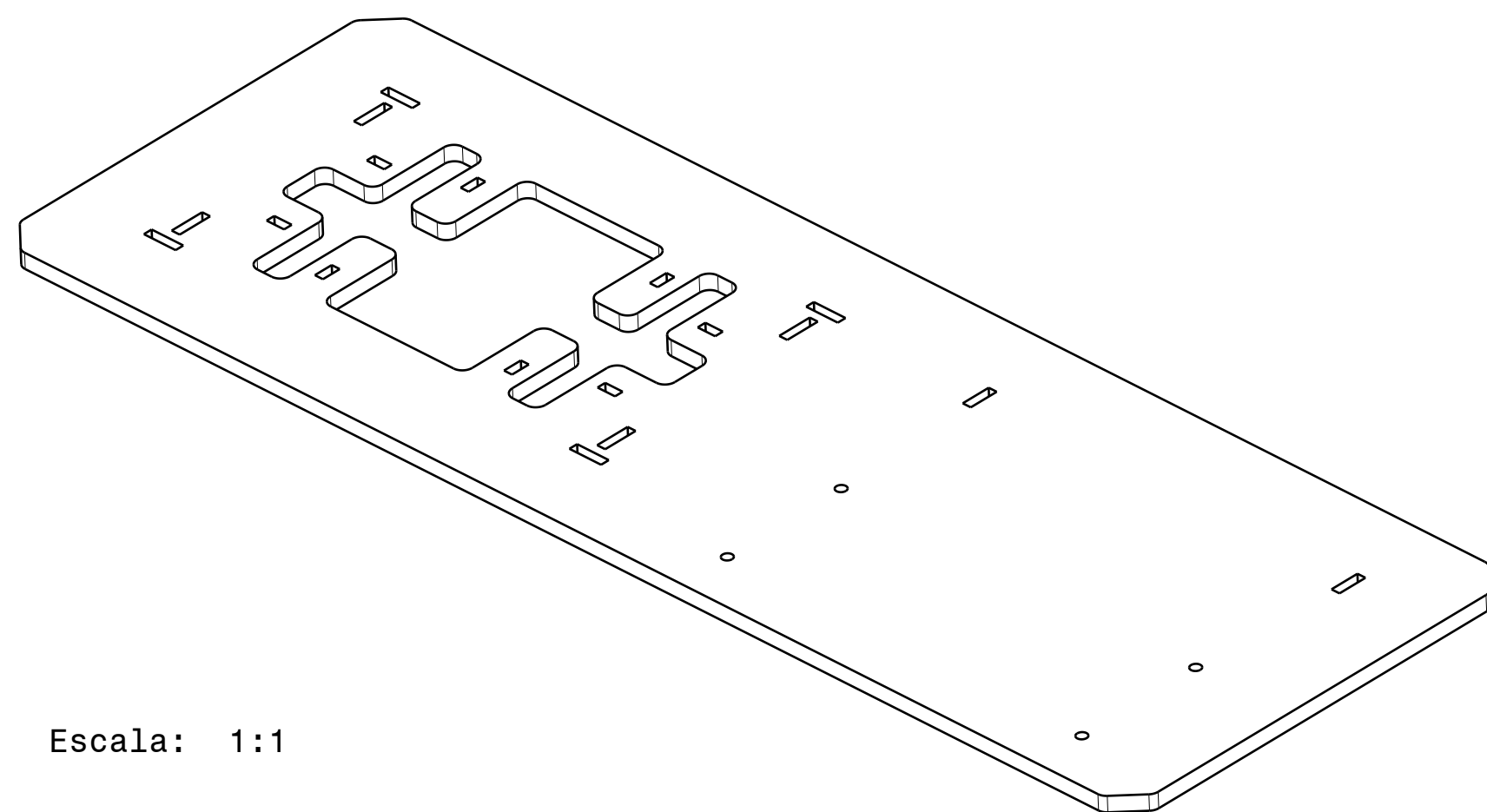


Radios de redondeo no acotados: 1,5 mm

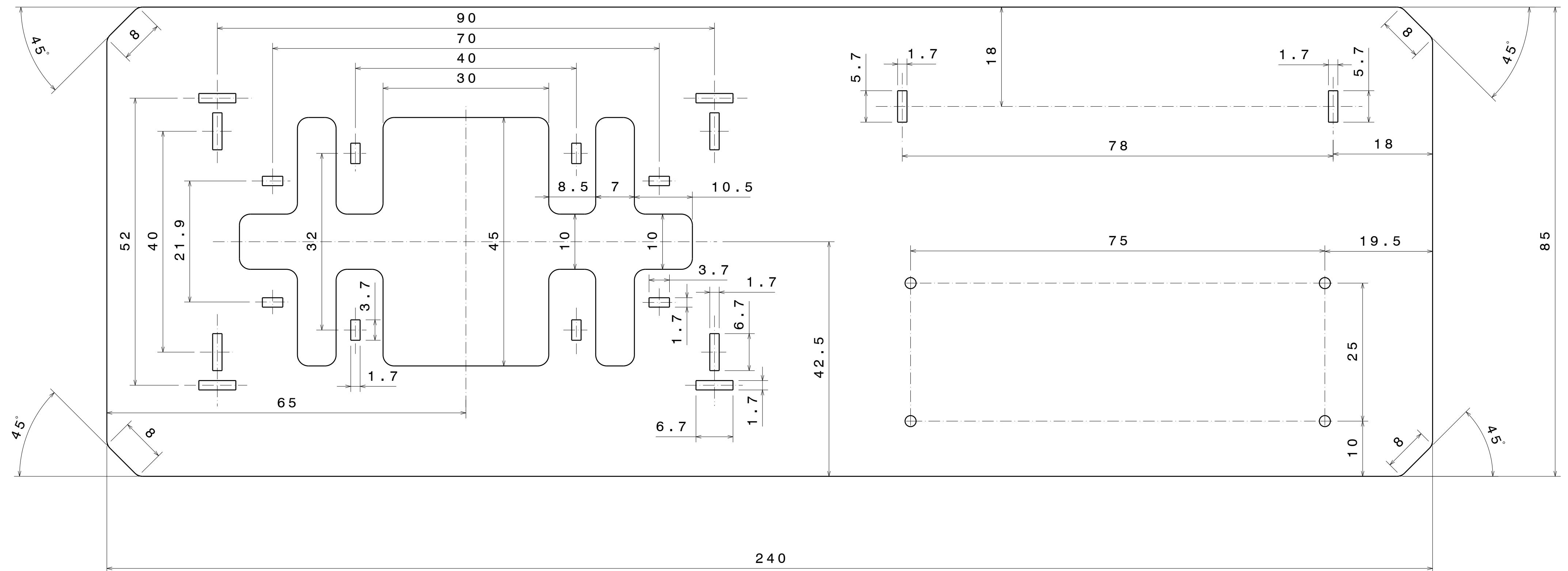
DESIGNED BY: Alonso Iglesias		Alma Cartela				I	—
DATE: 12/05/2025						H	—
Tolerancias para dimensiones lineales y angulares sin indicación individual de tolerancia: ISO 2768-f						G	—
SIZE A4		Unión Pilar-Dintel Atornillada				F	—
						E	—
						D	—
						C	—
						B	—
SCALE 1:1	Etiqueta funcional C2	Material Madera de tilo (Tilia spp.)	DRAWING NUMBER Marca C2	SHEET 15/25	A	—	
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.							



4	Eje Encaje C	B9	Plano 25	Madera de tilo (Tilia spp.)		
1	Etiqueta	B8	Plano 24	Madera de tilo (Tilia spp.)		
1	Chapa Logotipo	B7	Plano 23	Madera de tilo (Tilia spp.)		
2	Soporte Etiqueta	B6	Plano 22	Madera de tilo (Tilia spp.)		
2	Embellecedor Largo	B5	Plano 21	Madera de tilo (Tilia spp.)		
2	Embellecedor Corto	B4	Plano 20	Madera de tilo (Tilia spp.)		
2	Agarre Interno Largo	B3	Plano 19	Madera de tilo (Tilia spp.)		
2	Agarre Interno Corto	B2	Plano 18	Madera de tilo (Tilia spp.)		
1	Base	B1	Plano 17	Madera de tilo (Tilia spp.)		
Nº de piezas	Denominación	Marca	Referencia	Material		
DESIGNED BY: Alonso Iglesias		Despiece Base			I	—
DATE: 12/05/2025					H	—
					G	—
					F	—
SIZE A2		Unión Pilar-Dintel Atornillada			E	—
SCALE 1:1	Marca B				D	—
		Plano de conjunto 4			C	—
					B	—
		16/25			A	—
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.						



Escala: 1:1



Radios de redondeo no acotados: 2 mm							
DESIGNED BY: Alonso Iglesias		Base			I	—	
DATE: 12/05/2025					H	—	
Tolerancias para dimensiones lineales y angulares sin indicación individual de tolerancia: ISO 2768-f					G	—	
SIZE A1			Unión Pilar-Dintel Atornillada			F	—
SCALE 2:1		Material Madera de tilo (Tilia spp.)	DRAWING NUMBER Marca B1			E	—
Etiqueta funcional B1					D	—	
					C	—	
					B	—	
					A	—	
17/25							
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.							

4

3

2

1

H

G

F

E

D

C

B

A

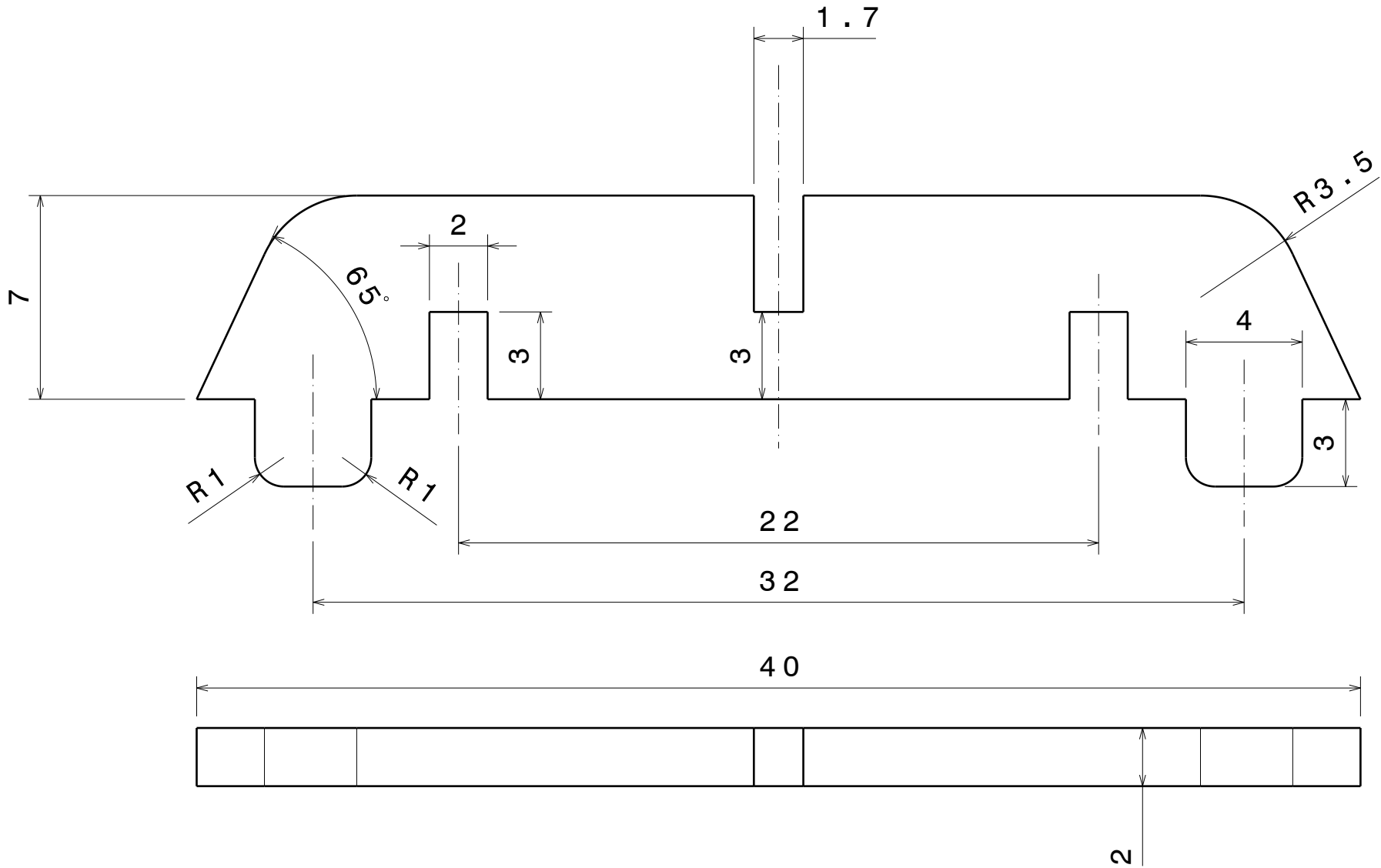
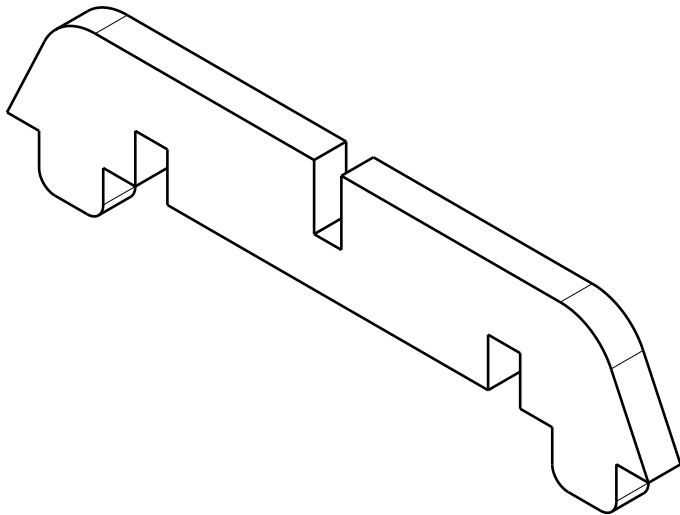
4

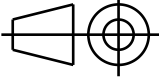
3

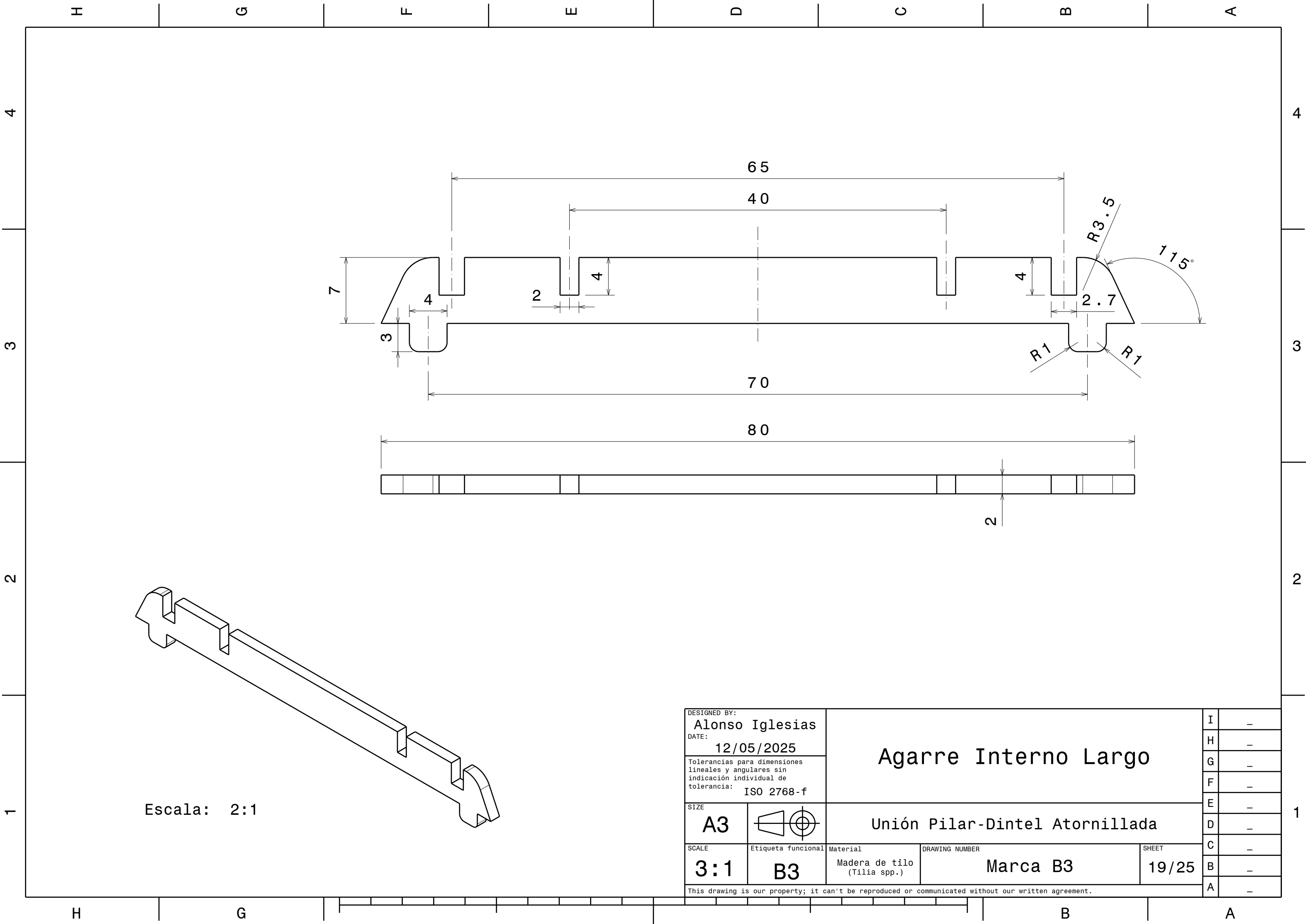
2

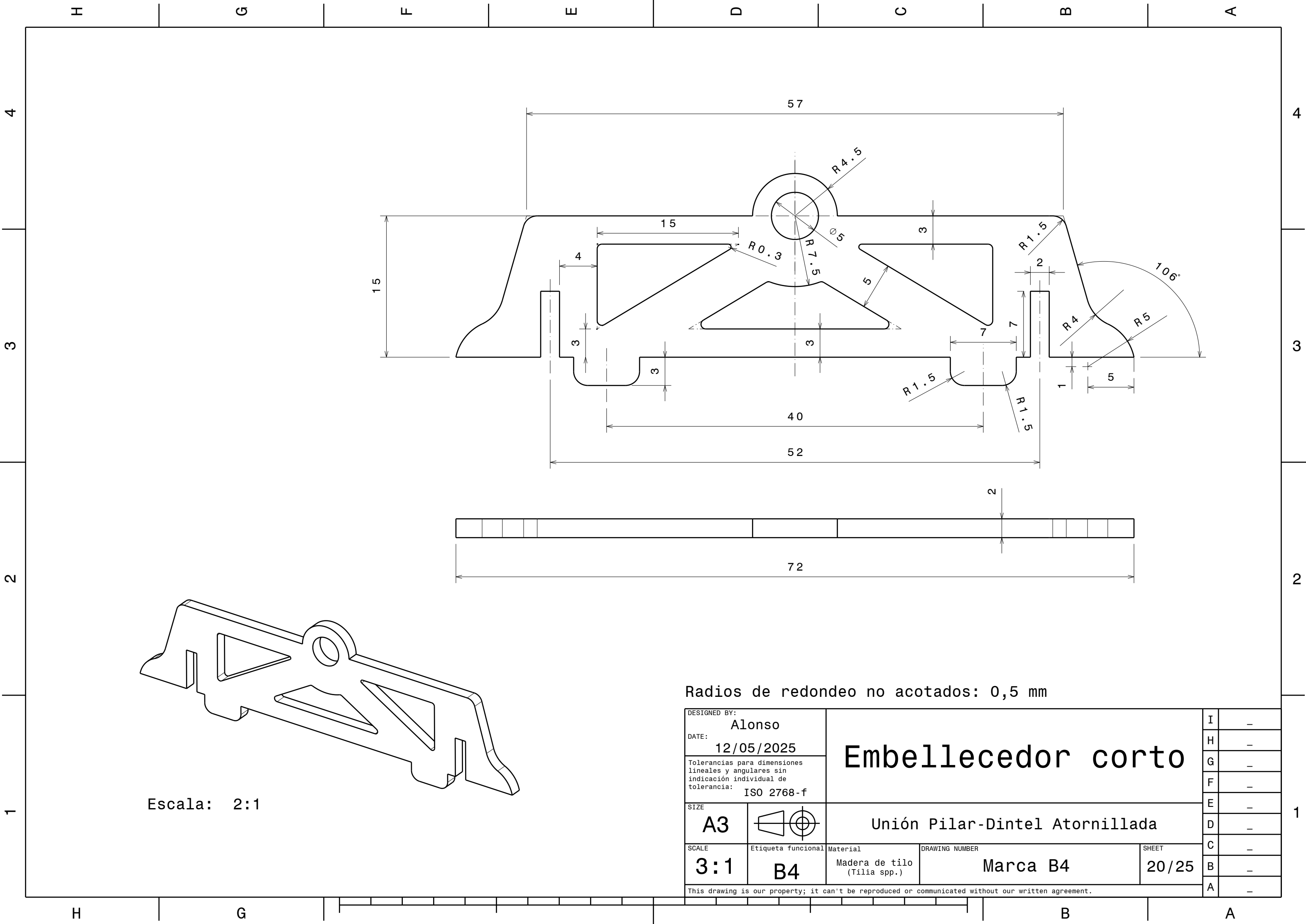
1

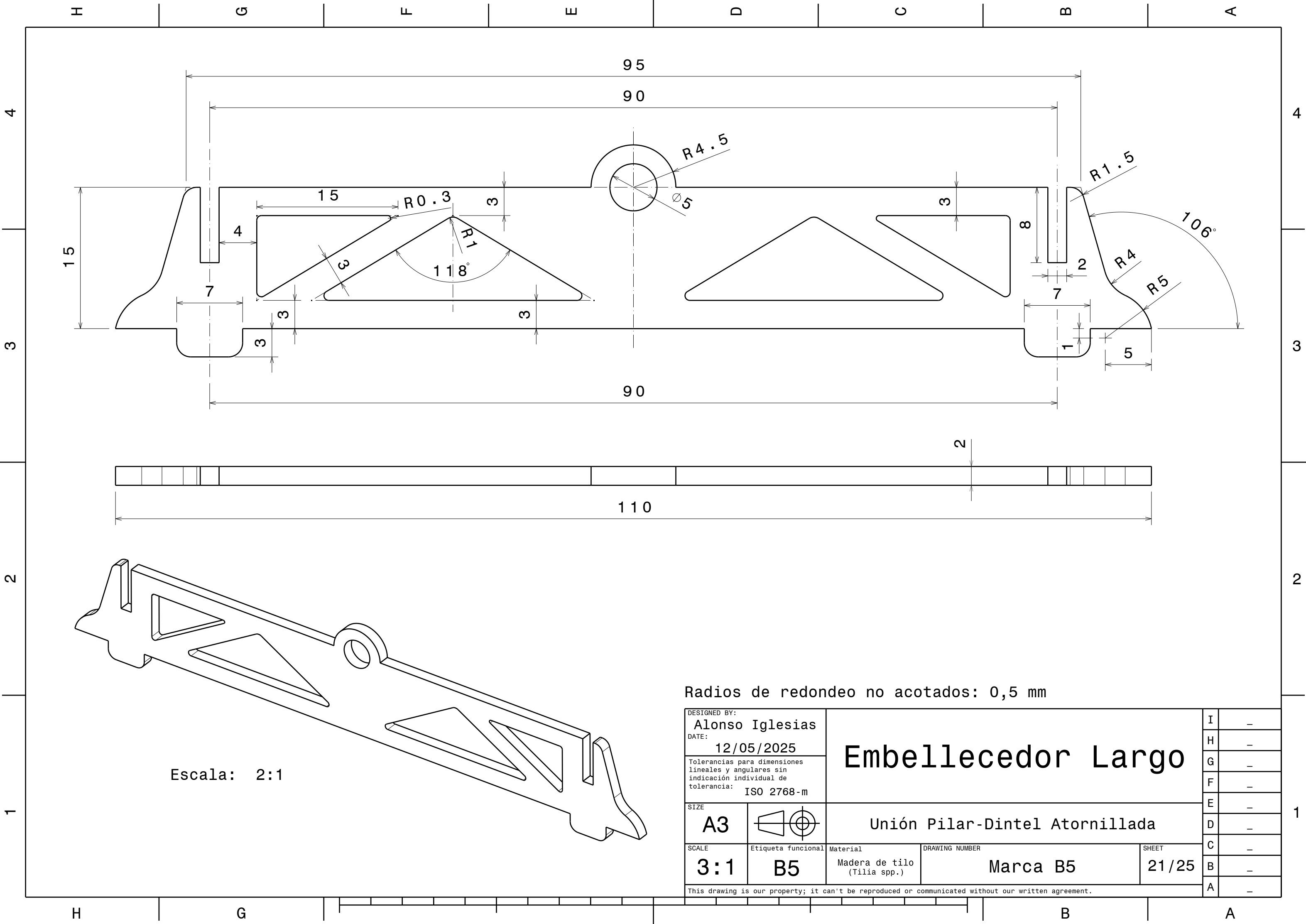
Escala: 3:1



DESIGNED BY: Alonso		Agarre Interno Corto		I	-
DATE: 21/06/2025				H	-
Tolerancias para dimensiones lineales y angulares sin indicación individual de tolerancia: ISO 2768-f				G	-
SIZE A3		Unión Pilar-Dintel Atornillada		F	-
SCALE 5:1	Etiqueta funcional B2	Material Madera de tilo (Tilia spp.)	DRAWING NUMBER Marca B2	E	-
				D	-
				C	-
				B	-
				A	-
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.					

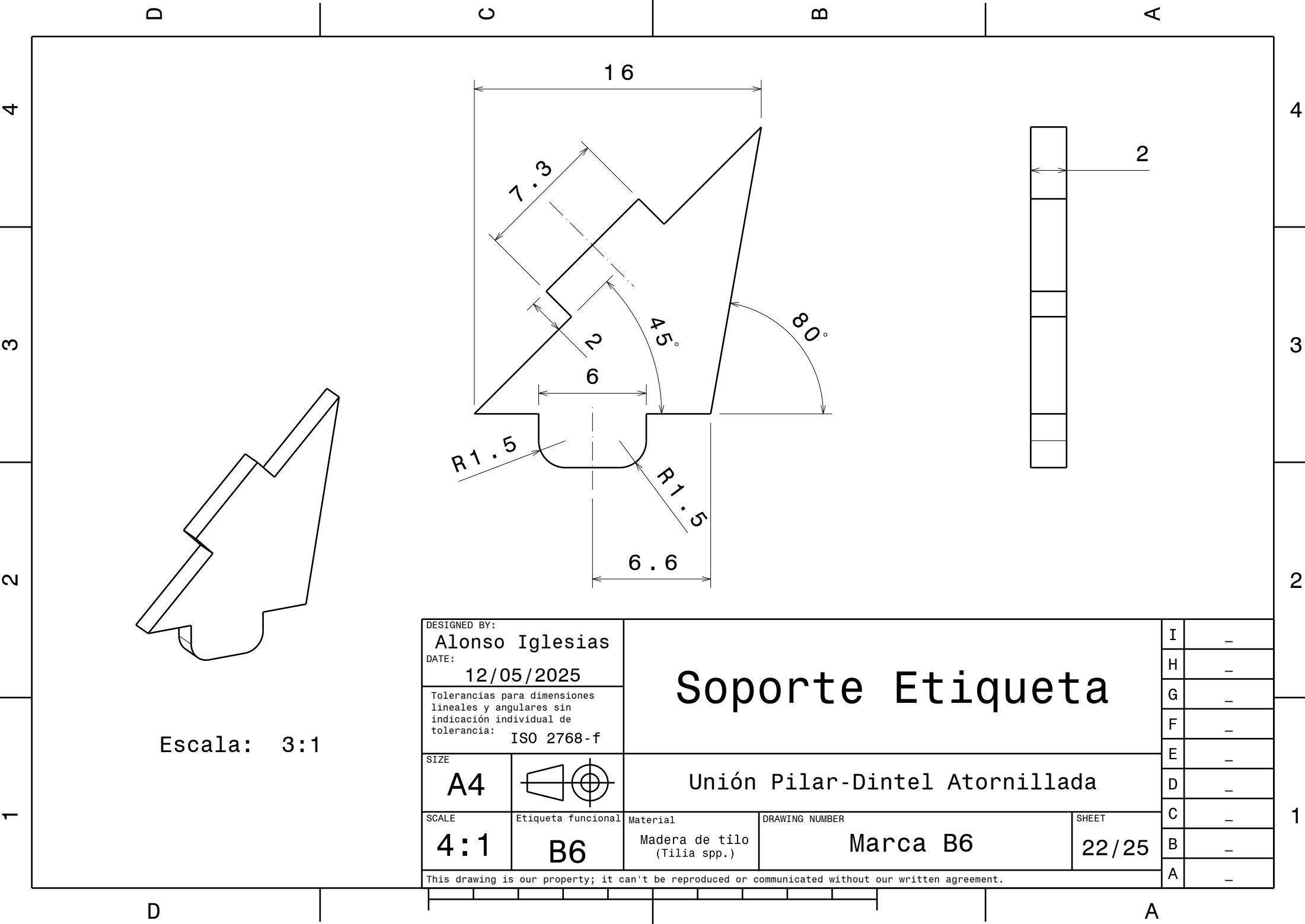


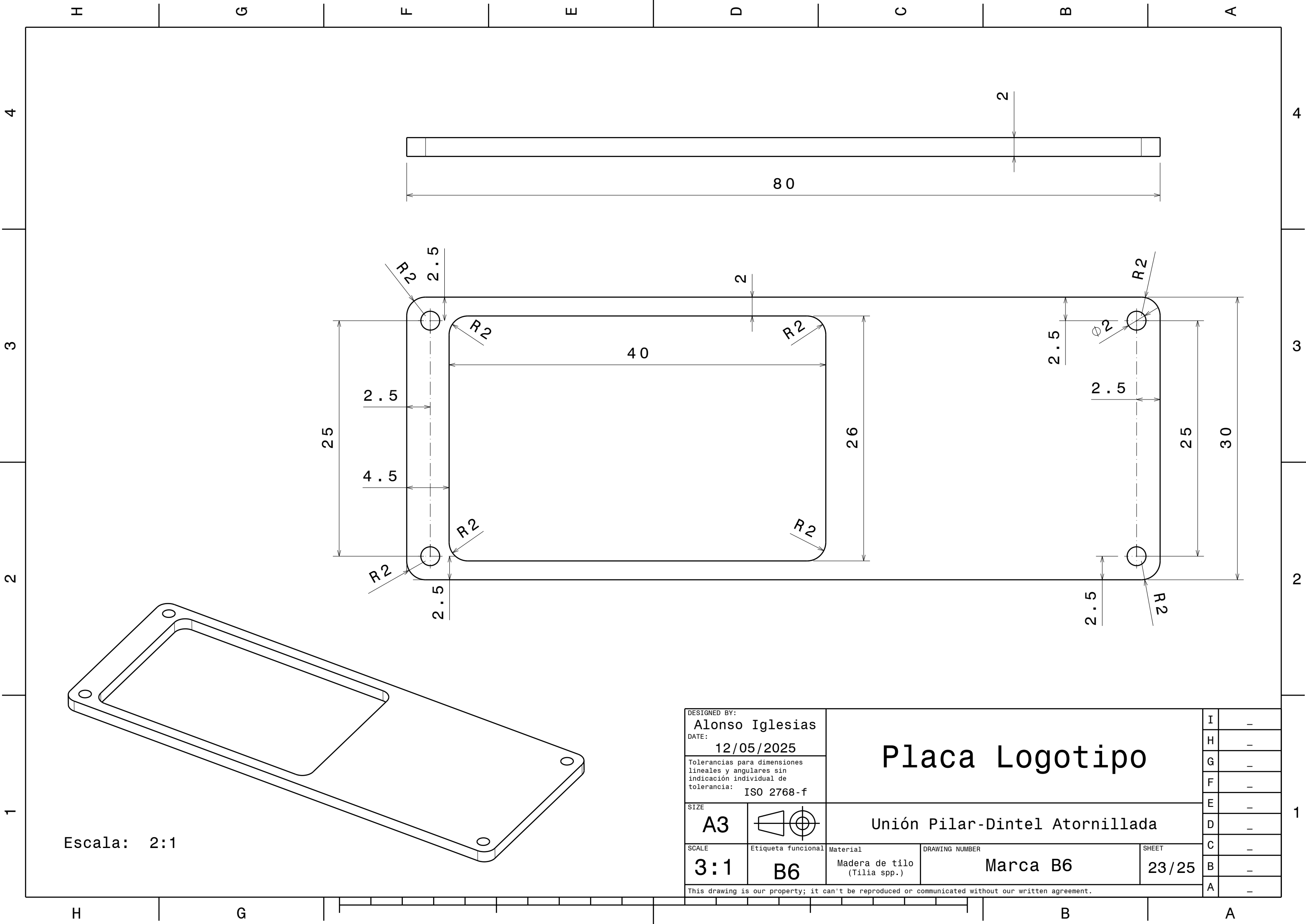


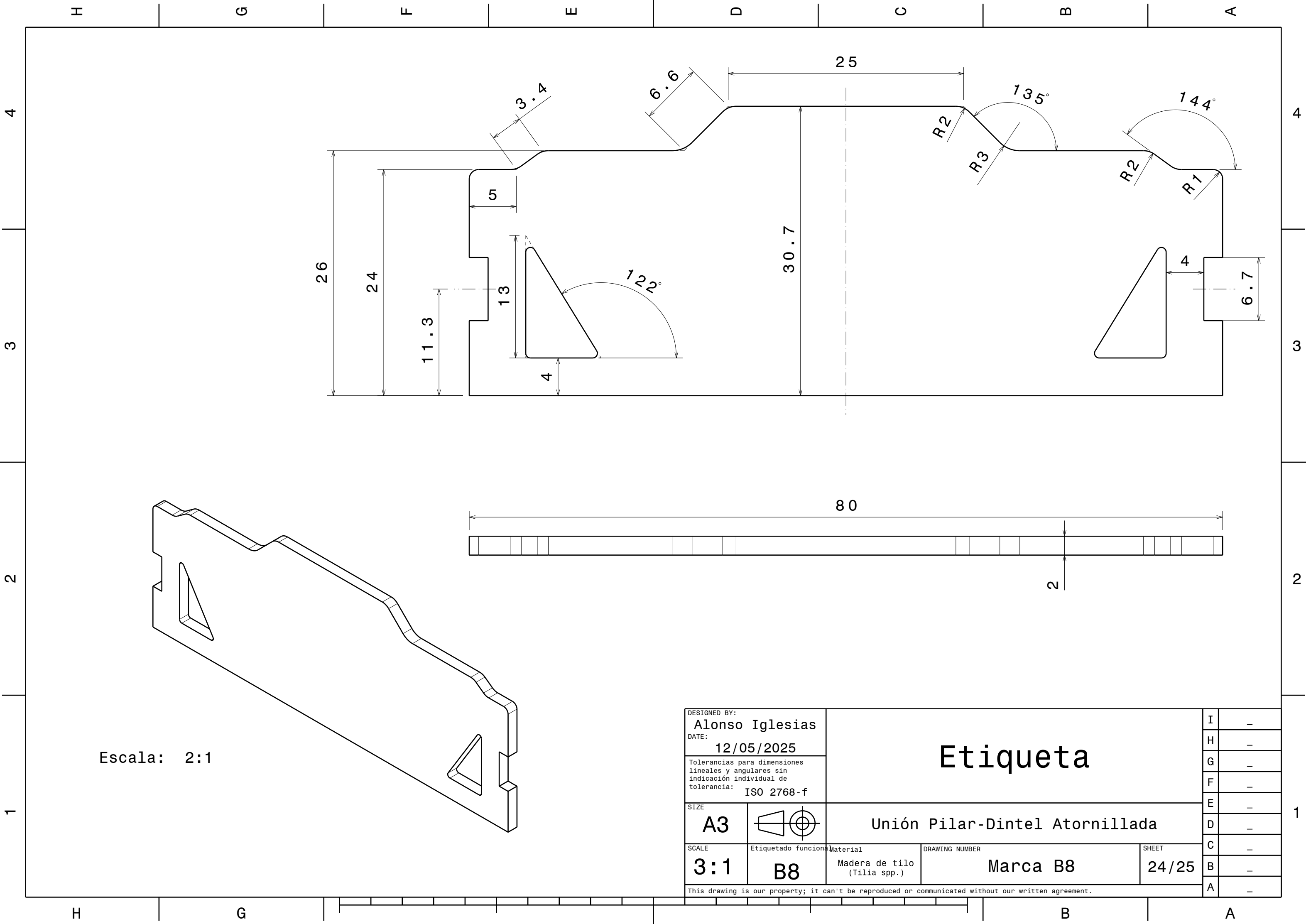


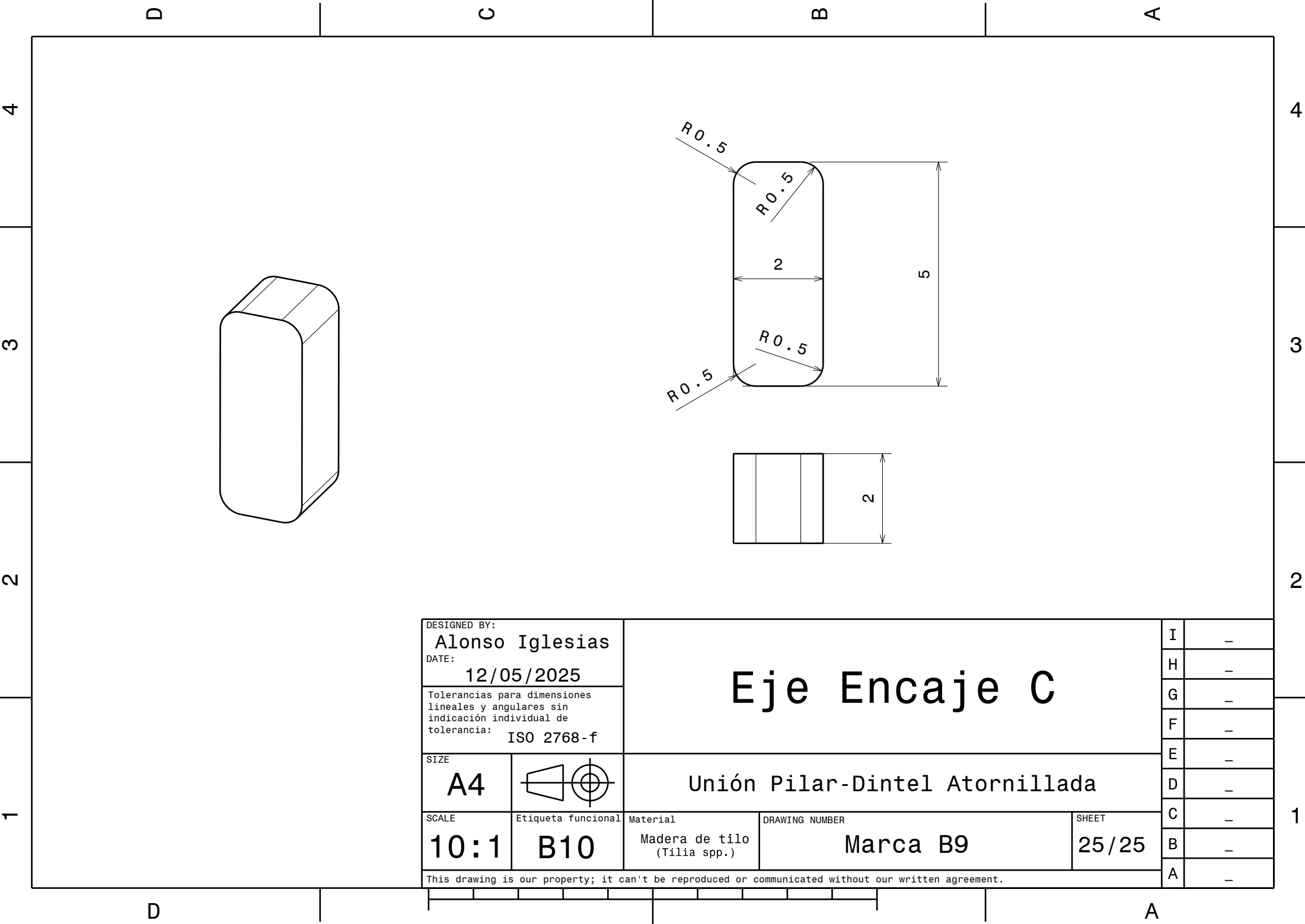
Escala: 2:1

Radio de redondeo no acotados: 0,5 mm











ANEXO DE MANUAL DE MONTAJE

DISEÑO Y PROTOTIPADO DE UNA LÍNEA DE MAQUETAS DE MADERA
DE UNIONES TÍPICAS DE ESTRUCTURAS METÁLICAS

UNIÓN PILAR - DINTEL

ATORNILLADA

EN PÓRTICO RECTO

RIGIDIZADORES Y CARTELA EXTRAÍBLES

MANUAL DE MONTAJE

ENGINEERING LEARNING TOOL

INSTRUCCIONES IMPORTANTES

MANTENGA PARA USO FUTURO

LEA CUIDADOSAMENTE

wetruss
webuild
welearn

ADVERTENCIA

Este producto es para personas mayores de 14 años.
Los niños deben realizar el montaje bajo supervisión de un adulto.

NOTAS

1. Guarde las piezas pequeñas después de abrir el paquete para evitar que se pierdan al montarlo.
2. Asegúrese de que los números coincidan con su número correspondiente durante el montaje.
3. Las piezas adicionales pueden ser utilizadas como piezas de repuesto.

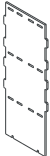
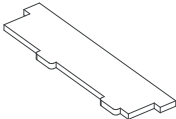
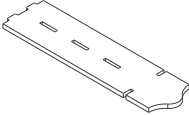
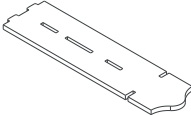
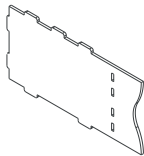
MANTENIMIENTO

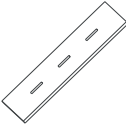
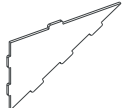
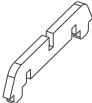
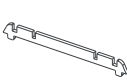
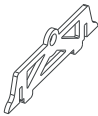
1. Mantenga el producto lejos de fuentes de ignición y agua para evitar cualquier daño.
2. No use ningún reactivo químico como alcohol, agua con amoníaco o limpiacristales para limpiar el producto.

CONTENIDO

Este manual de montaje abarca el montaje de la unión pilar - dintel atornillada en pórtico recto con y sin rigidizadores y cartela.
Para colocar los rigidizadores y la cartela de manera más cómoda se puede extraer la unión de la base y volverla a encajar al terminar.

LISTA DE MATERIALES

	PILAR IPE 180					DINTEL IPE 160			
Artículo	Ala externa	Ala interna	Alma	Rigidizador		Ala superior	Ala inferior	Alma	Rigidizador
Etiqueta	P1	P2	P3	PR		D1	D2	D3	DR
Ilustración									
Cantidad	1	1	1	6		1	1	1	2

	CARTELA		TESTA	BASE									
Artículo	Ala	Alma	Placa de testa	Base	Agarre interno corto	Agarre interno largo	Embellecedor corto	Embellecedor largo	Soporte	Chapa	Etiqueta estándar	Etiqueta variante	Eje
Etiqueta	C1	C2	T1	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
Ilustración													
Cantidad	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	4

UNIÓN ATORNILLADA			
Artículo	Tornillo	Arandela	Tuerca
Etiqueta	A1	A2	A3
			
Cantidad	8	16	8

Este listado incluye el número de piezas necesarias para el montaje de la maqueta, sin contar con los repuestos.



Atención especial en el montaje



Identificación de pieza a troquelar



Comienzo de nuevo subconjunto



Recuperar subconjunto

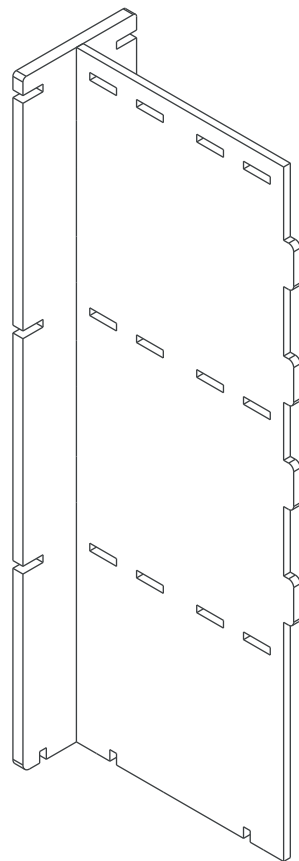
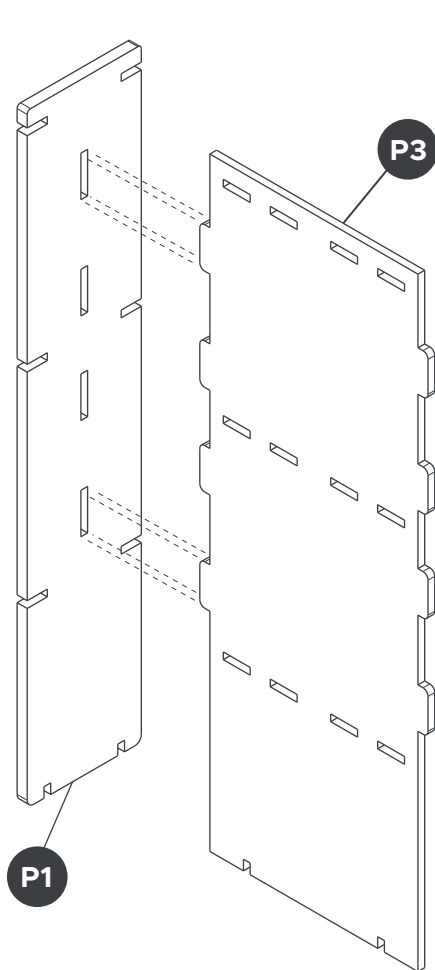


Anotación didáctica

1

P1

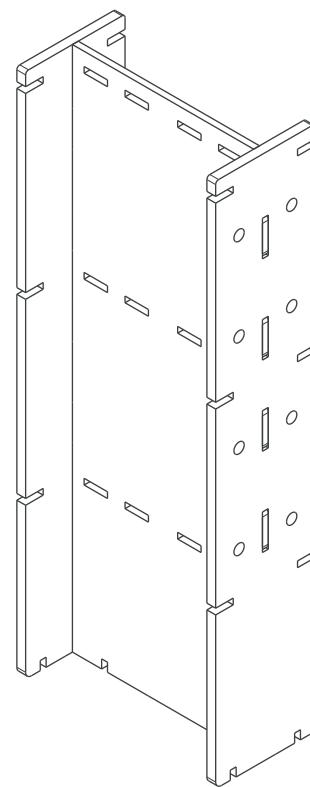
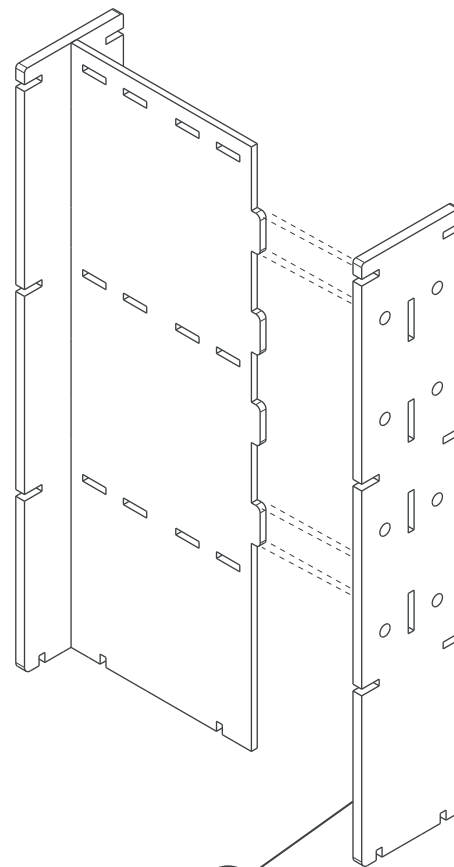
P3

Montaje del **PILAR**

Ubicar las marcas de soldadura hacia el interior, de frente al alma.

2

P2

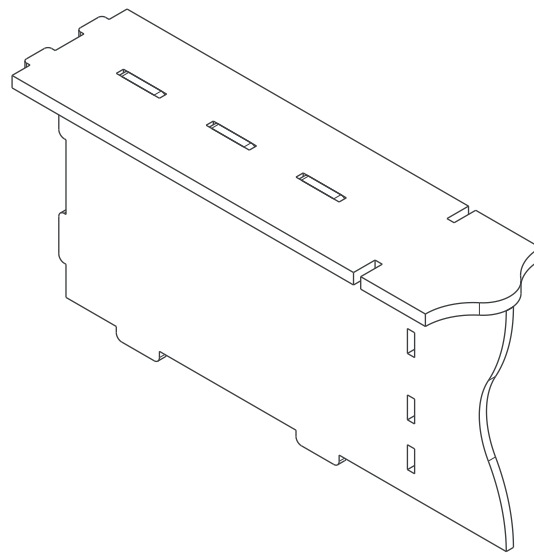
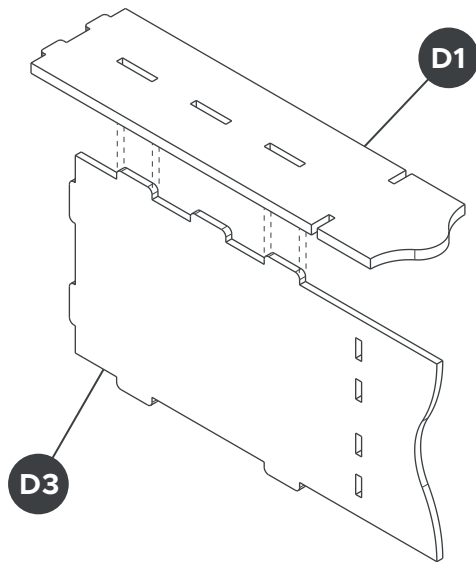


Ubicar las marcas de soldadura hacia el interior, de frente al alma.

3

D1

D3



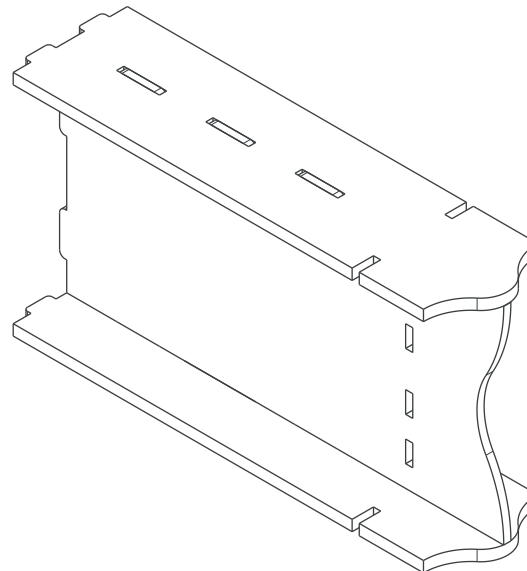
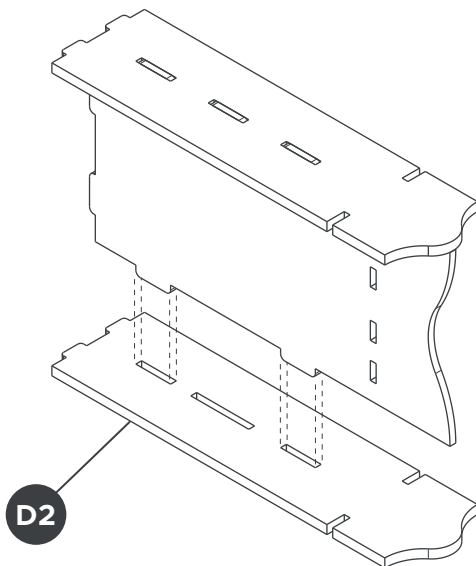
Montaje del **DINTEL**



Ubicar las marcas de soldadura hacia el interior, de frente al alma.

4

D2



No confundir el ala superior con el inferior. El inferior tiene el hueco central más largo.

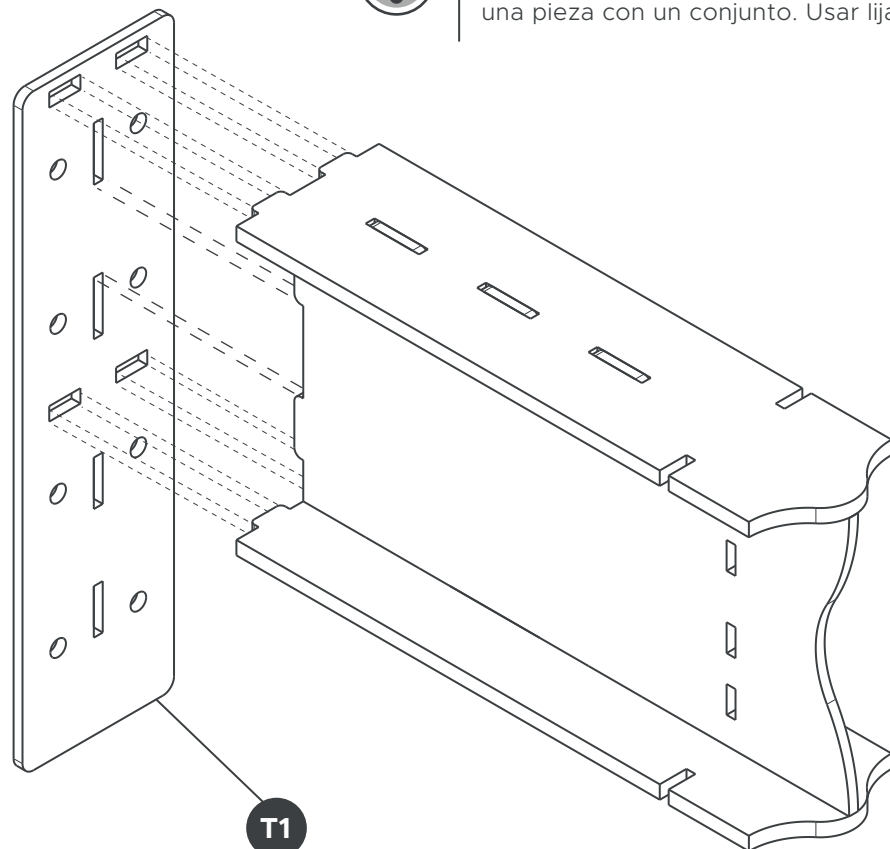
Ubicar las marcas de soldadura hacia el interior, de frente al alma.

5

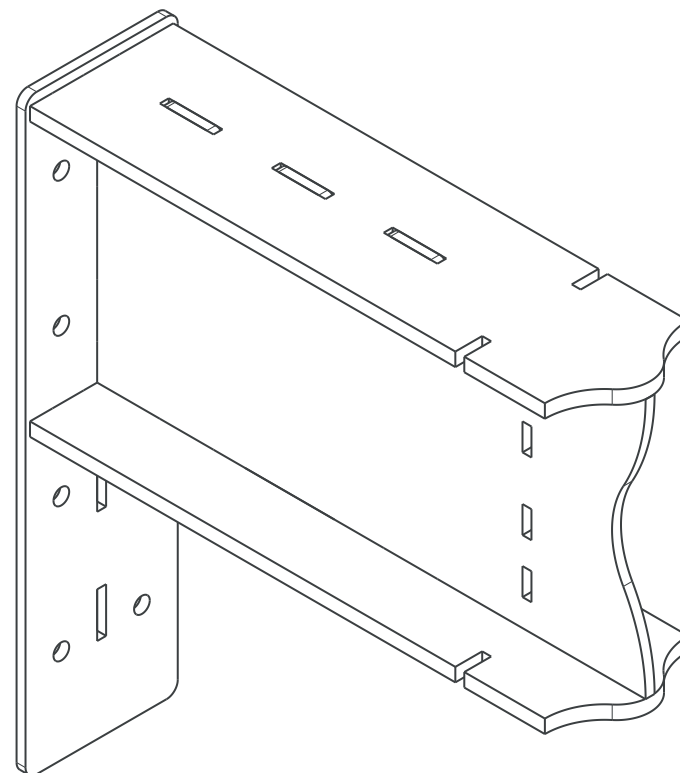
T1



Este encaje se trata de un **encaje secundario**.
Es posible que sea más difícil debido a que se encaja una pieza con un conjunto. Usar lija si se considera.



T1



La **placa de testa** es un elemento intermedio de conexión entre el pilar y el dintel. Principalmente se encarga de repartir las fuerzas transmitidas por el dintel sobre una superficie mayor del pilar para reducir tensiones localizadas. Además, permite el alojamiento de los tornillos.

6

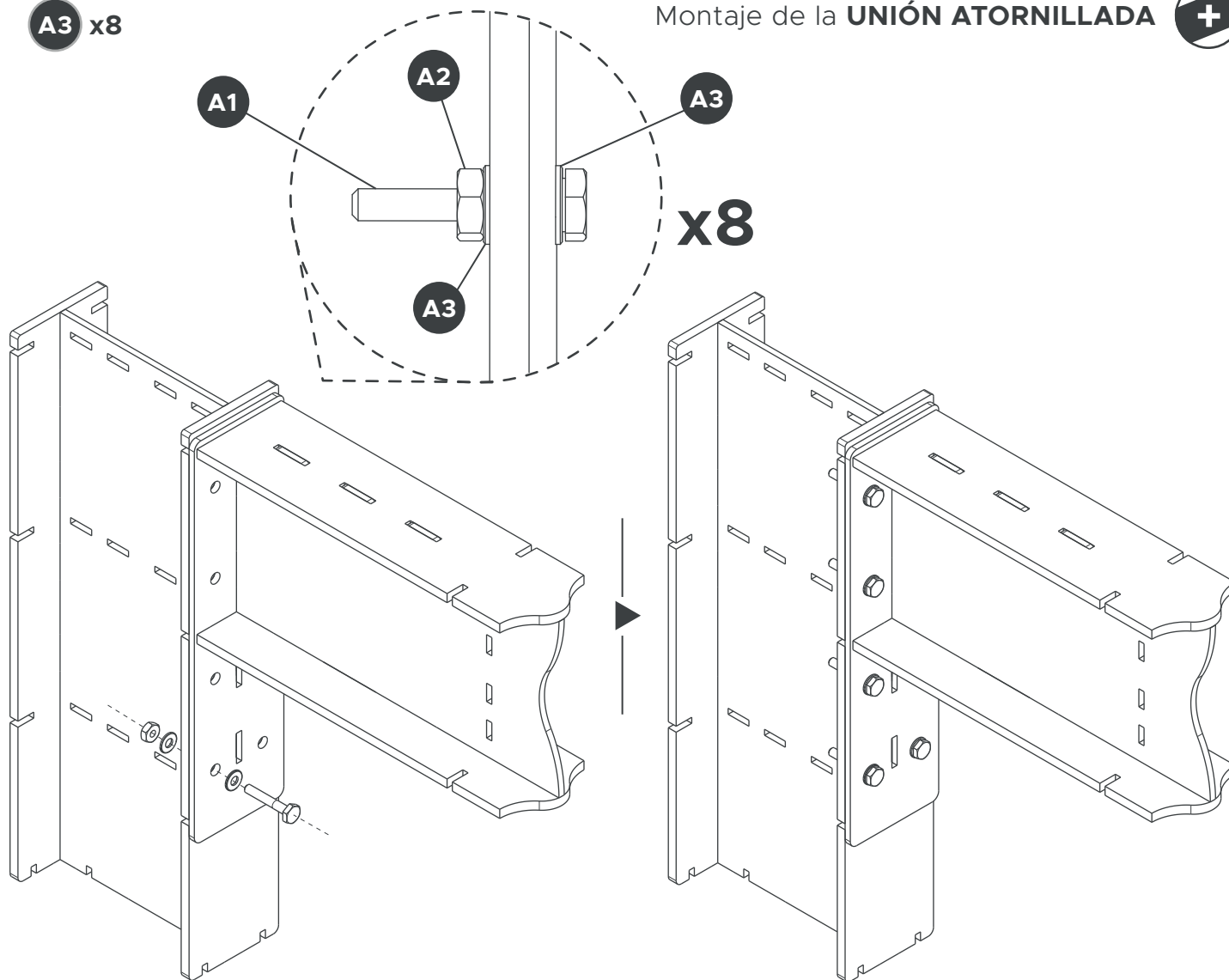
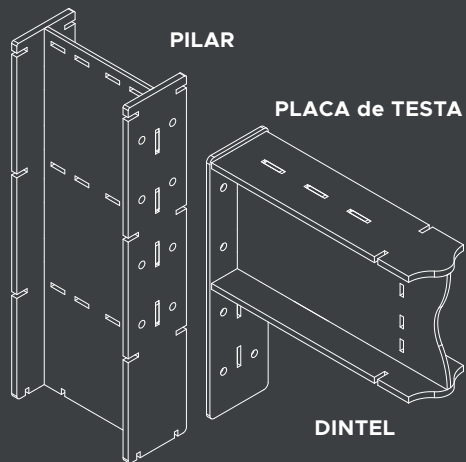


PILAR

A1 x8

A2 x16

A3 x8

Montaje de la **UNIÓN ATORNILLADA**

Tener cuidado con las piezas pequeñas.

Ayudarse de la herramienta para roscar las tuercas.

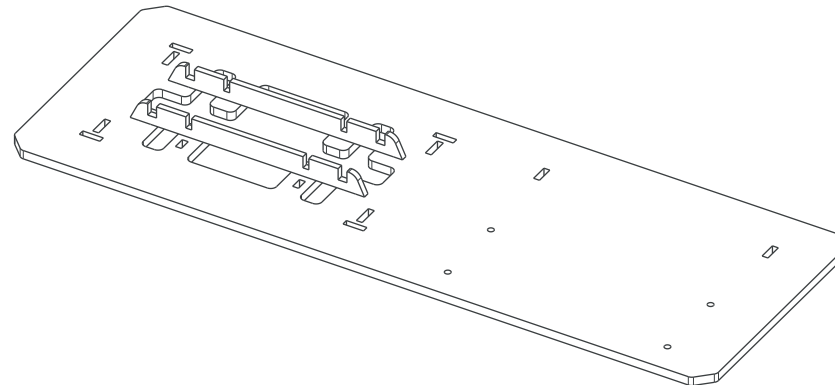
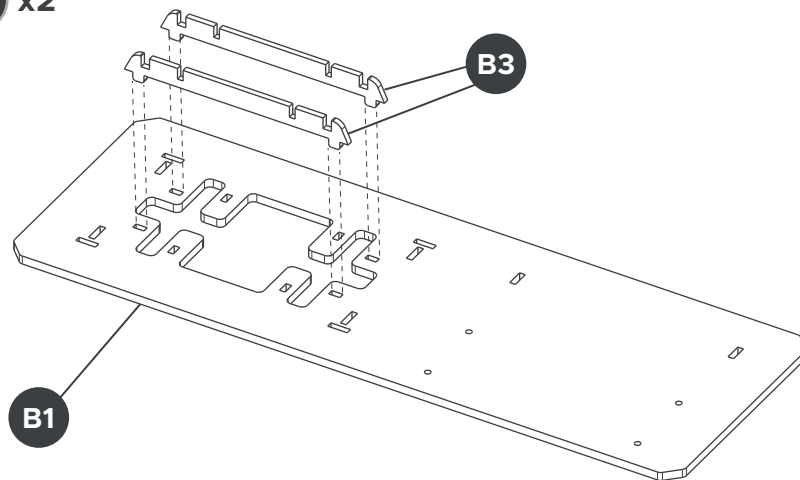
Apretar hasta que el dintel esté unido completamente al pilar.



7

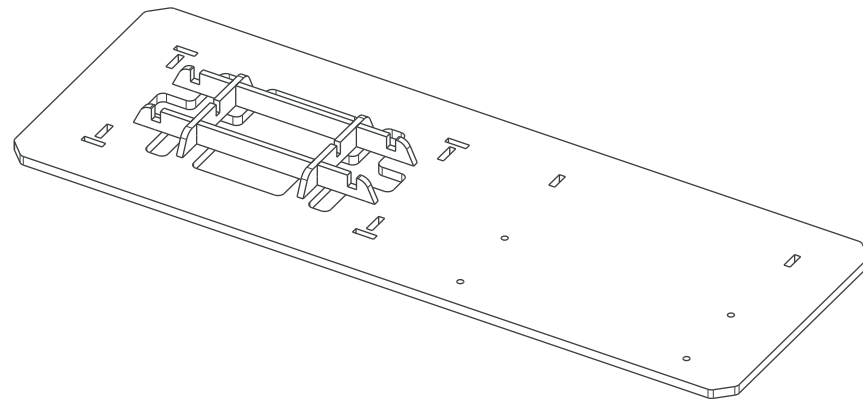
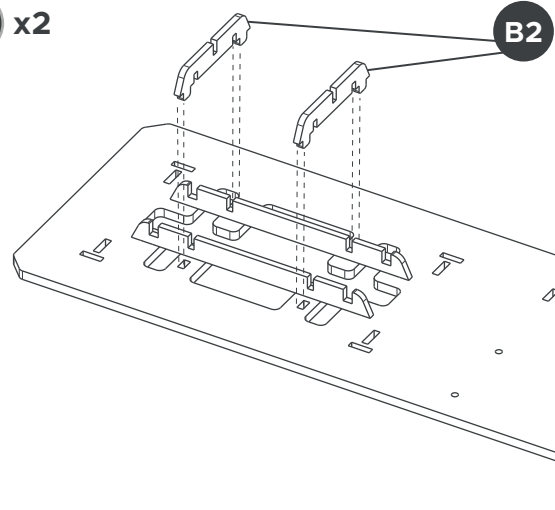
B1

B3 x2

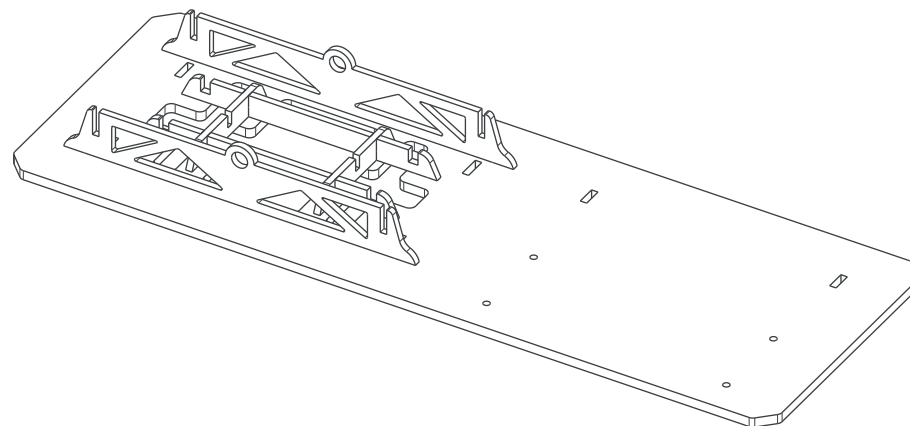
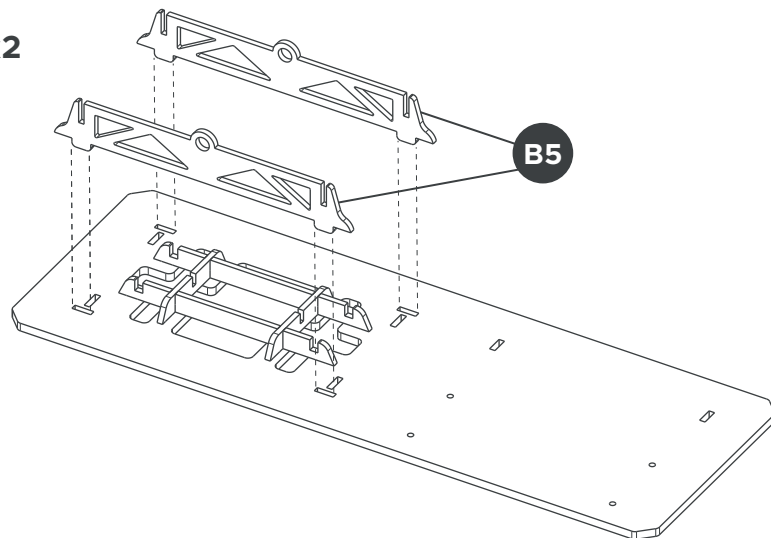
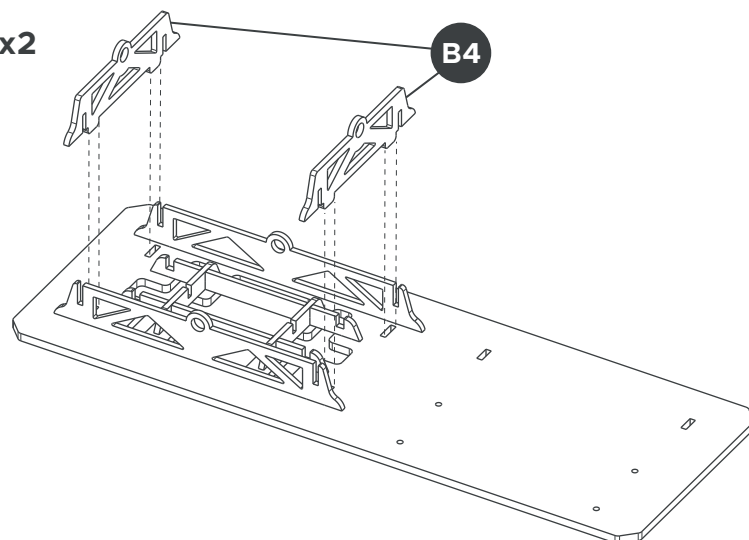
Montaje de la **BASE**

8

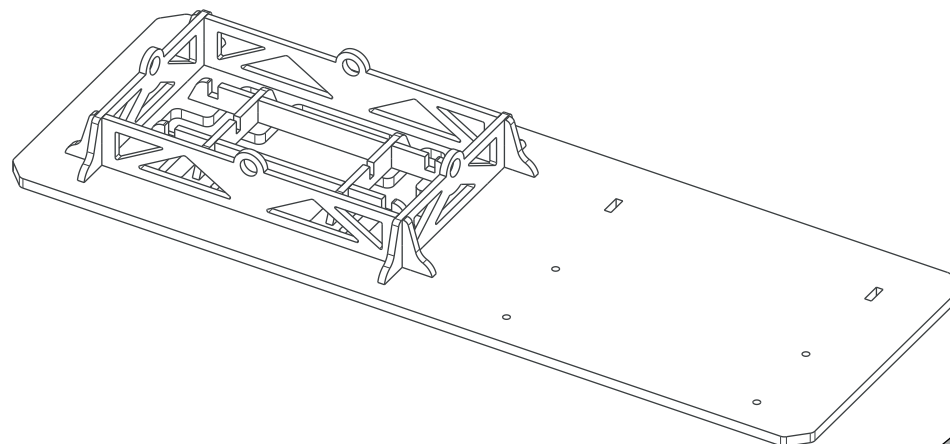
B2 x2



Asegurarse de que las piezas B2 encajan con la B1 y con las B3.

9**B5 x2****10****B4 x2**

Asegurarse de que las piezas B4 encajan con la B1 y con las B5.



11

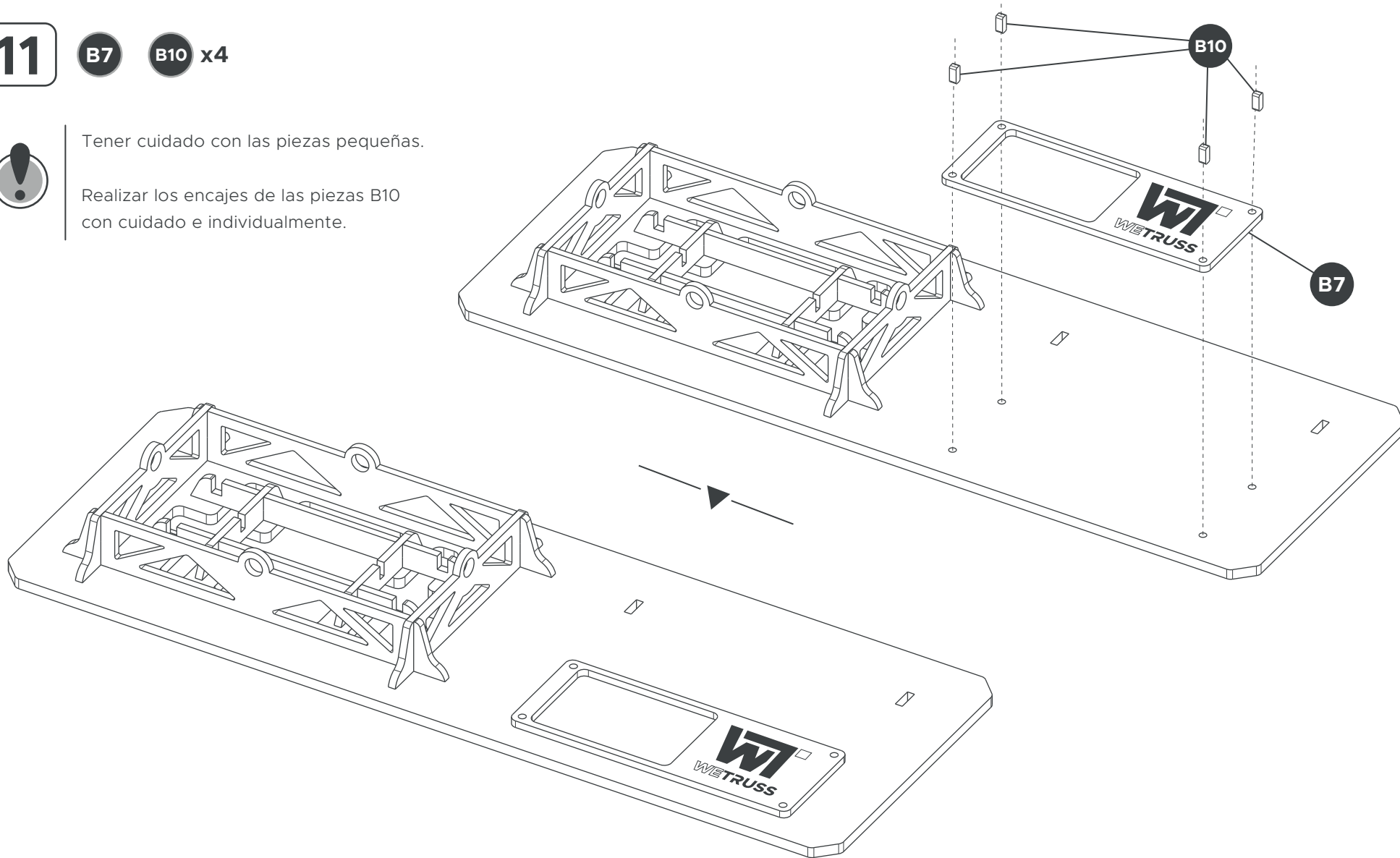
B7

B10 x4



Tener cuidado con las piezas pequeñas.

Realizar los encajes de las piezas B10 con cuidado e individualmente.



12

B8

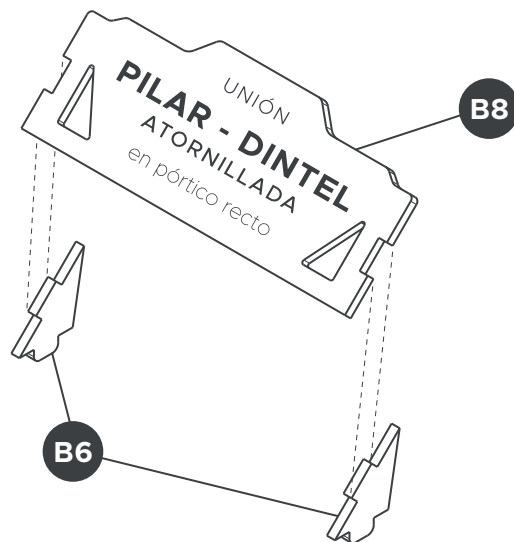
B6 x2

Montaje de la **ETIQUETA**



No confundir
B8 con B9.

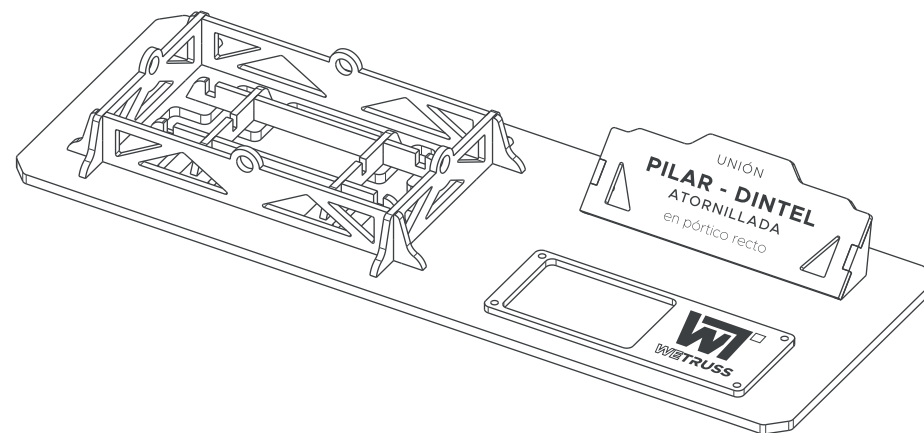
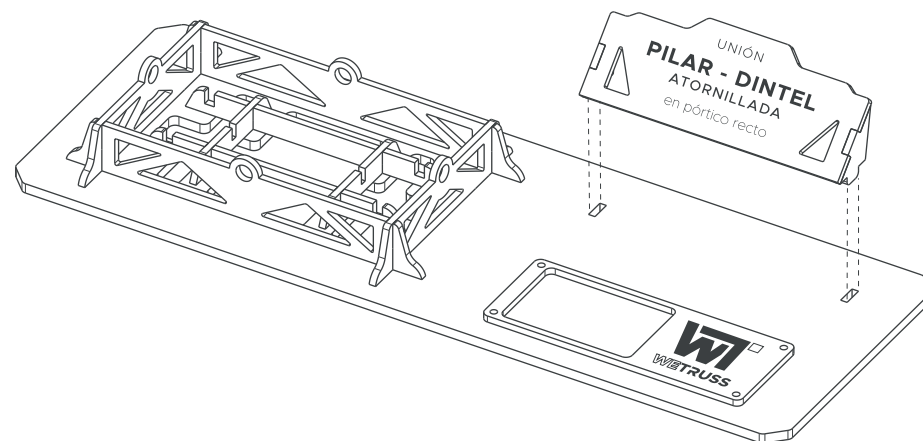
Elegir la etiqueta
sin rigidizadores
ni cartela.



13



BASE

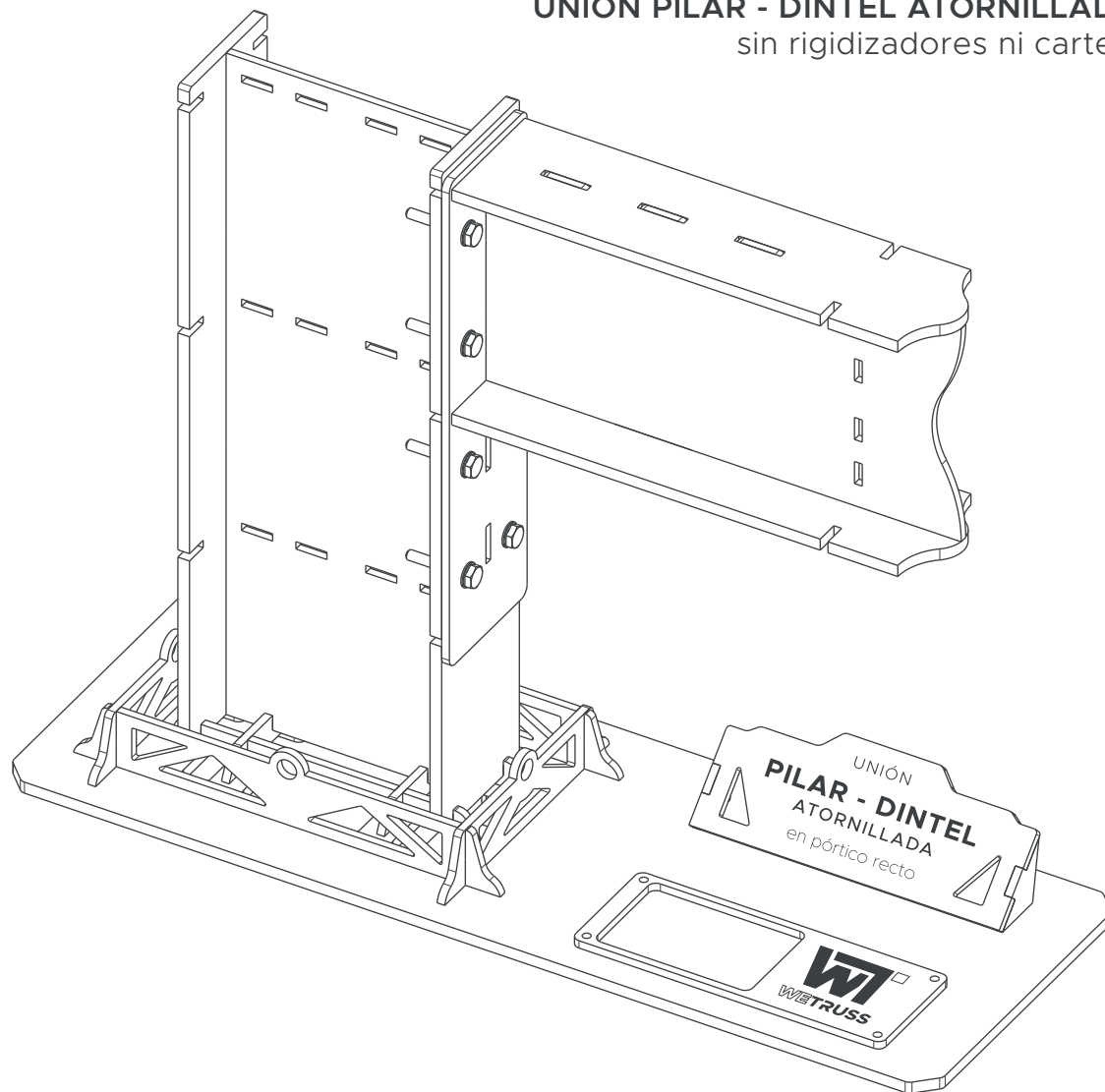
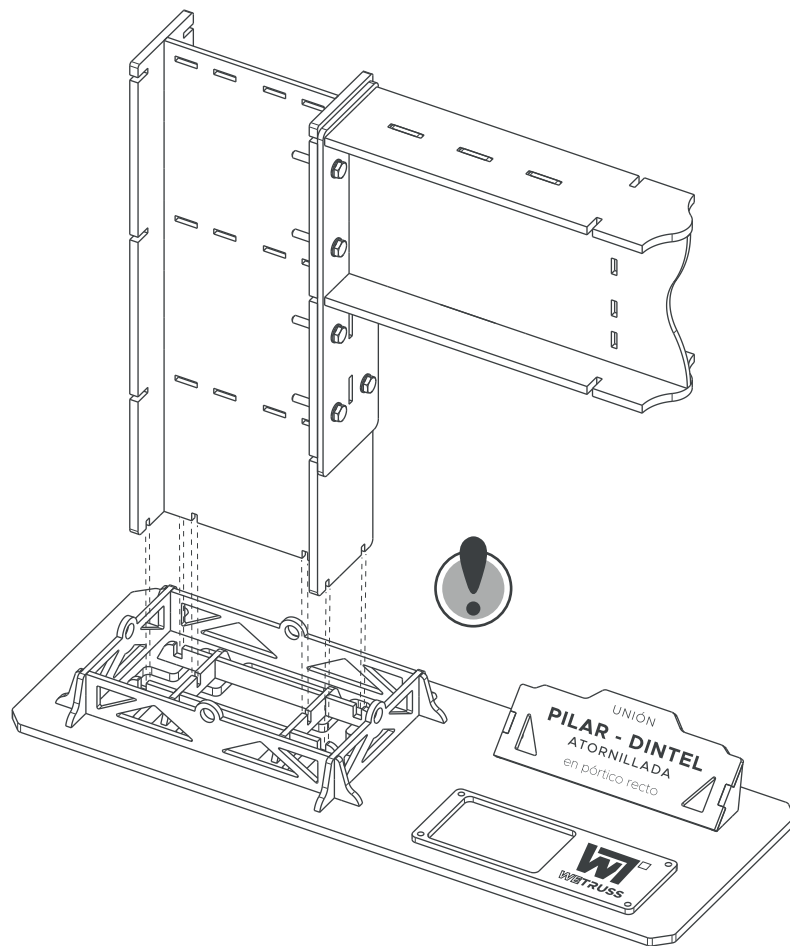


14



UNIÓN

Montaje finalizado de
UNIÓN PILAR - DINTEL ATORNILLADA
sin rigidizadores ni cartela

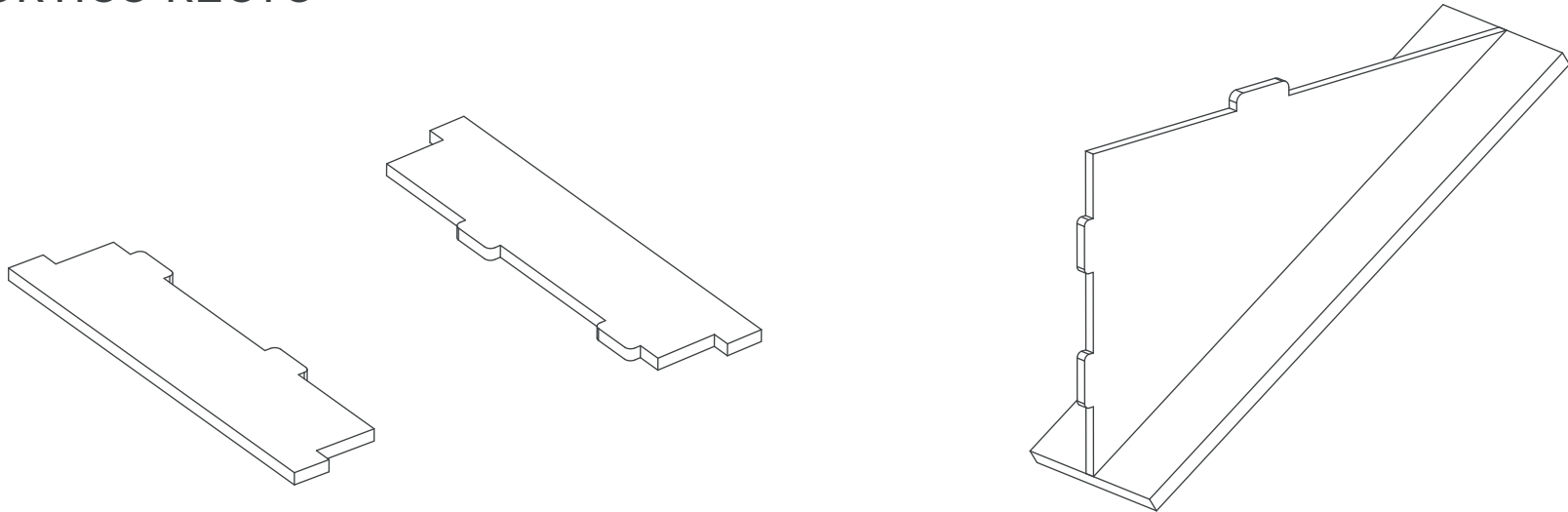


WETRUSS

UNIÓN PILAR - DINTEL

ATORNILLADA

EN PÓRTICO RECTO

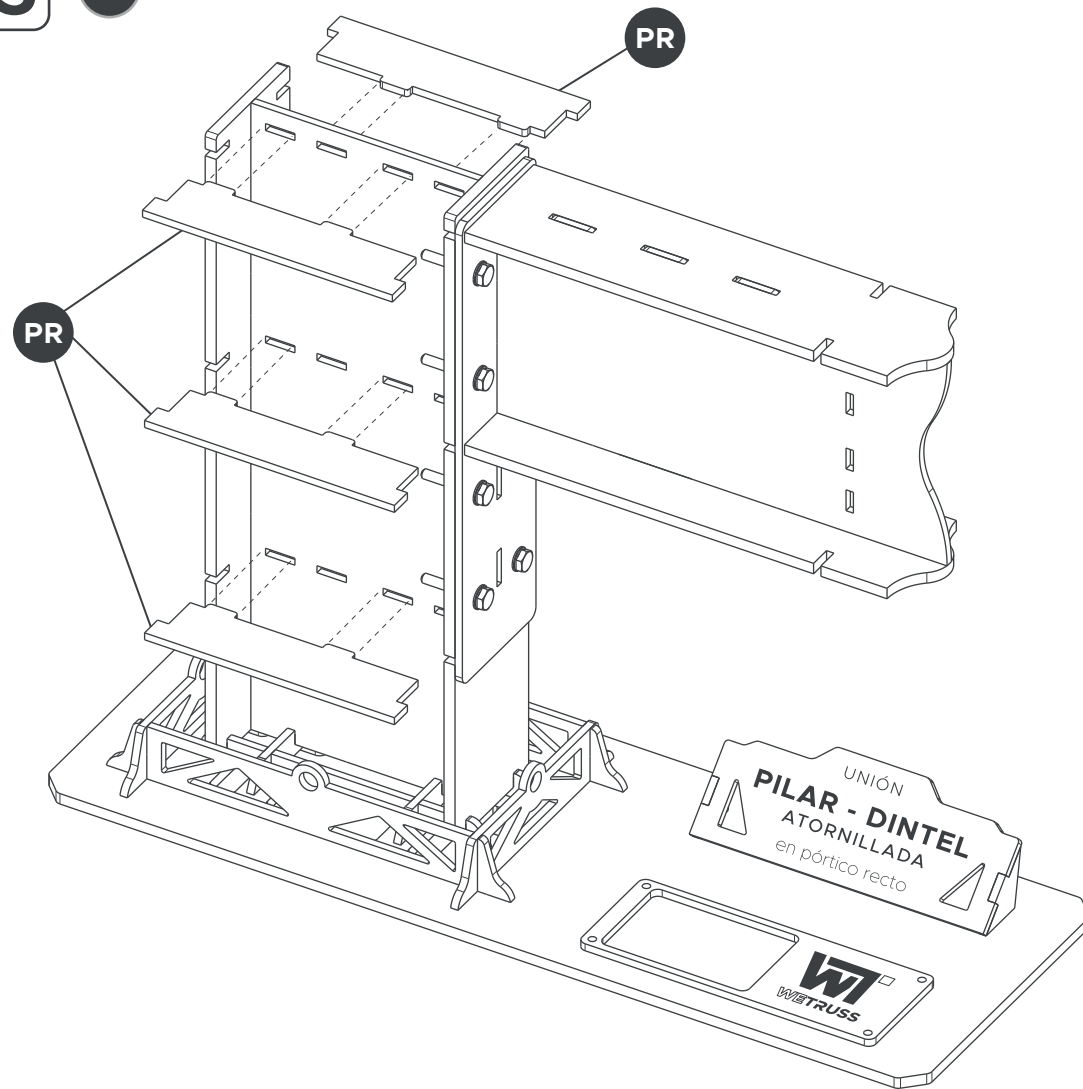


con RIGIDIZADORES Y CARTELA

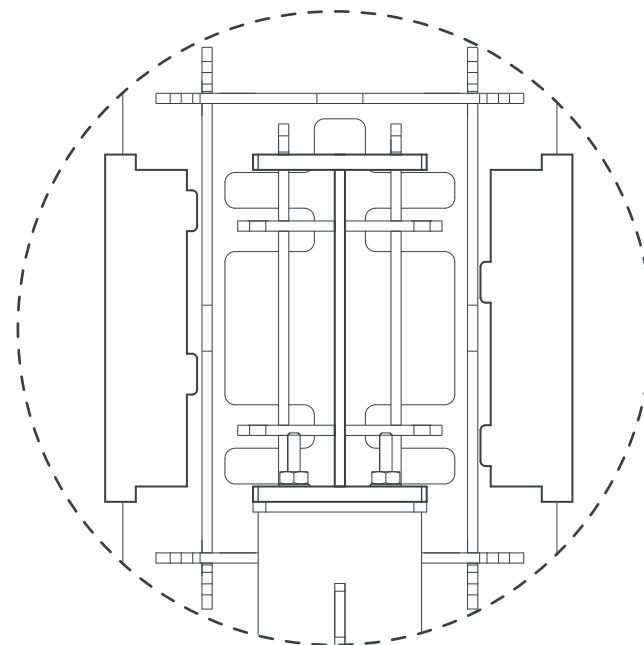
ENGINEERING LEARNING TOOL

15

PR x6



Montaje de **RIGIDIZADORES** del PILAR



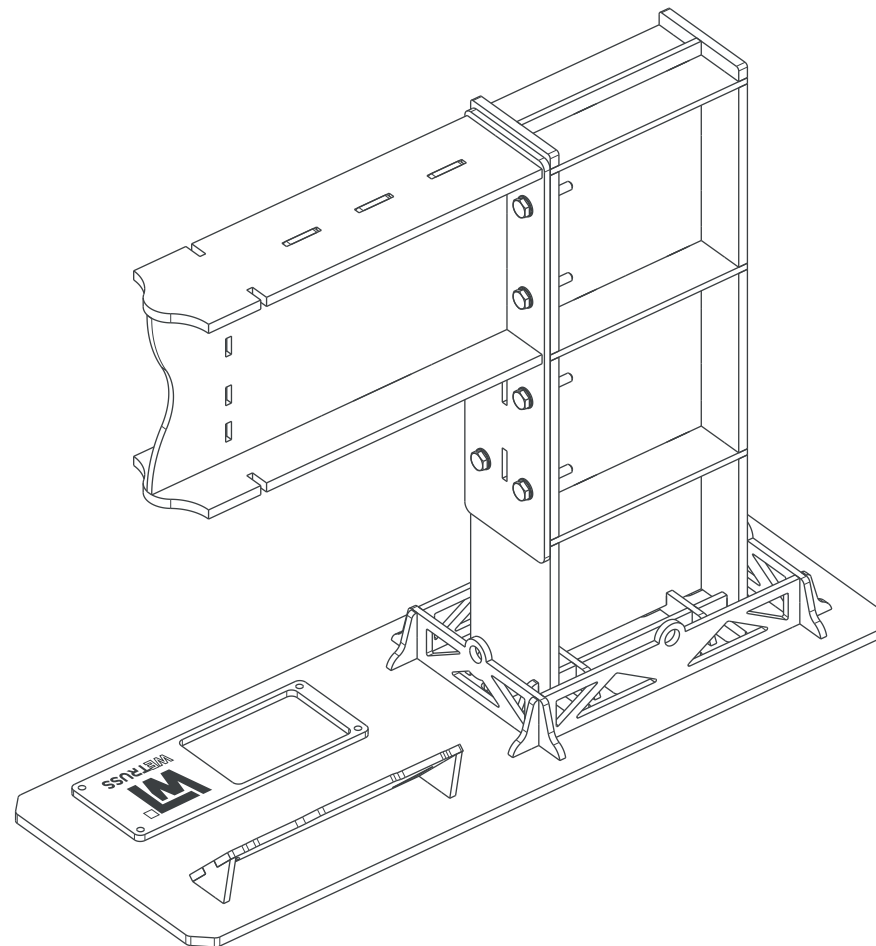
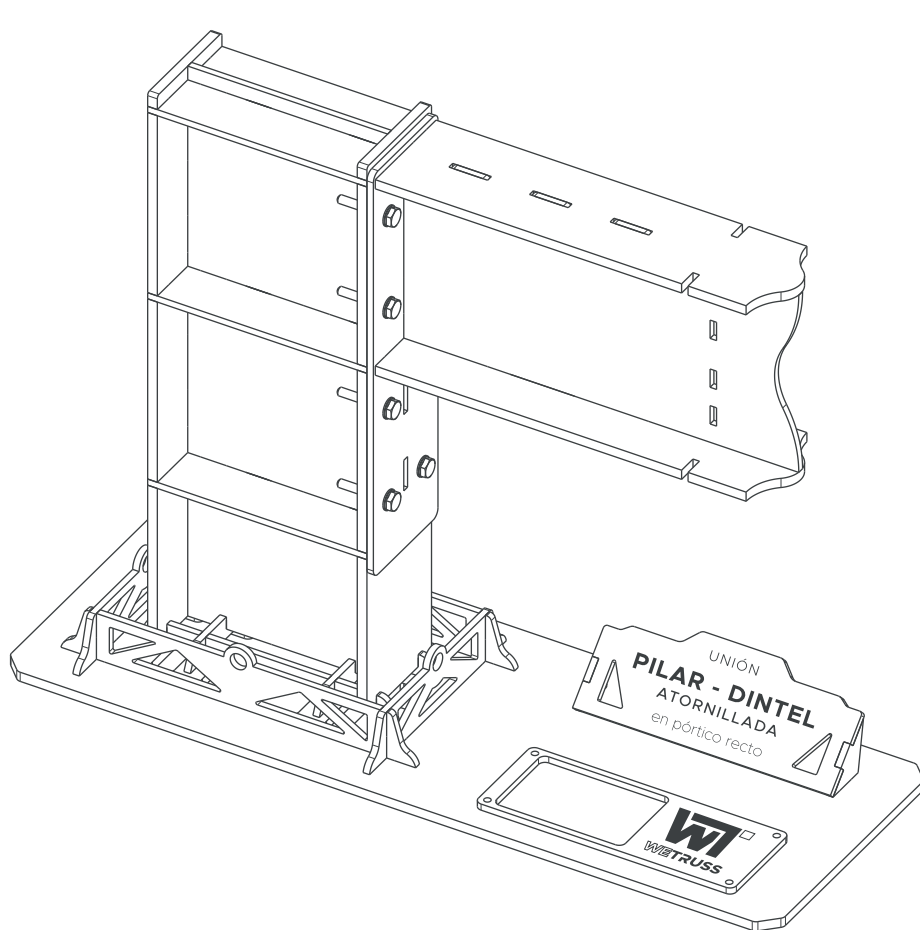
Importante que los rigidizadores de un lado ocupen los huecos 1º y 3º y los del otro lado los complementarios.

Asegurarse de que los rigidizadores encajan con el alma P3 y con las alas P1 y P2.



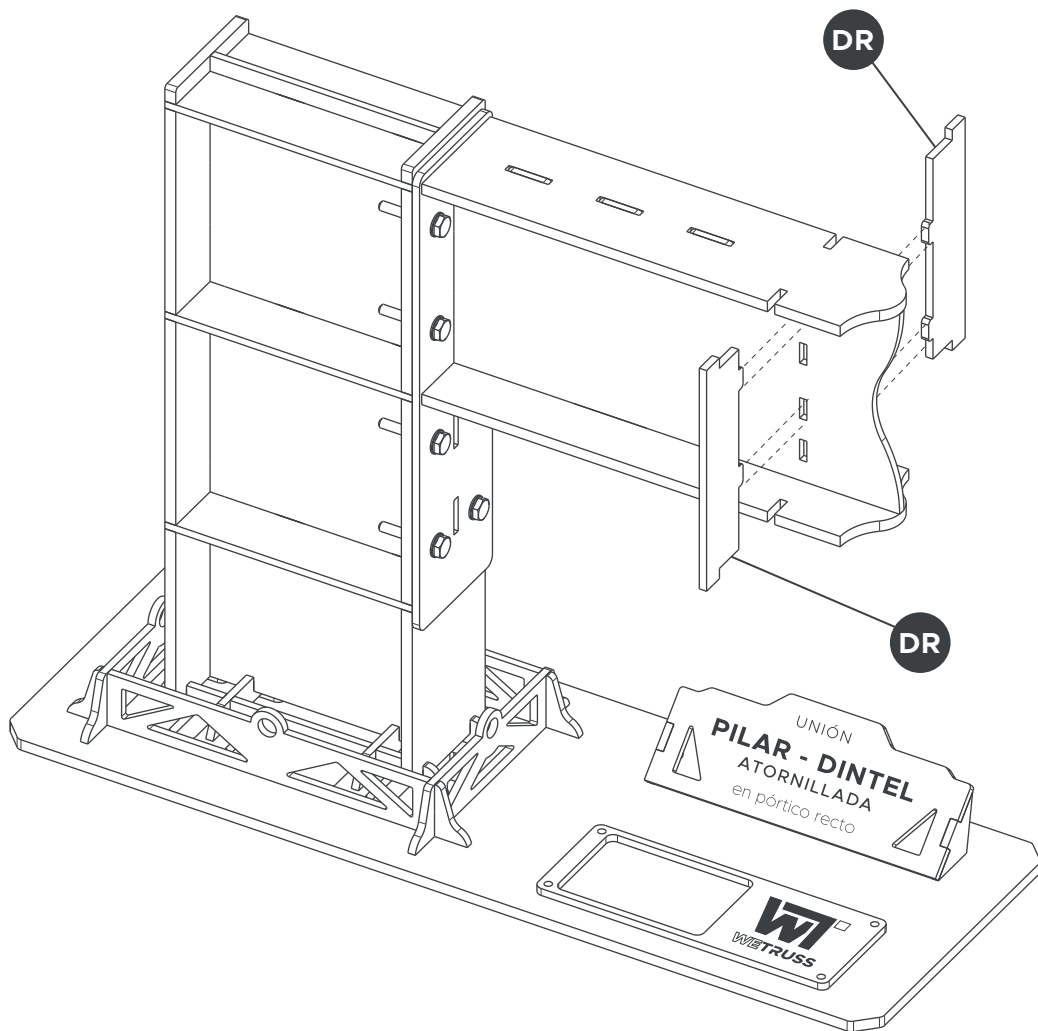
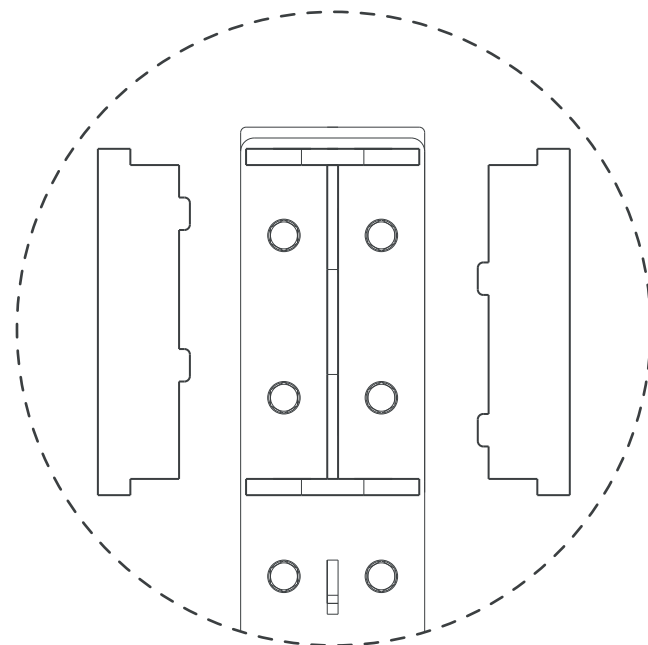


El uso de **rigidizadores** es esencial para garantizar la eficacia estructural de la unión. Su principal función es evitar el pandeo local del alma del pilar. Los tornillos suelen transmitir grandes fuerzas localizadas desde el dintel al alma del pilar, pudiendo provocar un pandeo local o la abolladura del alma. Los rigidizadores se sueldan para reforzar la zona y evitar deformaciones, mejorando la rigidez en el plano del momento flector.



16

DR x2

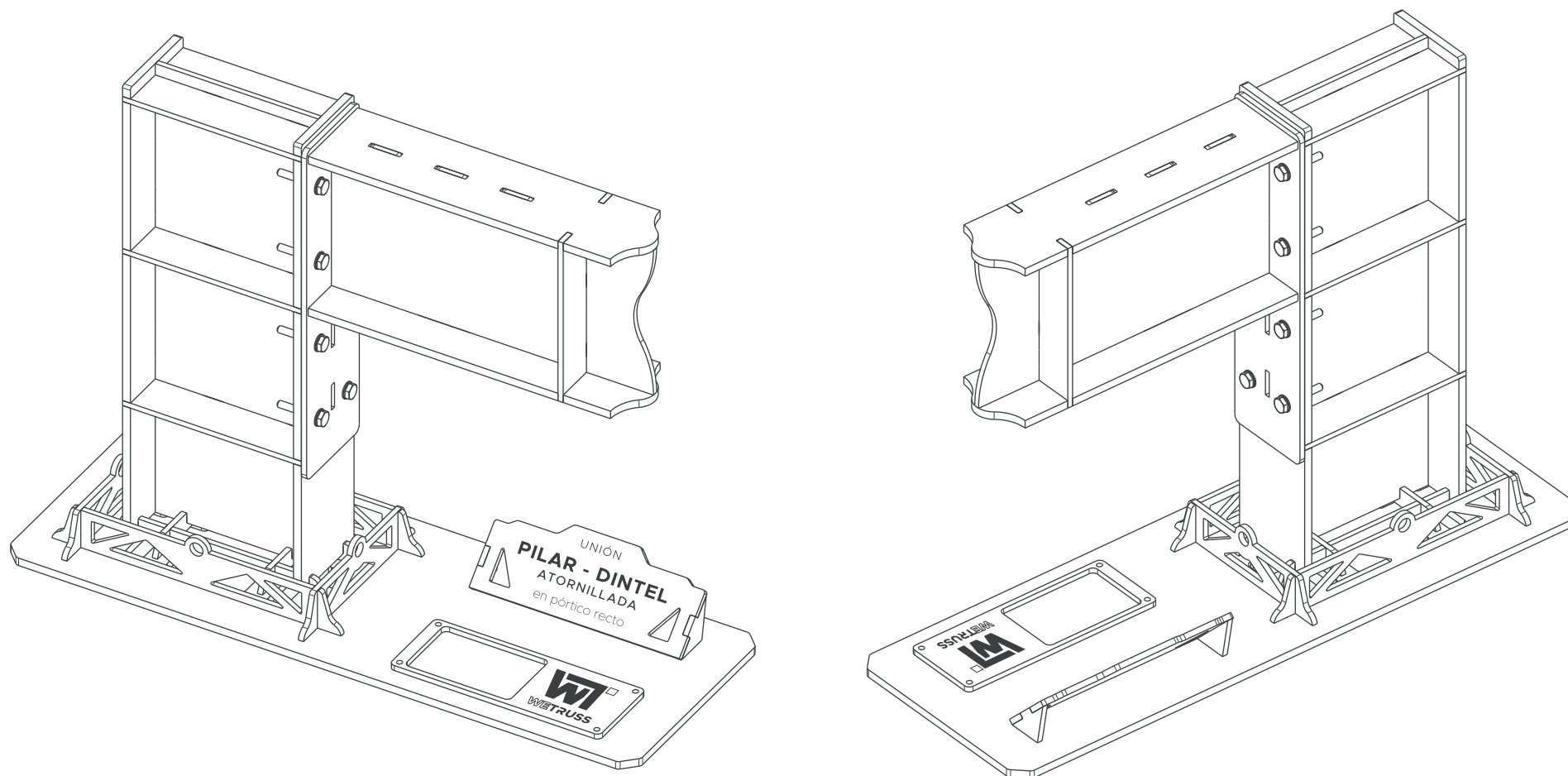
Montaje de **RIGIDIZADORES** del DINTEL

Importante que los rigidizadores de un lado ocupen los huecos 1º y 3º y los del otro lado los complementarios.

Asegurarse de que los rigidizadores encajan con el alma D3 y con las alas D1 y D2.



De manera similar al pilar, el uso de **rigidizadores** en el dintel es importante para evitar el pandeo local del alma del dintel bajo una carga concentrada. Su presencia asegura una transferencia eficiente del momento flector desde el dintel hasta el pilar, evitando deformaciones estructurales y mejorando el comportamiento global de la unión atornillada.

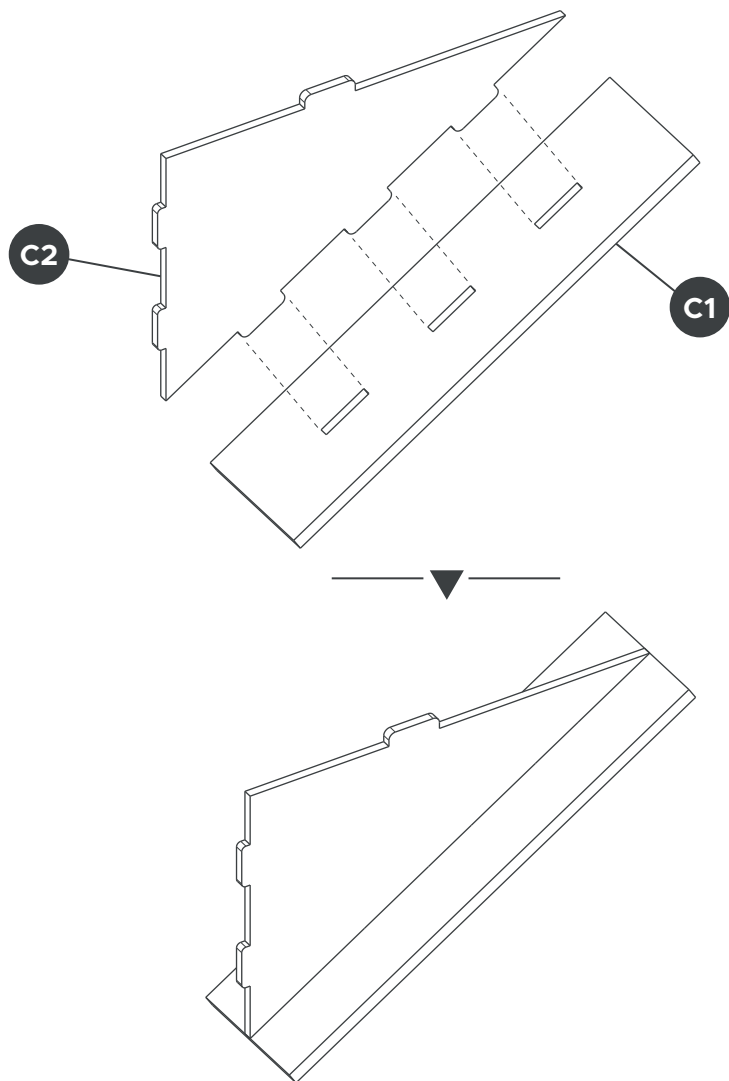


17

C1

C2

Montaje de la CARTELA



18

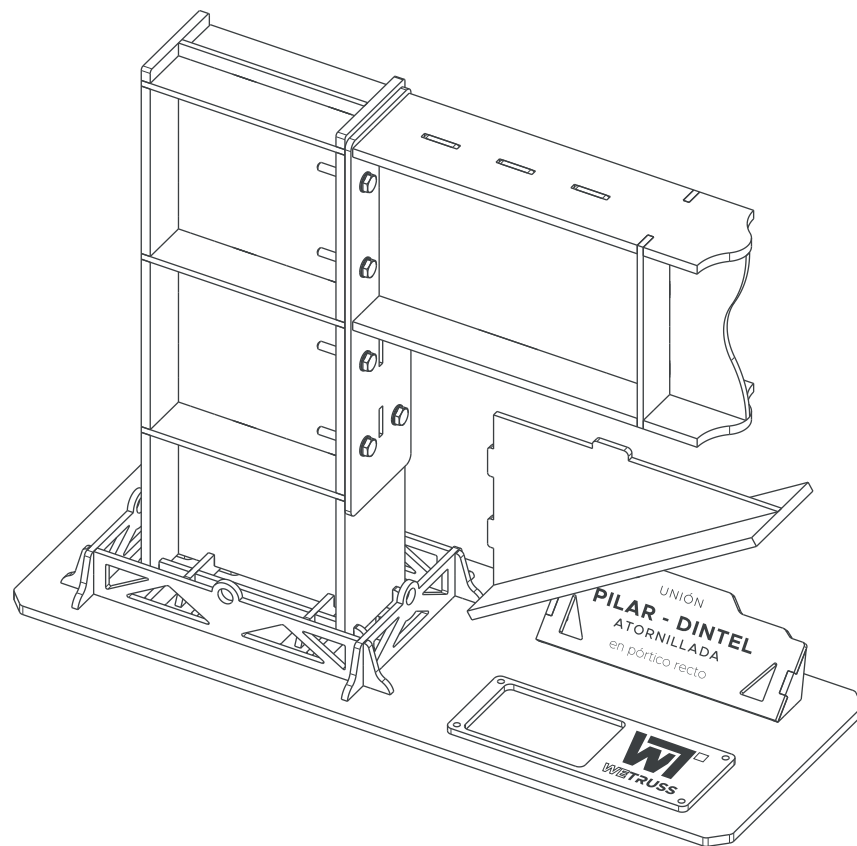


UNIÓN



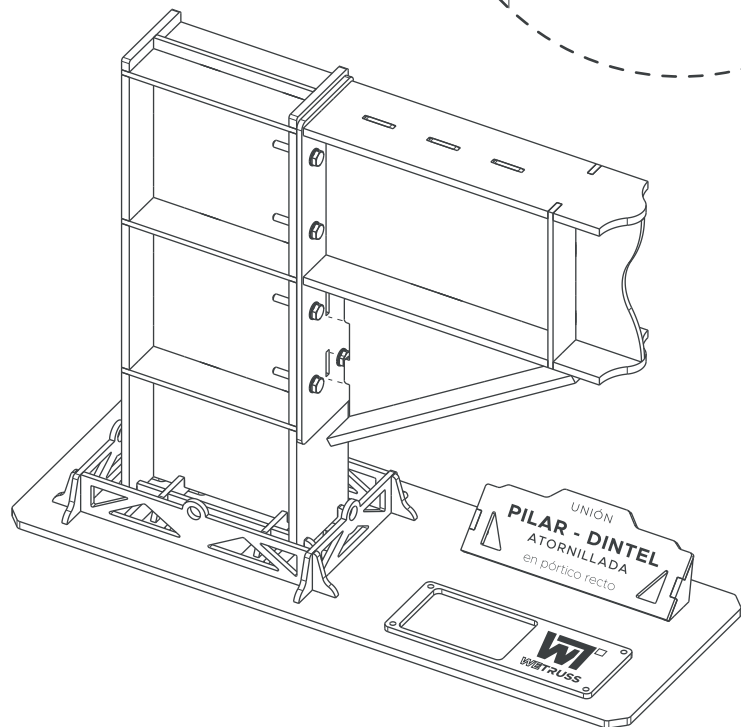
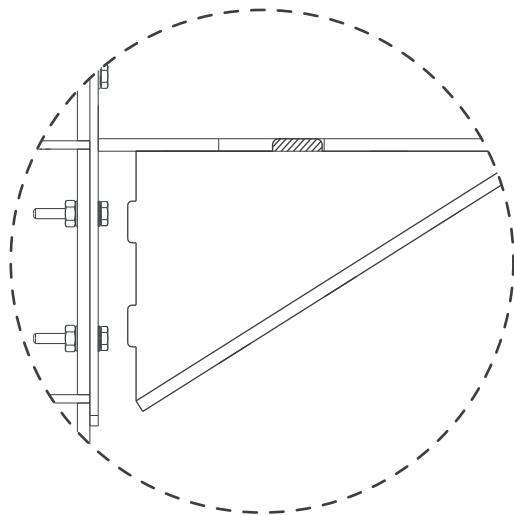
Este encaje es complicado, pues es denominado **deslizante**.

El ala de la cartela C2 encaja con las piezas D2 y T1.

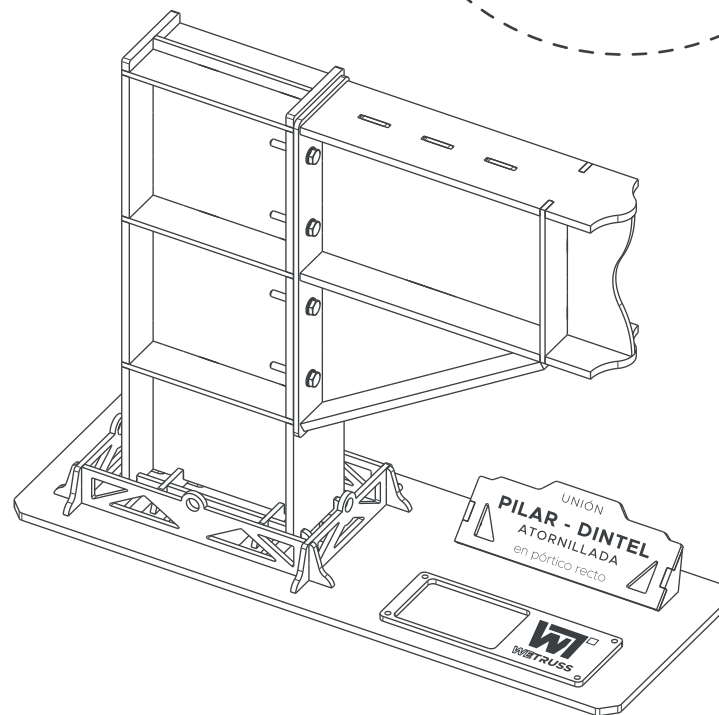
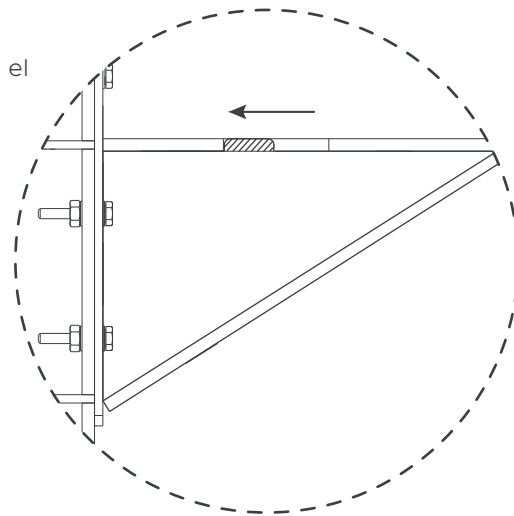




Encajar la cartela en el dintel únicamente en la zona más externa del hueco central.



Deslizar la cartela por el dintel hasta encajar el alma con la placa de testa T1.

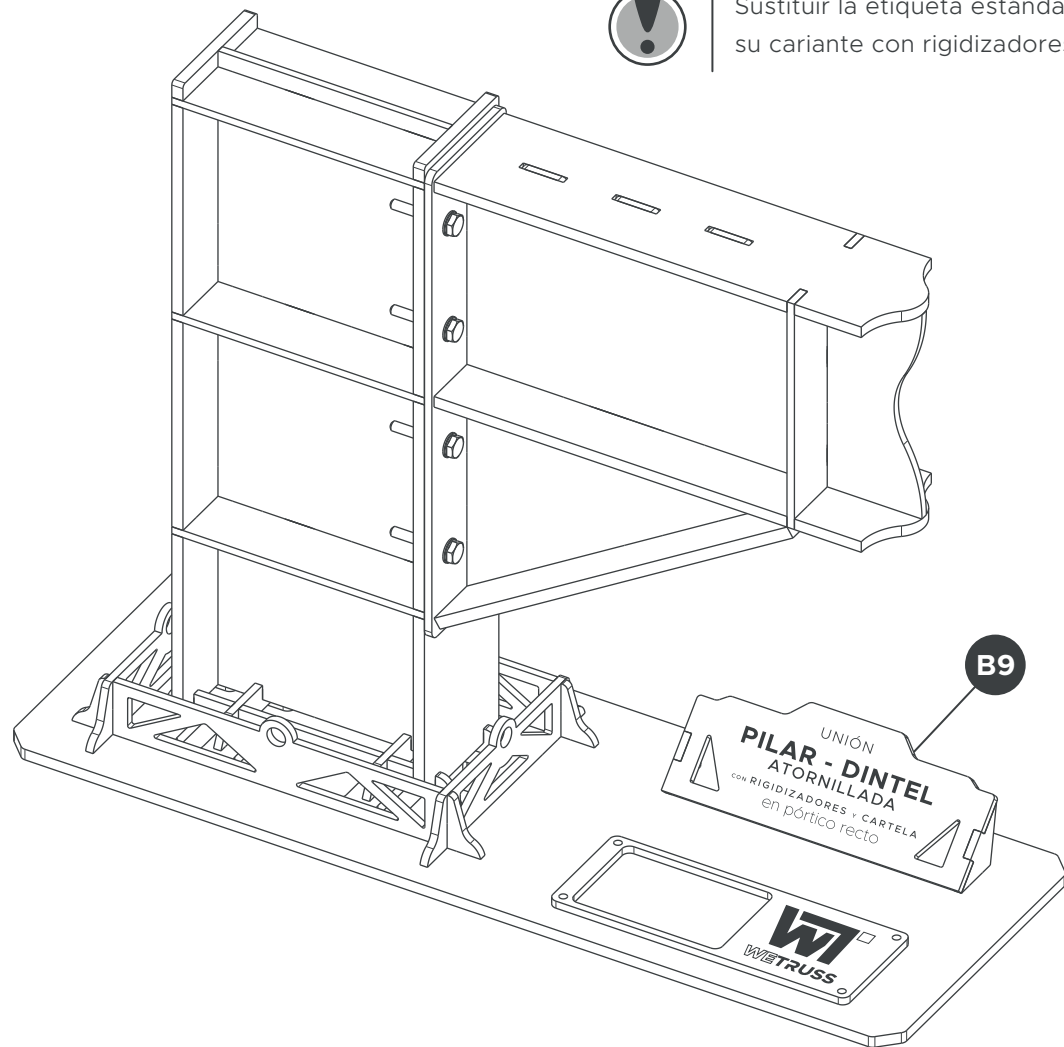


B9

B8

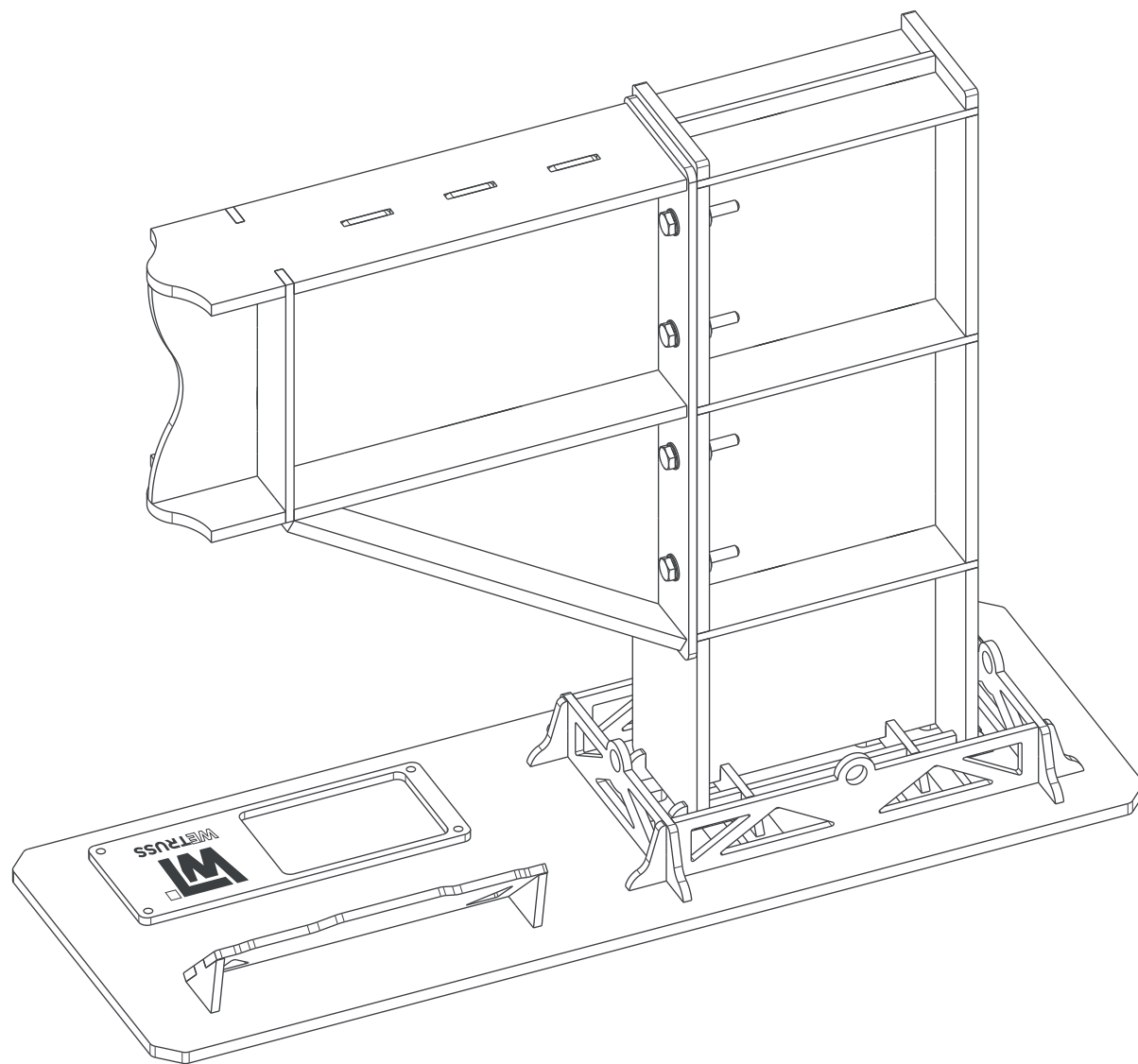


Sustituir la etiqueta estándar por su variante con rigidizadores y cartela.



Montaje finalizado de
UNIÓN PILAR - DINTEL ATORNILLADA
con rigidizadores y cartela



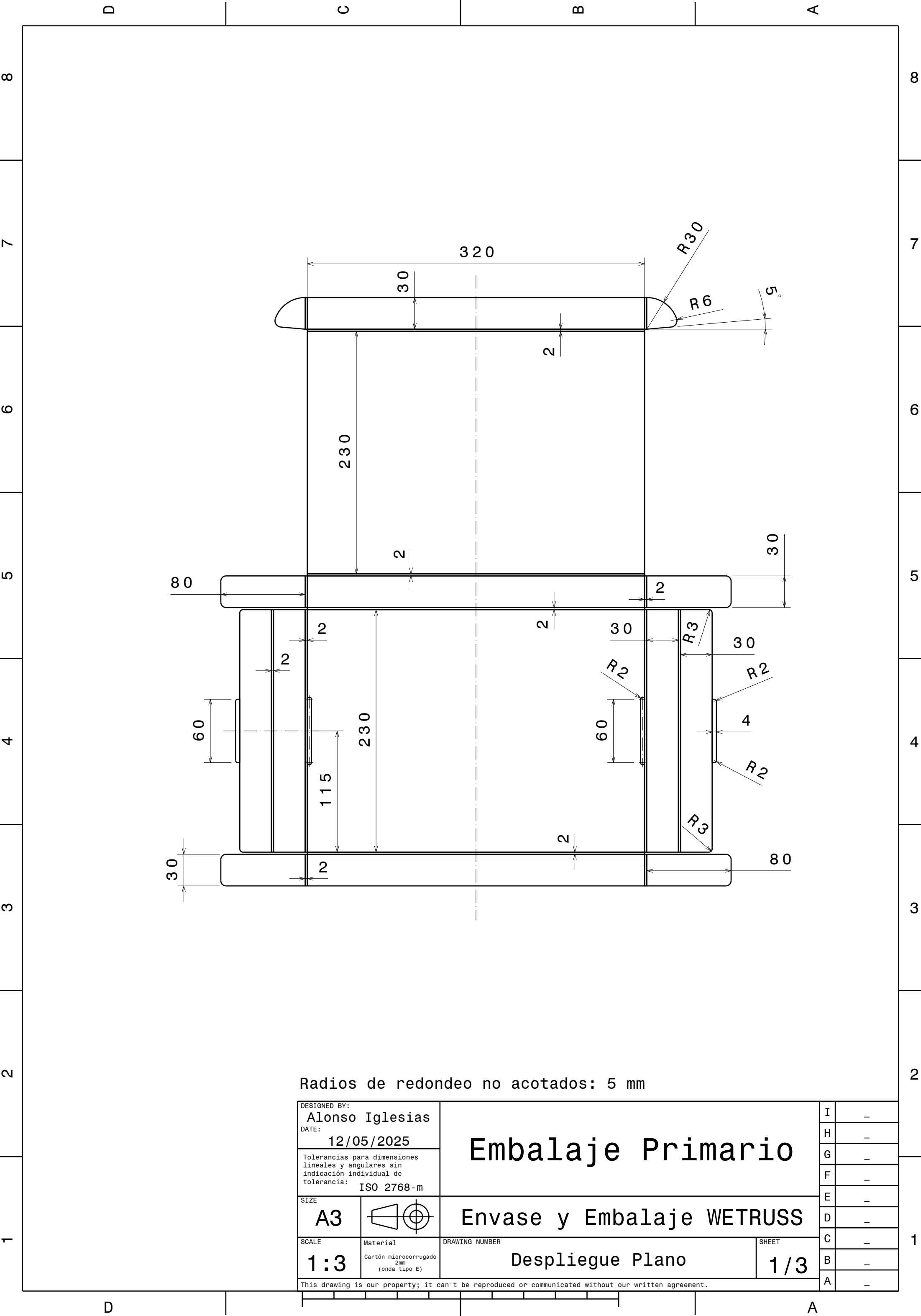




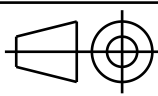


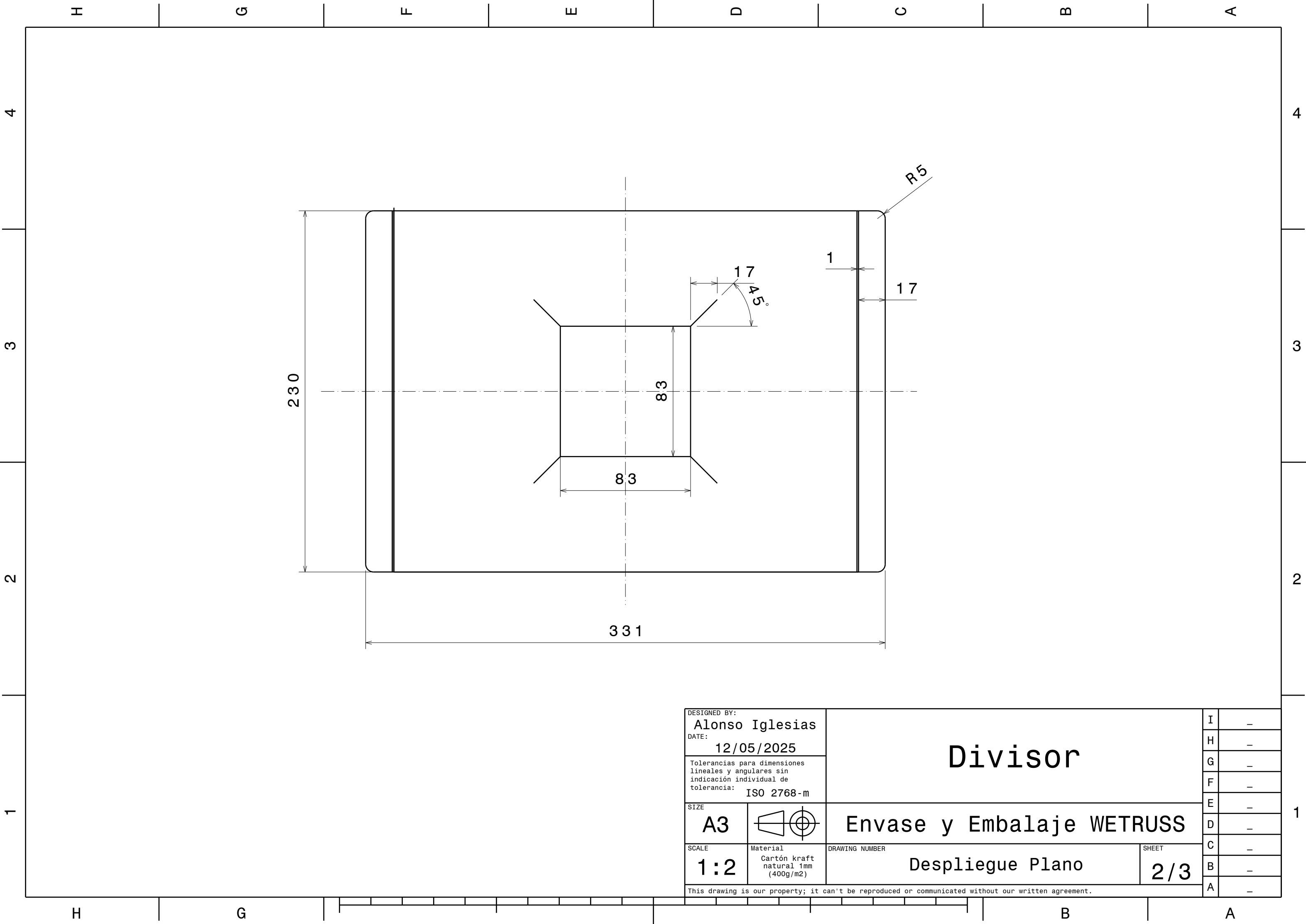
ANEXO DE ENVASE Y EMBALAJE

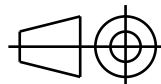
DISEÑO Y PROTOTIPADO DE UNA LÍNEA DE MAQUETAS DE MADERA
DE UNIONES TÍPICAS DE ESTRUCTURAS METÁLICAS



Radios de redondeo no acotados: 5 mm

DESIGNED BY: Alonso Iglesias		Embalaje Primario		I	—
DATE: 12/05/2025				H	—
Tolerancias para dimensiones lineales y angulares sin indicación individual de tolerancia: ISO 2768-m				G	—
SIZE A3		Envase y Embalaje WETRUSS		F	—
				E	—
SCALE 1:3	Material Cartón microcorrugado 2mm (onda tipo E)	DRAWING NUMBER Despliegue Plano	SHEET 1/3	D	—
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.				C	—
				B	—
				A	—



DESIGNED BY: Alonso Iglesias		Divisor		I	-
DATE: 12/05/2025				H	-
Tolerancias para dimensiones lineales y angulares sin indicación individual de tolerancia: ISO 2768-m				G	-
SIZE A3		Envase y Embalaje WETRUSS		F	-
SCALE 1:2	Material Cartón kraft natural 1mm (400g/m2)	Despliegue Plano		E	-
DRAWING NUMBER				D	-
				C	-
				B	-
				A	-
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.					



ANEXO DE ESPECIFICACIONES DE *CREALITY FALCON 2*

DISEÑO Y PROTOTIPADO DE UNA LÍNEA DE MAQUETAS DE MADERA
DE UNIONES TÍPICAS DE ESTRUCTURAS METÁLICAS

ANEXO DE ESPECIFICACIONES DE CREALITY FALCON 2

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA MÁQUINA DE CORTE Y GRABADO LÁSER

Product Name	Creality Falcon 2 Pro Laser Engraver and Cutter		
Optical Power	12W	22W	40W
Product Size	664*570*163 mm	664*570*173 mm	664*570*193 mm
Weight	7,14 kg	7,18 kg	7,68 kg
Input Voltage	100-240 V - 50-60 Hz		
Output Voltage	DC 24.0 V 5.0 A		DC 24.0 V 10.0 A
Working Temperature	5°C - 35°C		
Safety Certifications	IEC60825, FDA, CE, ROHS, FCC, UKCA, UL Report, PSE		
Engraving Area	400 mm * 415 mm		
Laser Source	Diode Laser		
Laser Wavelength	455 ± 5 nm		
Laser Class	Class IV (FDA)		
Laser Engraving Software	LightBurn, LaserGRBL		
Operating System	Windows/MacOS		
Supported File Formats	jpeg, jpg, png, bmp, svg, dxf, etc		
Supported Materials	Cardboard, wood, bamboo, rubber, leather, fabric, acrylic, plastic, etc		

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Alonso Iglesias Pordomingo

Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del Producto

Valladolid, 2025



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES