



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Diseño de una estación de entrenamiento físico personal
convertible y generación de su prototipo virtual

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Industrial (Acceso desde Grado
I. Mecánica)

AUTOR/A: Mompó López, Andrés

Tutor/a: Aleixos Borrás, María Nuria

Cotutor/a: Rodríguez Ortega, Alejandro

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

Índice

I Memoria 7

II Anexos 55

III Presupuesto 87

IV Planos 94

Índice de Tablas

Tabla 1 - Partes de la estructura base	23
Tabla 2 - Partes de la puerta	27
Tabla 3 - Resumen de fuerza a aplicar en el sistema de poleas	32
Tabla 4 - Resumen de elementos que forman la estructura de guiado de placas de pesos.....	35
Tabla 5 – Resumen de los elementos que forman el rack.....	40
Tabla 6 - Resultados estudio FEA del rack	49
Tabla 7 - Resultado estudio FEA de la viga superior	49
Tabla 8 - Composición química del Aluminio AA-6060	57
Tabla 9 - Propiedades mecánicas del Aluminio AA-6060.....	57
Tabla 10 - Composición química del Acero Inoxidable AISI-304	57
Tabla 11 - Propiedades mecánicas del Acero Inoxidable AISI-304	57
Tabla 12 - Composición química del Acero Inoxidable AISI-316	57
Tabla 13 - Propiedades mecánicas del Acero Inoxidable AISI-316	57
Tabla 14 - Datos iniciales: unión roscada	61
Tabla 15 - Datos iniciales: perno	61
Tabla 16 - Datos iniciales: longitudes características.....	61
Tabla 17 - Valores de diámetro norma ISO.....	62
Tabla 18 - Valores de resistencia norma ISO	62
Tabla 19 - Resultados unión viga superior y poleas.....	66
Tabla 20 - Datos iniciales: unión roscada	67
Tabla 21 - Datos iniciales: perno	67
Tabla 22 - Datos iniciales: longitudes características.....	67
Tabla 23 - Resultados unión rack y puerta	67
Tabla 24 - Datos iniciales: unión roscada	68
Tabla 25 - Datos iniciales: perno	68



Tabla 26 - Datos iniciales: longitudes características	68
Tabla 27 - Resultados unión estructura base y puerta.....	68
Tabla 28 - Propiedades mecánicas de los materiales involucrados.....	74
Tabla 29 - Resumen FEA Rack	78
Tabla 30 - Propiedades mecánicas de los materiales involucrados.....	79
Tabla 31 - Resumen FEA Perfil Superior	82
Tabla 32 - Presupuesto de mano de obra.....	89
Tabla 33 - Presupuesto de licencias de software	89
Tabla 34 - Coste de la Estructura Principal	90
Tabla 35 - Coste de las Puertas	90
Tabla 36 - Coste de la Estructura de pesos	91
Tabla 37 - Coste de los Racks	91
Tabla 38 - Coste de los Accesorios	92
Tabla 39 - Coste de las Tornillería	92
Tabla 40 - Coste total de Materiales	93
Tabla 41 - Presupuesto Total sin IVA	93
Tabla 42 - Presupuesto Total del Proyecto	93

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 - Partes de la Multiestación Marcy Eclipse.....	12
Ilustración 2 - Plano de la Multiestación Marcy Eclipse	12
Ilustración 3 - Máquina Multiestación Marcy Smith SM4008.....	13
Ilustración 4 - Boceto inicial del modelo	14
Ilustración 5 - Boceto del sistema de poleas del modelo	15
Ilustración 6 - Cable para poleas con tope de bola.....	16
Ilustración 7 - Ejemplo de familia de perfiles tubulares rectangulares	17
Ilustración 8 – Renderizado realista del diseño final	19
Ilustración 9 - Renderizado realista del interior del diseño final	20
Ilustración 10 - Estructura base	21
Ilustración 11 – Lateral de la estructura base.....	22
Ilustración 12 - Detalle del biselado, soldadura y orificio de acceso a las uniones roscadas	23
Ilustración 13 - Detalle de la unión roscada entre elementos 3 y 4	24
Ilustración 14 - Detalle de la unión roscada entre el lateral de la estructura base y los elementos 2	24
Ilustración 15 – Detalle de la unión roscada entre el lateral de la estructura base y los elementos 1.....	25
Ilustración 16 - Dimensiones de la barra olímpica	25
Ilustración 17 - Puerta	26
Ilustración 18 – Detalle de la unión roscada entre los elementos 1 y 2 de la puerta	27
Ilustración 19 - Polea de 80mm de diámetro para sujeciones de M10	28
Ilustración 20 - Polea intermedia (80mm diámetro)	29
Ilustración 21 - Estructura de la polea inferior	29
Ilustración 22 - Vista seccionada en tres cuartos de la pieza de fijación para la polea inferior	30
Ilustración 23 - Visión general del sistema de poleas de la estación de entrenamiento	31
Ilustración 24 - Comprobación de la viabilidad del sistema de poleas	32
Ilustración 25 - Estructura con guías para la elevación de las placas de pesos	33

Il·lustració 26 - Explosió de la estructura amb guies per a l'elevació de les plaques de pesos	34
Il·lustració 27 – Detalle del element A superior	35
Il·lustració 28 – Detalle del element A inferior	36
Il·lustració 29 - Enlace entre el sistema de poleas y las placas de pesos calibrados.....	37
Il·lustració 30 – Rack unido a la puerta de la estación de entrenamiento	38
Il·lustració 31 – Explosió del Rack.....	39
Il·lustració 32 - Escuadra Tipo 1 (75x52mm)	42
Il·lustració 33 - Escuadra Tipo 2 (75x32m)	42
Il·lustració 34 - Frontal bisagra	43
Il·lustració 35 - Trasero bisagra	43
Il·lustració 36 - Unión caucho	44
Il·lustració 37 - Tapa perfiles.....	45
Il·lustració 38 - Tapa accesos herramientas.....	45
Il·lustració 39 - Sujeció barra olímpica	46
Il·lustració 40 - Suelo de caucho	47
Il·lustració 41 - Resultado de pesos estructura + placas de pesos calibrados	48
Il·lustració 42 - Objetivos de Desarrollo Sostenible (redondeados los cumplidos)	50
Il·lustració 43 - Renderizado digital de la estación de entrenamiento con un carenado de madera	52
Il·lustració 44 - Unión entre perfil superior y poleas	58
Il·lustració 45 - Detalle unión entre perfil superior y poleas	59
Il·lustració 46 - Detalle unión el rack y la puerta de la estructura	59
Il·lustració 47 - Detalle unión entre la estructura base y la puerta.....	59
Il·lustració 48 - Unión de la estructura base y la puerta y rack y la puerta de la estructura	60
Il·lustració 49 - Esquema del sistema de poleas superior.....	69
Il·lustració 50 - Esquema del sistema de poleas inferior	70
Il·lustració 51 - Configuració malla	73
Il·lustració 52 - Configuració convergencia	73



Ilustración 53 - Configuración de la malla local	74
Ilustración 54 - Restricciones del Rack para el análisis	75
Ilustración 55 - Resultado FEA Rack: tensión de Von Mises.....	76
Ilustración 56 - Resultado FEA Rack: desplazamiento	77
Ilustración 57 - Resultado FEA Rack: coeficiente de seguridad.....	78
Ilustración 58 - Restricciones perfil superior con poleas	79
Ilustración 59 - Resultado FEA Perfil Superior: tensión de Von Mises	80
Ilustración 60 - Resultado FEA Perfil Superior: tensión de Von Mises	81
Ilustración 61 - Resultado FEA Perfil Superior: desplazamientos.....	81
Ilustración 62 - Resultado FEA Perfil Superior: coeficiente de seguridad.....	82
Ilustración 63 - Parámetros asignados al modelo CAD	83
Ilustración 64 - Variable relacionada con la altura de la guía para las placas de pesos	84
Ilustración 65 - Ejemplo uso parametrización: valores iniciales (los obtenidos como diseño final)	85
Ilustración 66 - Ejemplo uso parametrización: valores modificados.....	86



I Memoria

Memoria

1. Introducción	10
1.1. Motivación y objetivos	10
1.2. Alcance del proyecto	10
1.3. Software y métodos	11
2. Antecedentes	11
2.1. Multiestación Marcy Eclipse HG3000 Compact Home Gym	11
2.2. Multiestación Marcy Smith SM4008	13
3. Diseño preliminar	14
3.1. Conceptos iniciales	14
3.2. Limitaciones del diseño	16
4. Selección de materiales	17
4.1. Perfiles cuadrados huecos	17
4.2. Materiales	18
5. Diseño final	19
5.1. Estructura base	21
5.2. Puertas	26
5.3. Poleas	28
5.4. Estructura con pesos calibrados	33
5.5. Racks	38
5.6. Accesorios	41
5.6.1. Uniones roscadas	41
5.6.2. Escuadras	42
5.6.3. Bisagras	43
5.6.4. Uniones de caucho	44
5.6.5. Tapas	44
5.6.6. Sujeción barra olímpica	46
5.6.7. Suelo de caucho y carenado	47
6. Cumplimiento de las limitaciones de diseño	48
7. Estudio FEA: análisis de tensiones y validación del diseño	49
8. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)	50
9. Trabajos futuros	51
10. Conclusión	53



11. Bibliografia 54

1. Introducció

Este proyecto consiste en el diseño de un espacio de entrenamiento físico individual, con el fin de ser instalado en una vivienda, minimizando el uso de suelo y el impacto visual al usuario.

1.1. Motivación y objetivos

La motivación de este proyecto surge de la tendencia actual, tras los tiempos de pandemia, de realizar actividades físicas en casa que anteriormente se llevaban a cabo en espacios dedicados específicamente a estas.

Ciertos casos, como el paso del trabajo presencial al teletrabajo, u otros como el paso de la asistencia a gimnasios convencionales a tener lo necesario para el ejercicio físico en la vivienda de cada uno, siendo este último el que abarca este proyecto.

En el caso del ejercicio físico, tener todas las herramientas necesarias para ejercitarse, no solo es una alta inversión de dinero, sino que también una alta ocupación de espacio en la vivienda. Las distintas máquinas que se utilizan a partir de cierto nivel de exigencia física son de gran volumen, pesadas y difíciles de almacenar. Esto conlleva al usuario a dedicar, normalmente, una gran parte (o la totalidad) del espacio de una habitación completa o gran parte del espacio a estas máquinas, lo cual repercute en una disminución del espacio útil y en un gran impacto visual mientras no se está haciendo uso de las máquinas.

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es diseñar un producto mediante una estructura capaz de albergar los elementos necesarios para un entrenamiento físico completo, que ocupe el mínimo espacio posible y que reduzca de manera significativa el impacto visual mientras no se está haciendo uso de esta.

Se ha considerado suficiente para un entrenamiento físico completo la posibilidad de realizar ejercicios que involucren todos los grupos musculares principales (tren superior y tren inferior), de modo que la estructura debe ser compatible con ejercicios como: sentadillas, dominadas, press militar y tracciones superiores e inferiores.

1.2. Alcance del proyecto

Se desea plantear un diseño completo del producto, empleando como herramienta principal *Autodesk Inventor*. Con este software se generará un diseño virtual del producto, se comprobará la validez estructural y mecánica del diseño mediante distintos análisis de tensiones y se crearán los planos oportunos.

Además, se completará la comprobación de validez estructural y mecánica del proyecto mediante ciertos cálculos realizados con el *Excel* de *Microsoft*. Estos cálculos serán vinculantes a las uniones roscadas y relaciones de las poleas empleadas en el diseño.

Como entregables del proyecto se contemplan cuatro distintos: la presente memoria, los anexos de esta, el presupuesto del proyecto y los planos.

1.3. Software y métodos

Como se ha mencionado en el apartado anterior, se va a hacer uso de los siguientes softwares y métodos:

Autodesk Inventor: programa informático de diseño CAD (*Computer-Aided Design*) empleado en la generación de modelos 3D a partir de geometrías simples en 2D. Dentro del software vamos a hacer uso de herramientas como:

- Análisis de Elementos Finitos (FEA): del inglés *Finite Elements Analysis*, es una técnica de análisis basada en la simulación, empleada en modelos CAD para la aproximación de soluciones de ecuaciones diferenciales parciales muy complejas.
- Centro de contenidos: base de datos que incorpora *Inventor* con una serie de elementos normalizados que nos ayudan a acelerar el diseño del producto. De estos elementos, vamos a hacer uso de algunos como perfiles, pernos, tuercas, arandelas, rodamientos...

Microsoft Excel: programa informático que permite crear y editar hojas de cálculo. Se hará uso de este software para repetir el mismo procedimiento de cálculo en distintas condiciones iniciales.

2. Antecedentes

Actualmente, existen varias alternativas comerciales que pueden cubrir las mismas necesidades que la presente idea de diseño. No obstante, la gran mayoría de ellos no permiten albergar los elementos de entrenamiento físico en el propio interior de la estructura, de manera que se reduzca el impacto visual.

La gran mayoría de las opciones disponibles en el mercado son las llamadas máquinas multiestación o *multi-power*. Estas máquinas permiten realizar diferentes tipos de ejercicios, buscando la mayor polyvalencia posible, en un mismo espacio y en una misma estructura.

A continuación, se introducen ciertos ejemplos que pueden encontrarse fácilmente en tiendas comerciales.

2.1. Multiestación Marcy Eclipse HG3000 Compact Home Gym

Este modelo es una máquina de ejercicio físico enfocada, en su mayoría, al trabajo del tren superior mediante ejercicios de tracción. Para ello hace uso de poleas (alta y baja) y un mecanismo de agarre multiposición en la parte central de la máquina.

La máquina consta de poleas (altas y bajas) que, al traccionar su cable, elevan unas placas calibradas. Estas placas pesadas ejercen una resistencia al usuario. Puede ser seleccionada la cantidad de placas con las que se desee ejercitarse. En la Ilustración 1 se puede ver el modelo descrito con las especificaciones de sus partes.

Es una máquina con ciertas limitaciones, ya que no puede realizarse un entrenamiento físico completo, al no haber mecanismos enfocados al tren inferior. Además, el espacio que ocupa es considerable, Ilustración 2, de modo que reduce la posibilidad de instalar máquinas alternativas que permitan realizar un entrenamiento físico ideal.

Cierto es que su peso es óptimo para su uso en una vivienda, 124kg. Sin embargo, no soluciona el principal inconveniente que se ha marcado como objetivo, el impacto visual.



Ilustración 1 - Partes de la Multiestación Marcy Eclipse

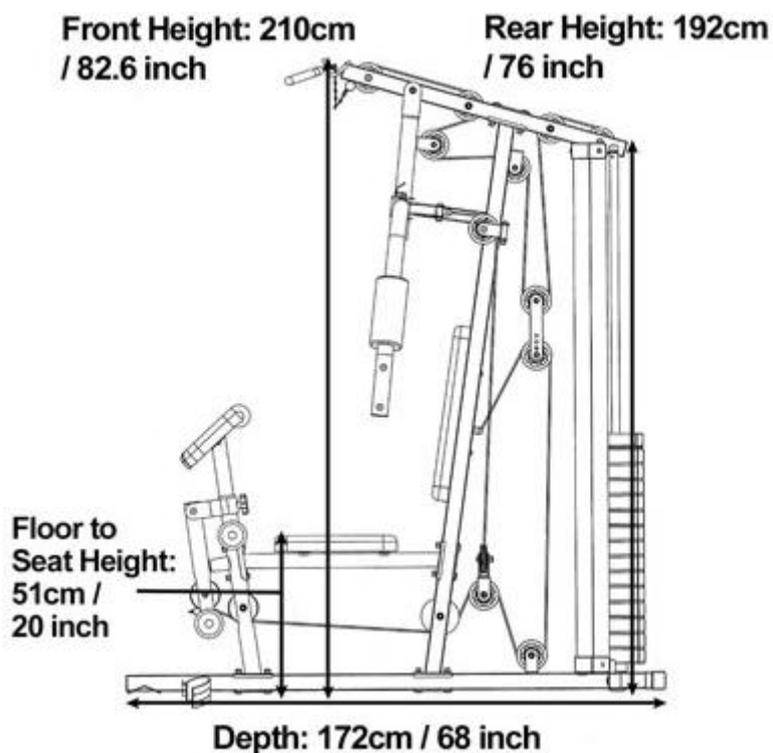


Ilustración 2 - Plano de la Multiestación Marcy Eclipse

2.2. Multiestación Marcy Smith SM4008

Este modelo de máquina tiene unas prestaciones similares a las anteriores, pero más avanzada, además de añadir una estructura que permite el entrenamiento del tren inferior.

Por el contrario, la máquina no dispone de pesos guiados calibrados, ya que, en el caso de disponer de ellos, superaría el peso máximo permitido en un forjado por metro cuadrado. Además, hay ciertos elementos de la máquina que no se consideran básicos ni esenciales para un ejercicio físico completo, como las poleas superiores simétricas o la barra guiada.

Aun así, la estructura o rack empleado (Ilustración 3) en la elevación de peso es muy polivalente y eficiente en cuanto al aprovechamiento del espacio y la variedad de ejercicios que se pueden hacer en él.



Ilustración 3 - Máquina Multiestación Marcy Smith SM4008

3. Diseño preliminar

3.1. Conceptos iniciales

A partir de los objetivos del proyecto y la información obtenida mediante los antecedentes, se decide hacer un esbozo de las prestaciones y de los elementos esenciales que se desea que tenga el diseño.

En primer lugar y más importante, el modelo debe ser capaz de albergar todos los elementos en su interior, evitando así el impacto visual, su deterioro y el polvo. Además, la propia estructura debe permitir resguardar en su interior los elementos de entrenamiento, como soporte de los elementos pesados: barras, discos, placas de pesos calibrados...

En cuanto a mecanismos que faciliten el ejercicio físico, se ha decidido hacer uso de sistemas de poleas con placas de pesos calibrados y un rack. Así se cubre el entrenamiento tanto de tren superior como inferior, mediante ejercicios de tracción y empuje. De esta manera se puede realizar un entrenamiento completo y polivalente, cubriendo lo esencial.

Con estas primeras prestaciones, se decide enfocar el modelo hacia un diseño basado en un armario. Este armario deberá ser capaz de soportar un peso mínimo con su estructura, cumplir las funcionalidades enunciadas en los párrafos anteriores y poder albergar todos los elementos en su interior cuando no se esté haciendo uso de este, reduciendo drásticamente el impacto visual.

Se procede a realizar un primer boceto del modelo, Ilustración 4, a partir de las ideas anteriores

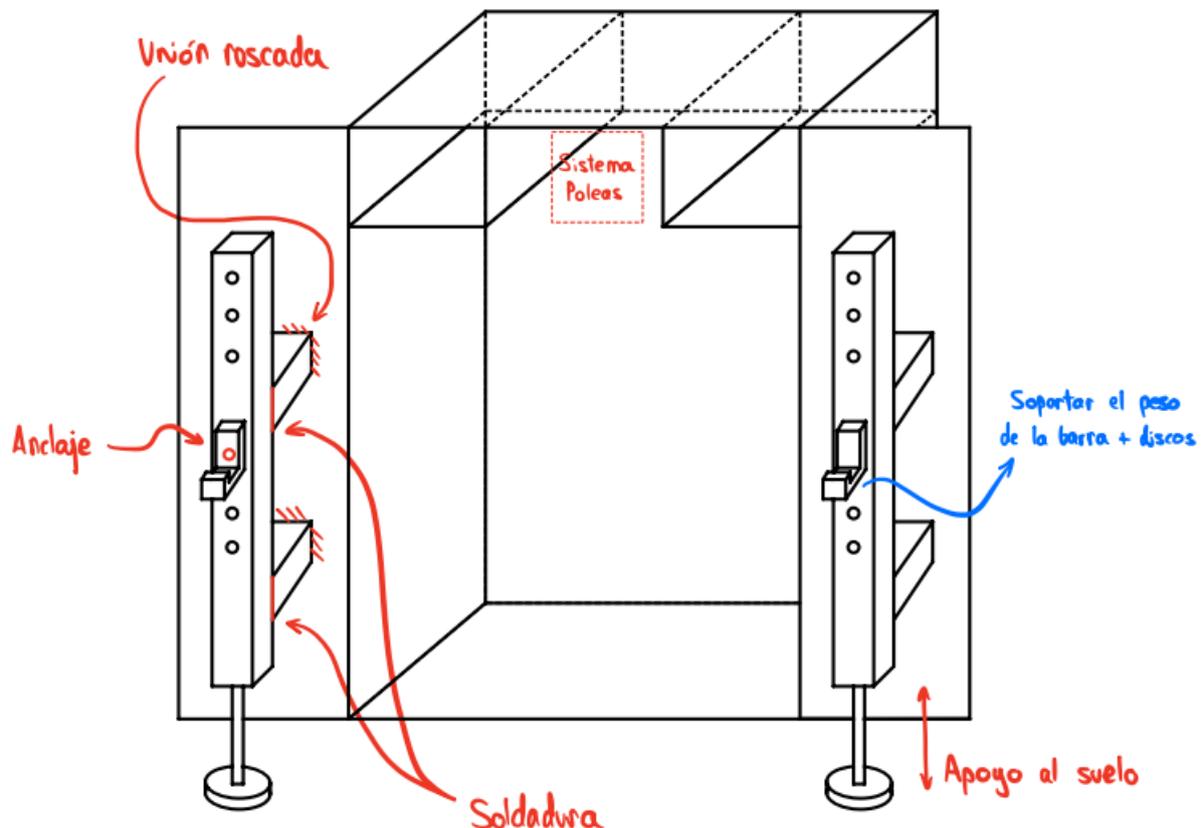


Ilustración 4 - Boceto inicial del modelo

Además, se hace un esquema básico del sistema de poleas que se desea añadir al modelo. Este sistema desea enlazar una polea alta y una baja a un mismo conjunto de placas de pesos calibrados. Esto se consigue gracias a una polea móvil doble, como se ve en la Ilustración 5.

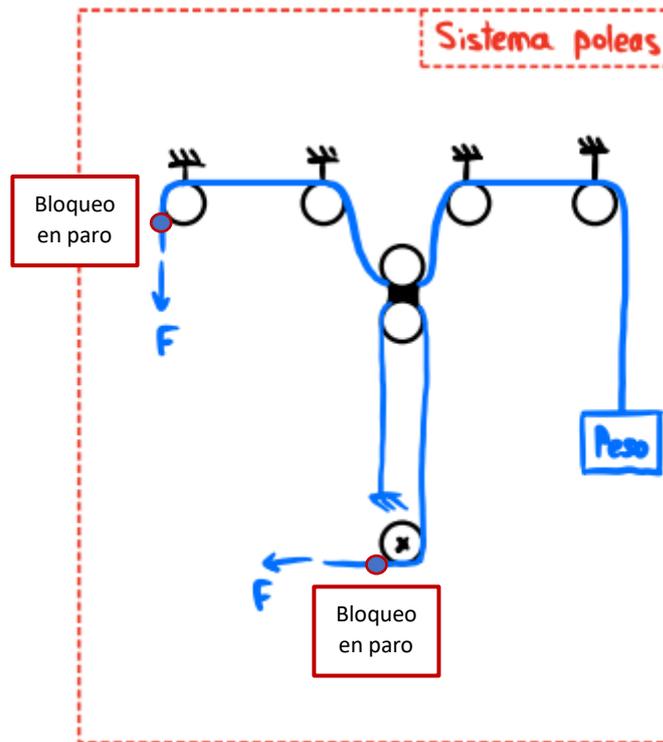


Ilustración 5 - Boceto del sistema de poleas del modelo

La idea de este diseño es que las placas de pesos puedan ejercer resistencia desde ambos accesos, polea superior e inferior. Esto se pretende conseguirlo mediante la polea móvil del centro.

Esta polea central, realmente, tiene una función de polea fija cuando se tracciona la polea superior, y otra función de polea móvil cuando se tracciona la polea inferior.

El concepto de funcionamiento se da gracias a la disposición de los cables que se van a usar en el sistema de poleas. Estos cables llevan unas bolas en sus extremos, Ilustración 6, como se indica en el dibujo de la Ilustración 5, que ejercen su función de tope cuando no se está traccionando los cables. De esta manera, el propio cable bloquea el sistema de poleas inferior, mientras se está traccionando el sistema superior, y viceversa.

Por lo tanto, como se ha comentado, la polea central es móvil cuando se tracciona el sistema inferior y el superior queda bloqueado.

Este funcionamiento queda detallado en profundidad en el apartado 3 del Anexo.



Ilustración 6 - Cable para poleas con tope de bola

3.2. Limitaciones del diseño

Partiendo de los antecedentes y de las ideas contempladas anteriormente, se va a tratar de llegar a un diseño óptimo, eficaz y polivalente. Sin embargo, hay ciertas limitaciones que deben contemplarse, ya que no hacerlo puede dar pie a un proyecto no homologable.

El concepto más importante alrededor del cual se trabaja es el de una estación de entrenamiento en el hogar, de modo que debe poder adaptarse al tipo de hogar promedio de España y así llegar al máximo número de usuarios. Los pisos son la vivienda más habitual en España y, aunque no es el espacio ideal para una estructura como esta, debemos cumplir las especificaciones que nos permitan instalar el modelo en un espacio como este.

Las principales limitaciones que encontramos en un piso promedio aplican directamente a las dimensiones y al peso del modelo. Esto se debe a que la altura útil de un piso promedio es de 2,45m y el forjado de una vivienda aguanta entre 200 y 300kg por metro cuadrado.

Además, el modelo debe poder montarse en el espacio donde vaya a ser utilizado, ya que la estructura completa no podría ser transportada con facilidad hasta la vivienda, y mucho menos introducirla dentro de ella.

En cuanto a limitaciones técnicas, a la hora de hacer estudios de tensiones, los pesos libres deben mayorarse por 3 (debido a la posible aceleración que adquiera el cuerpo al usar la estructura), cumplir un coeficiente de seguridad mínimo en todos los casos de 3 y de 1,3 en las uniones roscadas.

Algunas de estas limitaciones han sido consideradas durante el proceso de diseño, ya que en una fase inicial se planteó un modelo completamente soldado (no podía desmontarse) o con todas sus partes de acero inoxidable (su peso era muy superior al límite del forjado).

Cabe recalcar que, aunque estas son las condiciones mínimas viables del diseño que se desea realizar, cumpliendo estas condiciones se logra un producto más accesible al usuario promedio sin afectar de manera negativa a las capacidades mecánicas del modelo.

4. Selección de materiales

Conocidos los objetivos de diseño, se hace una selección de materiales que favorezcan la sencillez del diseño y el cumplimiento de los requisitos considerados. Para ellos, se seleccionó el tipo de geometrías con las que se deseaba trabajar, y los materiales de estas.

4.1. Perfiles cuadrados huecos

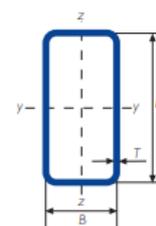
El diseño parte de una estructura similar a la de un armario, por lo tanto, se trata de una geometría sencilla formada por líneas rectas, en su gran mayoría. Además, se conoce que debe ser ligera y fácilmente modificable, para poder acoplar a la estructura los distintos elementos necesarios para el entrenamiento físico.

Con esta información, se toma como mejor opción el uso de perfiles metálicos estandarizados, ya que hacer uso de elementos estándar reducirá el coste, tanto en el precio del propio elemento como en su mecanización (fácil uso en soldaduras o uniones roscadas).

Dentro de los perfiles estandarizados hay una gran variedad de familias, pero se decide hacer uso de perfiles rectangulares/cuadrados huecos:

- Rectangulares/Cuadrados: se escoge esta tipología por delante de los tubulares (sección circular) ya que los perfiles cuadrados presentan una mayor plasticidad, dureza, resistencia a fatiga y al impacto. Además, su mecanización es más sencilla y económica, y su geometría se adapta mejor al diseño sobre el que se está trabajando.
- Huecos: en esta decisión vuelve a entrar el juego el factor económico, ya que el coste de los perfiles huecos es mucho menor que el de los perfiles macizos. Sin embargo, el motivo principal, es que el uso de perfiles macizos limitaría el diseño por superar fácilmente el peso límite que nos marca el forjado promedio de una vivienda (200-300kg).

Como conclusión se hará uso de perfiles tubulares rectangulares/cuadrados estandarizados, también llamados perfiles rectangulares/cuadrados huecos, con una sección similar a la de la Ilustración 7, pudiendo variar dependiendo de la familia de perfiles seleccionada.



GAMA DE TUBO ACABADO EN FRÍO. Medidas en milímetros

Gama perfil tubular en frío - rectangular

DIMENSIÓN ESPECÍFICA DE LADOS		ESPESOR T (mm)														
H (mm)	B (mm)	1,5	2	2,5	3	4	5	6	6,3	7	8	10	12	12,5	14,2	16
60	34															
60	35															
60	40															
60	45															
60	48															
60	50															

Ilustración 7 - Ejemplo de familia de perfiles tubulares rectangulares

4.2. Materiales

Como se ha avanzado en el apartado 4.1, y por la naturaleza del diseño, se va a hacer uso de materiales metálicos en su mayoría. Estos deberán tener un buen comportamiento frente al polvo, óxido y poseer unas propiedades mecánicas suficientes para trabajar bajo las tensiones necesarias.

Al trabajar con perfilería estandarizada, los metales más empleados son aceros, aluminios y sus aleaciones. Ambos tienen un buen comportamiento frente a agentes externos, siendo el óxido el que más importancia tiene. En cuanto al acero inoxidable, como su propio nombre indica, se trata de una aleación ferrosa que contiene Cromo (Cr) al menos en un 12%, aportando sus propiedades anticorrosivas a toda la aleación. Por otra parte, el aluminio y sus aleaciones tienen un excelente comportamiento, gracias a la capa de óxido de alúmina natural que genera el propio aluminio y le protege frente a la corrosión.

En el momento de decidir entre estos dos materiales, ya que su comportamiento frente a la corrosión es óptimo en ambos casos, debe decidirse por otras cuestiones que se hayan considerado relevantes en el diseño. Estos estarían relacionados con el peso y las propiedades mecánicas de la estructura, sin olvidar el coste.

La densidad media del acero inoxidable es de $8,03\text{g/cm}^3$, mientras que la densidad media del aluminio es de $2,7\text{g/cm}^3$. Esto supone que el acero inoxidable casi triplica la densidad del aluminio (2,974 veces), de modo que el aluminio proporcionaría una estructura mucho más ligera y favorable en cuanto a las limitaciones marcadas por el forjado de una vivienda.

Las propiedades mecánicas de ambos materiales están en el apartado 1 del Anexo, teniendo el aluminio un Módulo de Young de 69GPa y el acero de 200GPa, y un límite de rotura de 220MPa y 550MPa respectivamente. Esto nos indica que el acero inoxidable es bastante superior en cuanto a sus propiedades mecánicas, ya que tiene un mejor comportamiento frente a tensiones.

En cuanto al coste, el precio del perfil de aluminio ronda los 19,83€/m, mientras que el perfil de acero inoxidable ronda los 35€/m. Además, pese a que ambos tipos de perfiles son fácilmente mecanizables y soldables (Soldadura TIG), es más barato hacerlo en perfiles de aluminio.

Conocida esta información, se decide:

- Aluminio AA-6060: esta aleación de aluminio será la empleada en la gran mayoría de los perfiles de la estructura, ya que va a conseguir una reducción considerable del peso total del modelo y reducirá los costes de mecanizado y soldadura. Las partes del diseño que se fabriquen con este material serán aquellas que no soporten una elevada magnitud de peso de manera localizada, ya que no trabaja tan bien bajo estas condiciones como si lo hace el acero inoxidable.
- Acero Inoxidable: será empleado en las partes o elementos en los que sea necesaria una resistencia más elevada a tensiones, ya sea por tener que soportar pesos localizados, elementos que permiten las uniones entre partes o uniones roscadas. Dentro de los aceros inoxidables, se hará uso de:
 - Acero Inoxidable AISI-304: para las piezas a fabricar concretamente para el modelo.
 - Acero Inoxidable AISI-316: para los elementos estandarizados como pernos, tuercas, arandelas, bisagras...

5. Diseño final

A partir de los puntos iniciales marcados en los anteriores apartados, se llega a un diseño final que cumple con todos los requisitos técnicos, geométricos y estéticos que se querían cubrir. Antes de profundizar en cada una de las partes del diseño, en la Ilustración 8 e Ilustración 9, se observa un renderizado realista del modelo final obtenido, tanto su exterior como su interior.



Ilustración 8 – Renderizado realista del diseño final



Ilustración 9 - Renderizado realista del interior del diseño final

A continuación, se va a profundizar en las características de cada una de las partes del modelo.

5.1. Estructura base

La base del diseño debe ser una estructura prismática rectangular y desmontable en su mayoría, para facilitar el posterior montaje de todo el modelo en el lugar de instalación. Además, como se comenta en el apartado 5 del Anexo, todo el modelo ha sido parametrizado para poder variar sus dimensiones principales de manera rápida y efectiva, y así ajustar el modelo a las limitaciones exactas que se hacen frente.

Las medidas elegidas para el modelo son de 2345mm (más 10mm de la base de caucho) de altura, 940mm de profundidad y 720mm de ancho. Estas medidas dan lugar a la estructura de la Ilustración 10.

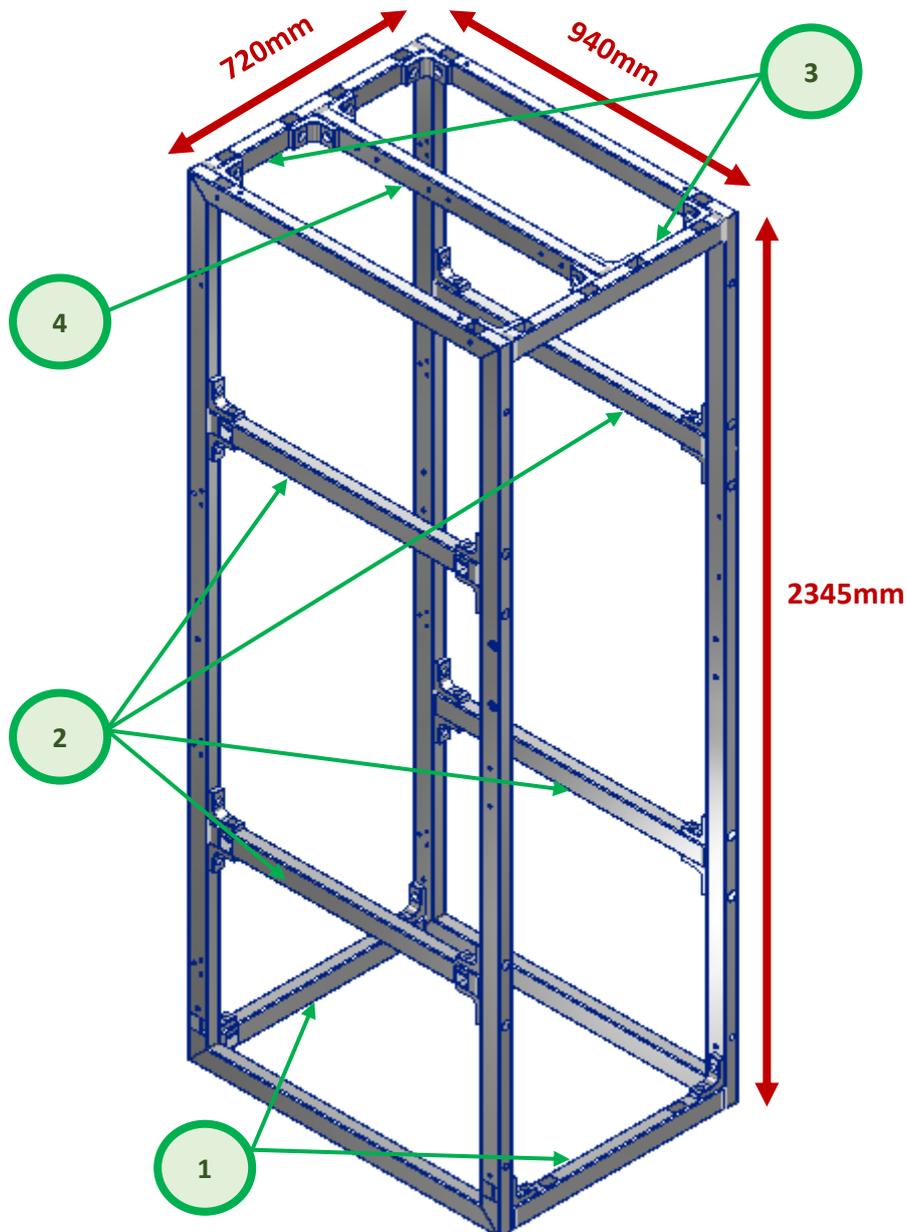


Ilustración 10 - Estructura base

Esta estructura está formada por perfiles tubulares rectangulares de aluminio AA-6060 de 60x40x2mm (largo, ancho y espesor).

Estos perfiles están unidos en su mayoría entre si mediante escuadras y uniones roscadas, salvo las subestructuras laterales, Ilustración 11. Estas subestructuras crean dos rectángulos formados por 4 perfiles con sus esquinas biseladas y soldados entre sí. Esto se decide para aprovechar que no va a variar el tamaño del empaquetamiento, reducir el número de uniones roscadas, facilitar el montaje y mejorar la rigidez de la estructura.

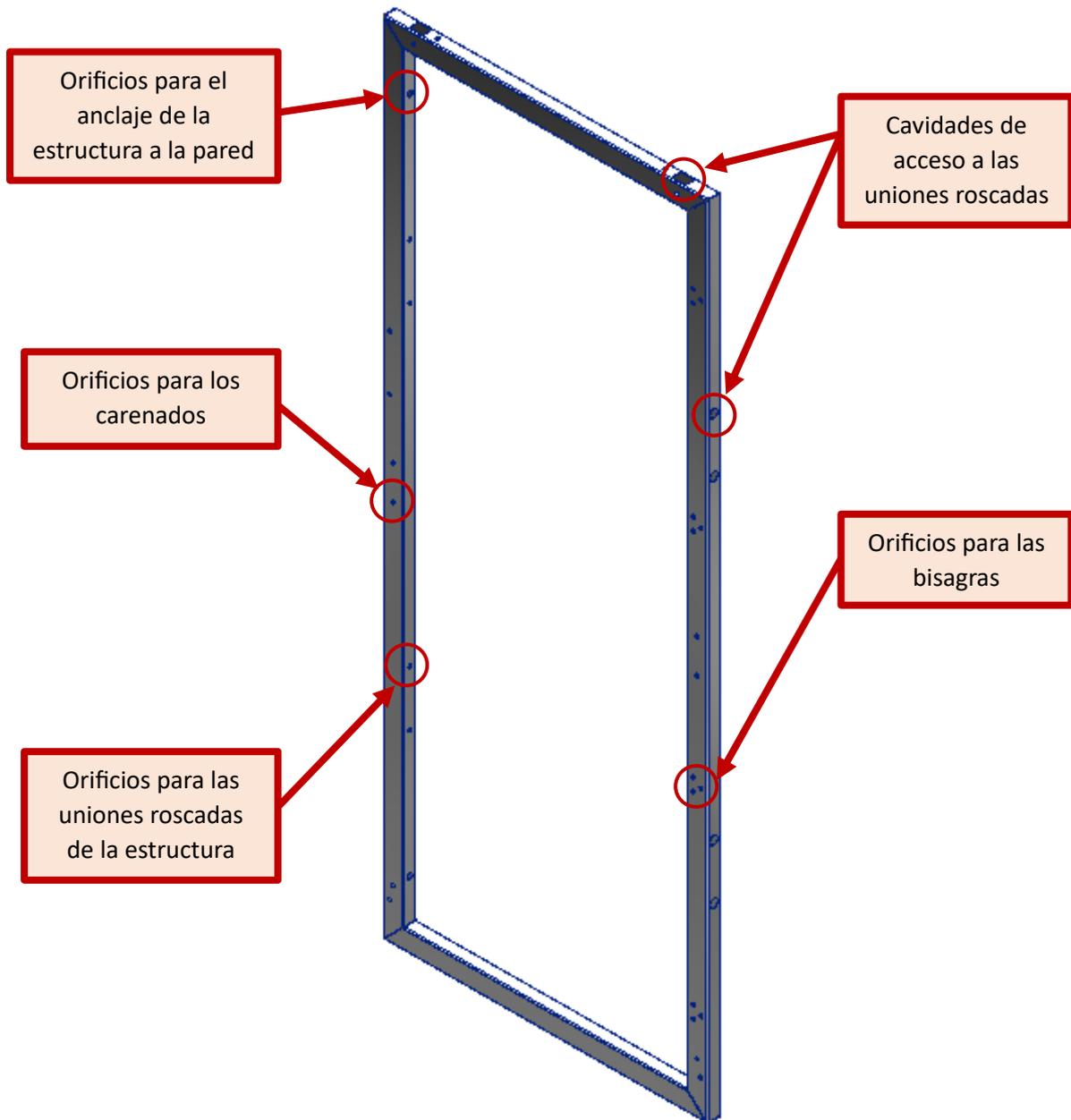


Ilustración 11 – Lateral de la estructura base

Estos perfiles llevarán el mecanizado necesario para las bisagras, que unirán la estructura base a las puertas, los orificios de las uniones roscadas y otras cavidades para así poder acceder a las uniones roscadas con las herramientas de montaje. En la Ilustración 11 se marcan los usos de los distintos mecanizados y en la Ilustración 12 se muestra un detalle del biselado, la soldadura TIG de aluminio y una de las cavidades de acceso a las uniones roscadas.

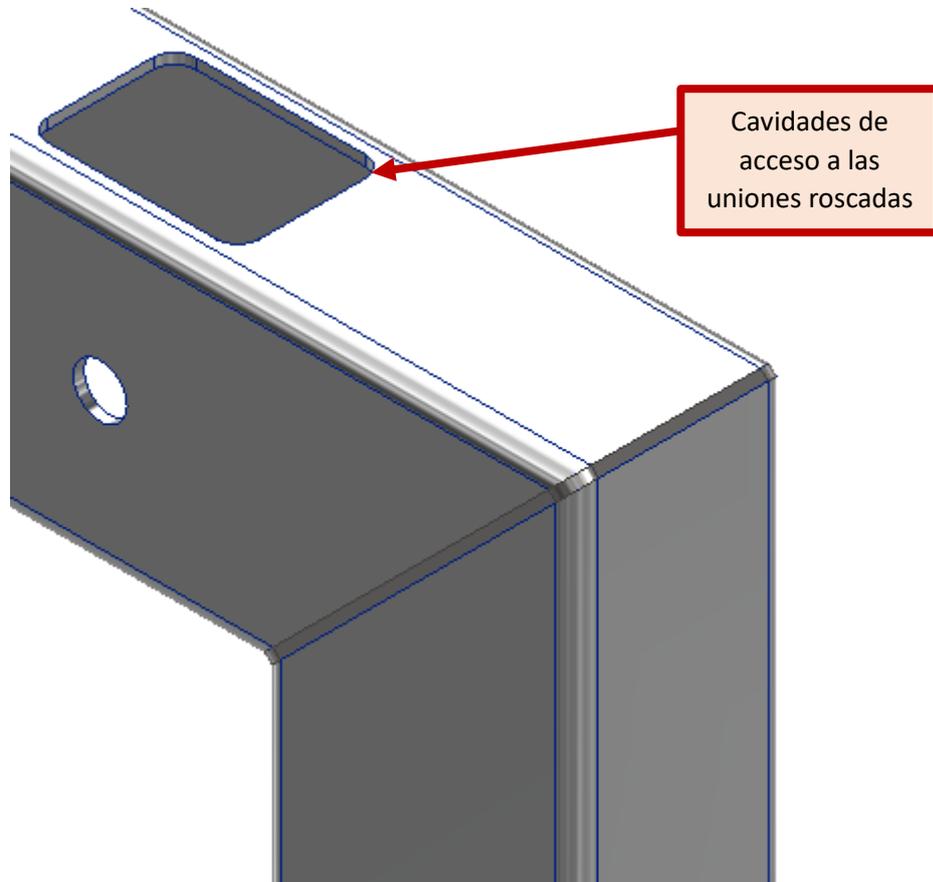


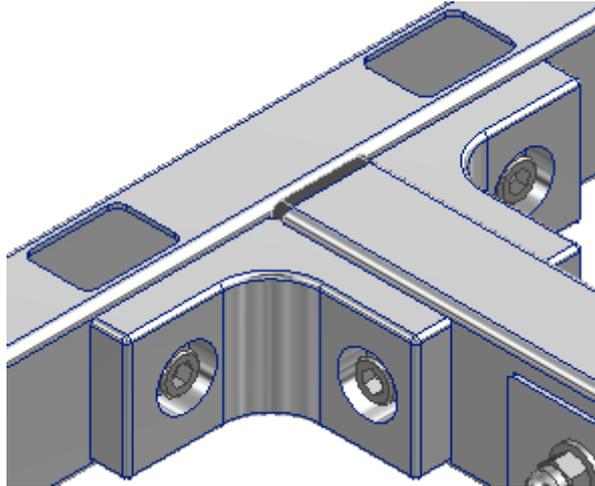
Ilustración 12 - Detalle del biselado, soldadura y orificio de acceso a las uniones roscadas

El resto de los elementos de la estructura base se unen a esta mediante escuadras y uniones roscadas. Un resumen del resto de partes que forman la estructura base, la tenemos la Tabla 1.

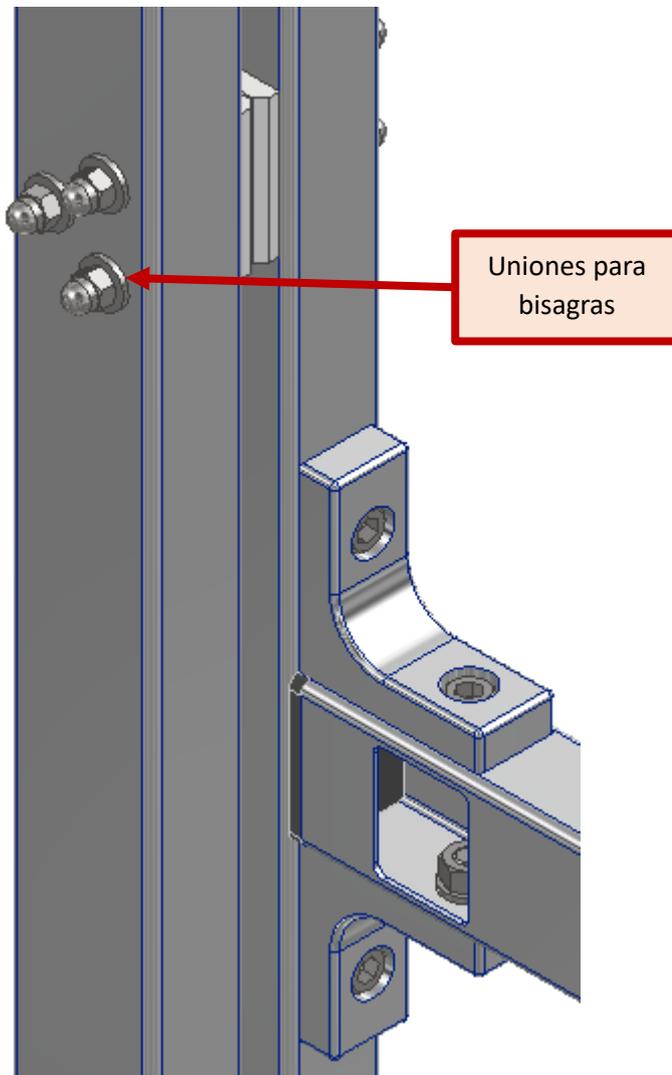
Nº Parte	Descripción	Cantidad	Longitud (mm)
1	Perfil Inferior 60x40x3	2	630
2	Perfil Medio 60x40x3	4	810
3	Perfil Superior 60x40x3	2	630
4	Perfil Superior Poleas 60x40x3	1	850

Tabla 1 - Partes de la estructura base

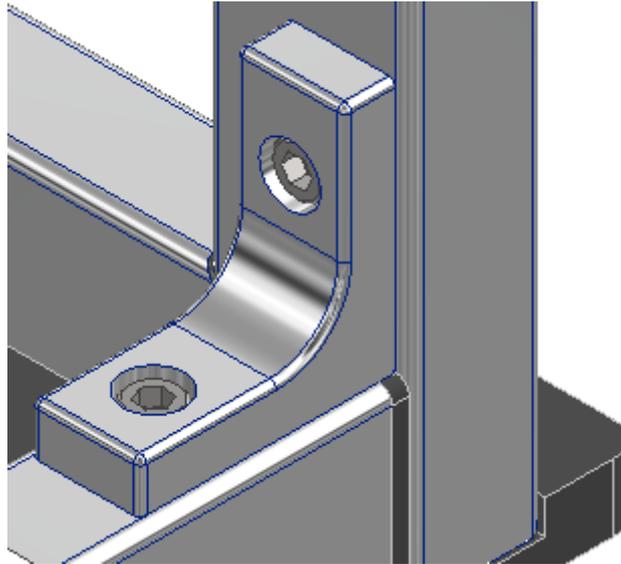
Estas partes están marcadas en la Ilustración 10, para su fácil identificación. Además, en las siguientes ilustraciones se puede ver en detalle las uniones entre perfiles que se han tomado como solución



Il·lustració 13 - Detalle de la unió roscada entre elements 3 y 4



Il·lustració 14 - Detalle de la unió roscada entre el lateral de la estructura base y los elementos 2

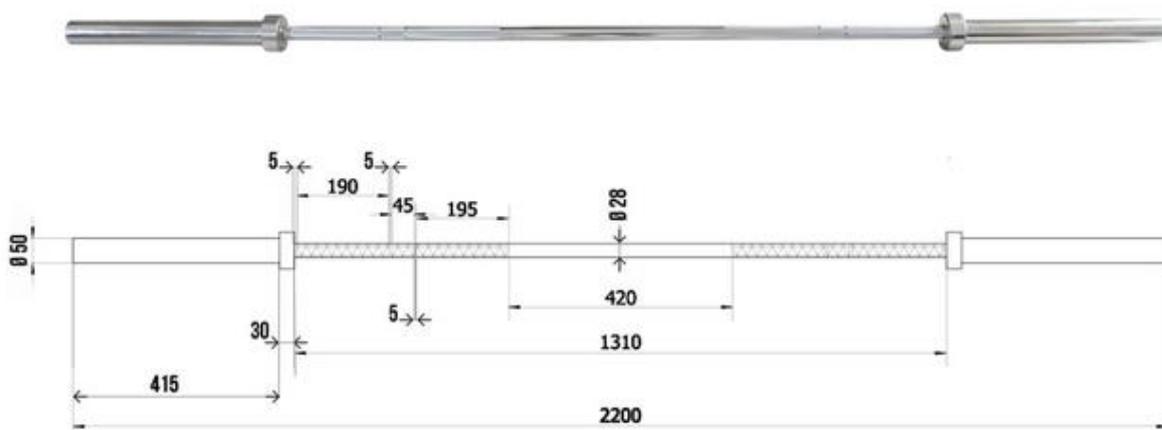


Il·lustració 15 – Detalle de la unió roscada entre el lateral de la estructura base y los elementos 1

En esta parte del diseño, se ha marcado los estándares de altura y anchura del modelo las dimensiones de la barra olímpica (Ilustración 16), accesorio principal que se utiliza en el ejercicio físico. Esta debe caber en el interior del armario, para seguir en la línea de respetar el impacto visual, y debe poder sujetarse por los racks del modelo.

Por este motivo, la altura útil del armario debe ser mayor a 2200 mm (longitud de la barra olímpica), siendo esta de 2335 mm, y la distancia entre racks debe ser menor de 1310 mm, siendo esta de 1112 mm. Esta última dimensión será detallada en el siguiente apartado.

De esta manera, se justifican las dimensiones adoptadas y se concluye con otro cumplimiento de limitaciones.



Il·lustració 16 - Dimensiones de la barra olímpica

5.2. Puertas

Esta parte del modelo viene dada como una consecuencia del resultado del apartado anterior, ya que las puertas son las estructuras que cerrarán la estructura base, además de llevar anclado a estas los racks. Es decir, sus dimensiones tendrán la misma altura que la estructura base y una anchura de, aproximadamente, la mitad que esta.

A la hora de llevar a cabo el diseño, se sigue en la misma línea, empleando una subestructura formada por 4 perfiles con sus esquinas biseladas y soldados entre sí. A esta, se le enlaza un perfil central por escuadras y uniones roscadas. Este perfil central aporta rigidez a la puerta, pero principalmente es el perfil donde irá enlazado a su vez el rack.

Las dimensiones de la puerta son de 2345 mm de alto y 358 mm de ancho, formado por perfiles de aluminio AA-6060 de sección 60x40x2 mm. En la Ilustración 17 se determinan los distintos elementos de la puerta.

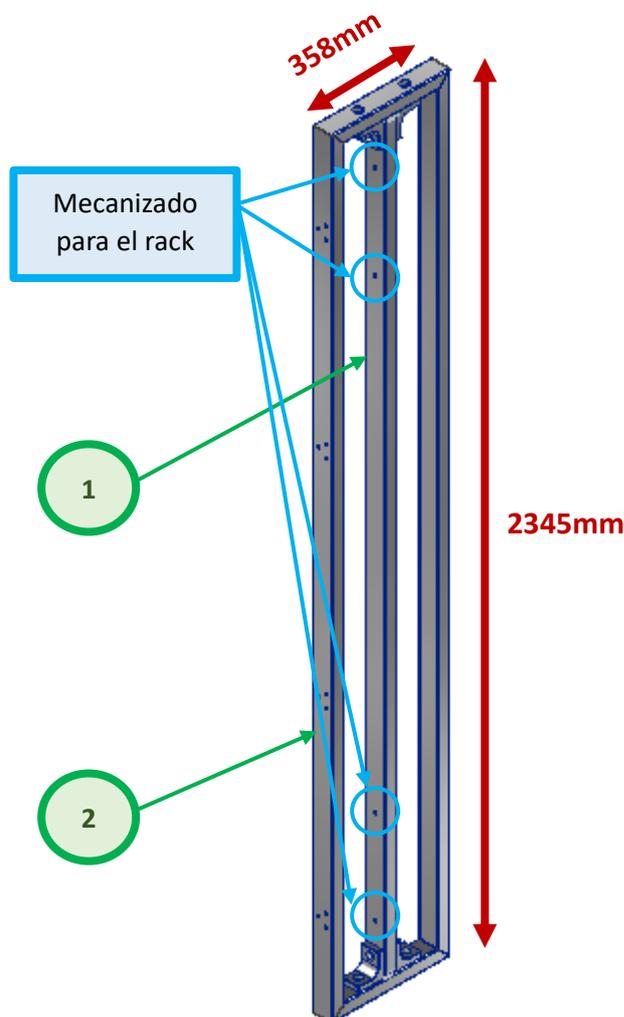


Ilustración 17 - Puerta

Las puertas llevan el mecanizado necesario para las bisagras que unirán la estructura base a las puertas, los orificios de las uniones roscadas y otras cavidades para poder acceder a las uniones roscadas con las herramientas de montaje, como en el apartado anterior.

En la Tabla 2 se introducen los elementos incluidos en la Ilustración 17.

Nº Parte	Descripción	Cantidad	Longitud (mm)
1	Estructura Periférica con Perfiles 60x40x2	1	2345x358
2	Perfil Central 60x40x2	1	2255

Tabla 2 - Partes de la puerta

La puerta, como se ha comentado, sigue la misma configuración en el diseño que la estructura base, se puede ver en la Ilustración 18 con el detalle tanto de la soldadura como de las uniones roscadas. Su punto distintivo es el de incorporar el perfil central, no con un motivo estructural sino funcional, ya que incorporará el rack a la estructura.

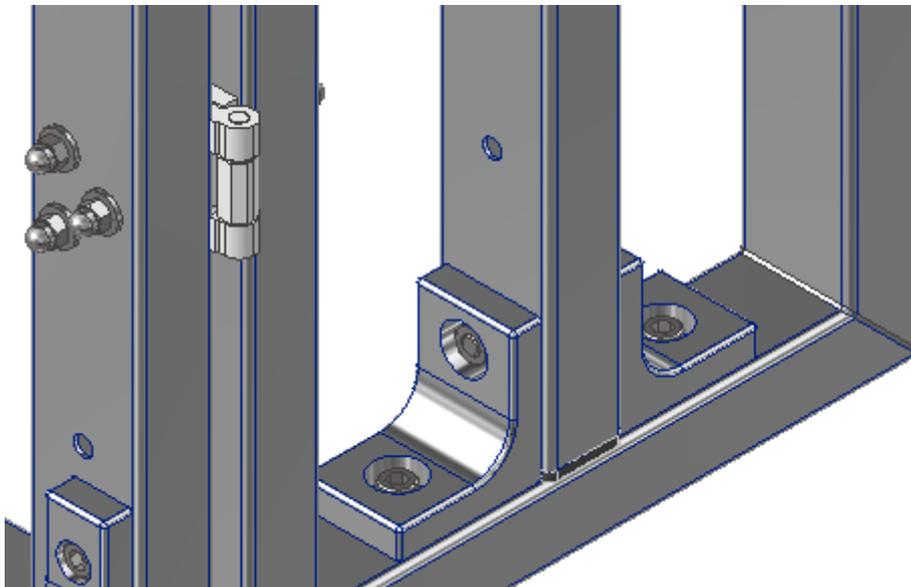


Ilustración 18 – Detalle de la unión roscada entre los elementos 1 y 2 de la puerta

Cabe destacar que el mecanizado del perfil central de la puerta está hecho de manera que, con un solo diseño y producción, se cubran ambas puertas. Una misma puerta puede ser utilizada en el lateral opuesto dándole una vuelta y girándola 180°, sin embargo, los orificios para enlazar el rack a la puerta no coincidirán. Para solucionar esto, se decide mecanizar los perfiles centrales tanto para puerta derecha como para izquierda, de esta manera con una única producción se abastecen ambos laterales y se evitan las posibles confusiones durante el montaje del modelo.

Este mecanizado se puede observar en la Ilustración 17, marcado con círculos azules. Como puede observarse, se han mecanizado 4 orificios, mientras que solamente 2 serán funcionales por puerta.

5.3. Poleas

Tras los dos apartados anteriores, se conoce la base sobre la cual se va a asentar el diseño de la estación de entrenamiento personal. En este apartado, se va a profundizar en el sistema de poleas que traccionará los pesos calibrados, cuya estructura se determina en el apartado 5.4.

El sistema de poleas consta de 3 poleas superiores fijas, 1 polea intermedia móvil y 1 polea inferior fija. Todas las poleas superiores son poleas comerciales idénticas de 80 mm de diámetro (Ilustración 19), capaces de soportar pesos de 200 kg (mucho mayor del peso con el que va a tener que trabajar). Estas poleas están preparadas para ir ancladas a perfiles de 60x40 mm con uniones roscadas de métrica 10 y trabajar con un cable de 7 mm de diámetro (similar al de la Ilustración 6).

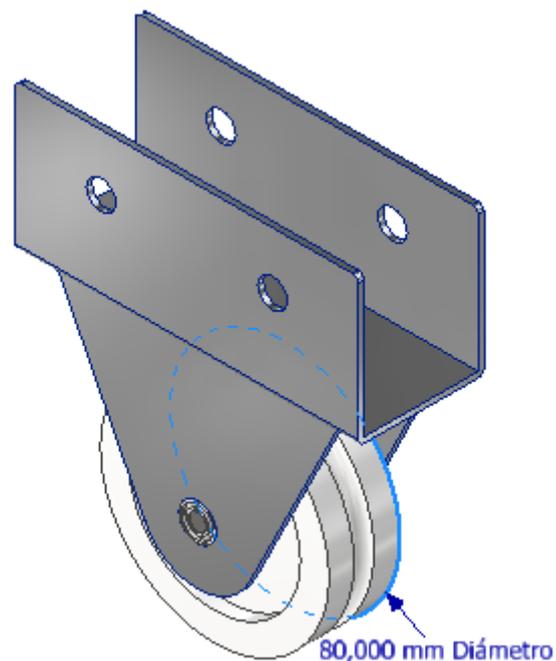


Ilustración 19 - Polea de 80mm de diámetro para sujeciones de M10

En cuanto a la polea intermedia, Ilustración 20, se trata de una polea doble que permite la conexión entre el sistema de poleas superior e inferior. Esta lleva consigo dos ruedas de 80 mm de diámetro, idénticas a las anteriores.

En cuanto a la polea baja, se ha tenido que tomar una solución un tanto más compleja, ya que se ha diseñado una pieza específicamente para el caso. Se diseña una pequeña estructura preparada para soldarse a un perfil de 60x40 mm (Ilustración 21), esta llevará consigo una rueda de polea de 80mm y una pieza que permita fijar el cable del sistema.

El conjunto está formado por dos planchas laterales mecanizadas de aluminio de 5 mm (mecanizadas para poder soldarse a un perfil de 60x40 mm), una polea fija de rueda de 80 mm y una pieza soldada que permite fijar el cable del sistema de poleas. Esta pieza de fijación queda soldada a las caras interiores de las planchas laterales.

80,000 mm Diámetro

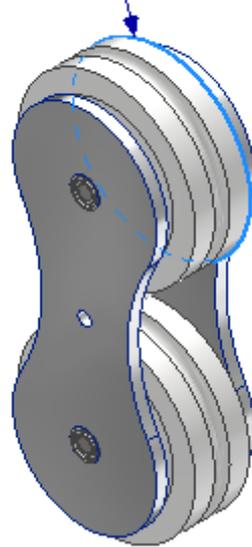


Ilustración 20 - Polea intermedia (80mm diámetro)

80,000 mm Diámetro

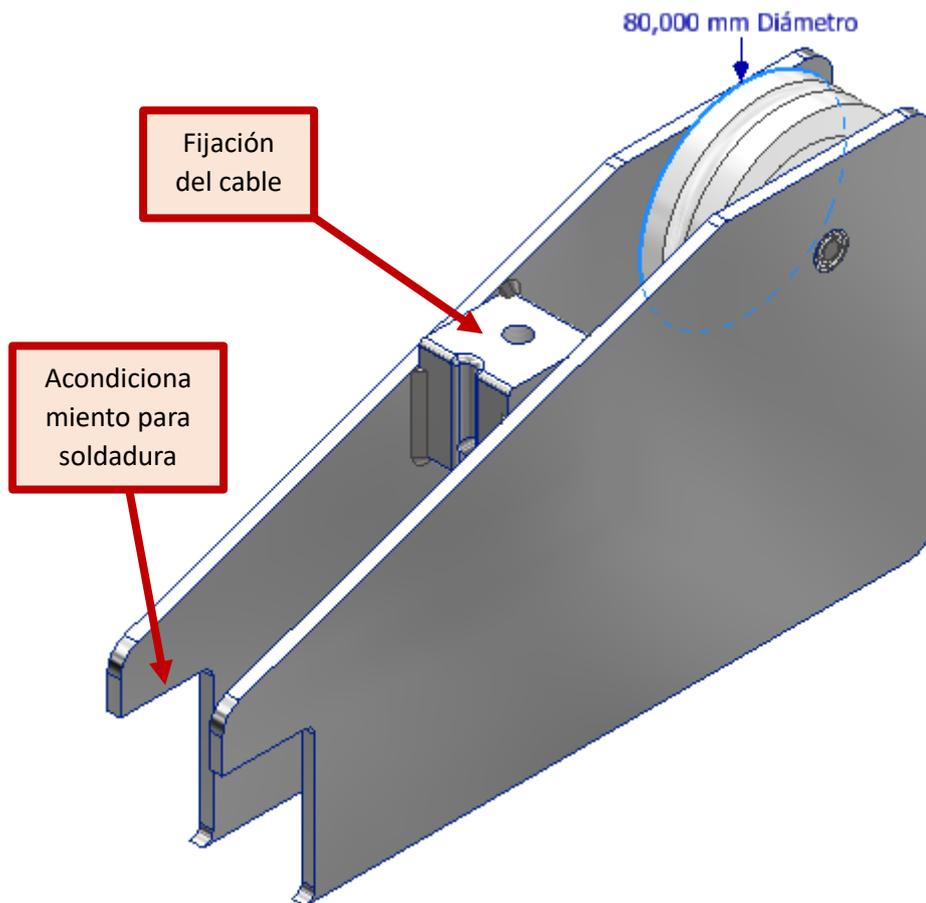


Ilustración 21 - Estructura de la polea inferior

Profundizando en esta pieza de fijación, en la Ilustración 22 se ve el contorneado A, donde se apoya el cable, el orificio B, por donde entra el cable, y el orificio con rosca C, donde un perno de métrica 5 fija el cable.

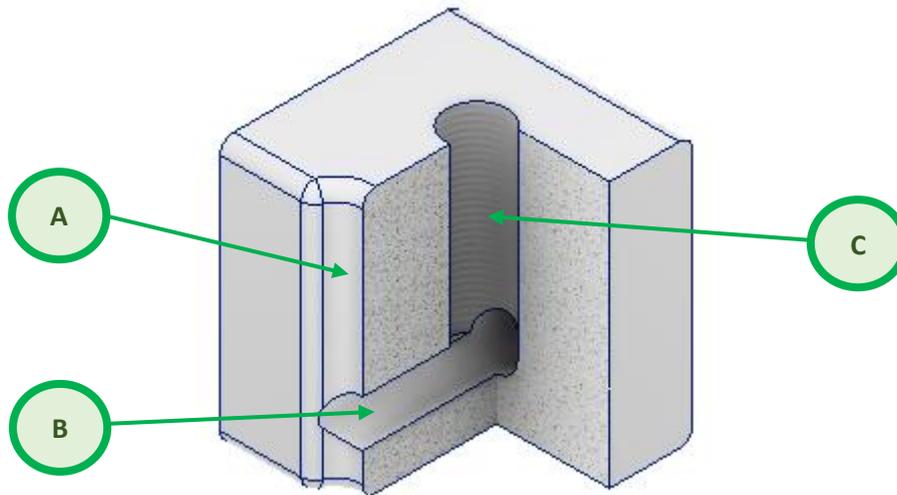


Ilustración 22 - Vista seccionada en tres cuartos de la pieza de fijación para la polea inferior

Con todas las partes del sistema, se obtiene un resultado en el diseño como el que se observa en la Ilustración 23. Este funcionamiento ya se introdujo brevemente en el apartado 3.1 de la Memoria, pero se va a remarcar el funcionamiento.

Como se comentó, en los extremos A.1 y A.2 del cable, designados en la Ilustración 23, se instalan unas bolas al final del cable (Ilustración 6) que ejercen como tope. Además, en el extremo C, se fija el cable mediante un perno M5 y en el extremo B se fija también a las placas de pesos calibrados. De esta manera, mientras no se ejerza ninguna fuerza de tracción en los extremos A.1 y A.2, el sistema permanece completamente bloqueado y fijado.

En el caso de ejercer una tracción en el extremo A.1, el sistema eleva las placas de pesos manteniendo la polea intermedia fija. Esto se debe a que el sistema inferior permanece completamente bloqueado, ya que no tiene una unión directa con las placas de pesos. Por lo tanto, las placas de pesos se elevarán hasta un máximo en el que choquen con los finales de carrera de caucho, instalados para evitar colisiones metal con metal. Este recorrido, marcado en la Ilustración 23, es de 1142 mm.

Por otra parte, cuando se ejerce una tracción en el extremo A.2, el sistema eleva las placas de pesos con un descenso directamente proporcional en la polea intermedia. Esto sucede porque el sistema superior no es un circuito completamente fijo si no se ejerce tracción sobre A.1, ya que las placas de pesos no están fijas. De modo que, al traccionar sobre A.2 y estar A.1 fijo, las placas de pesos comienzan a ascender al mismo tiempo que la polea intermedia desciende. En este caso, el recorrido de la tracción es el mismo que el anterior, 1142 mm.

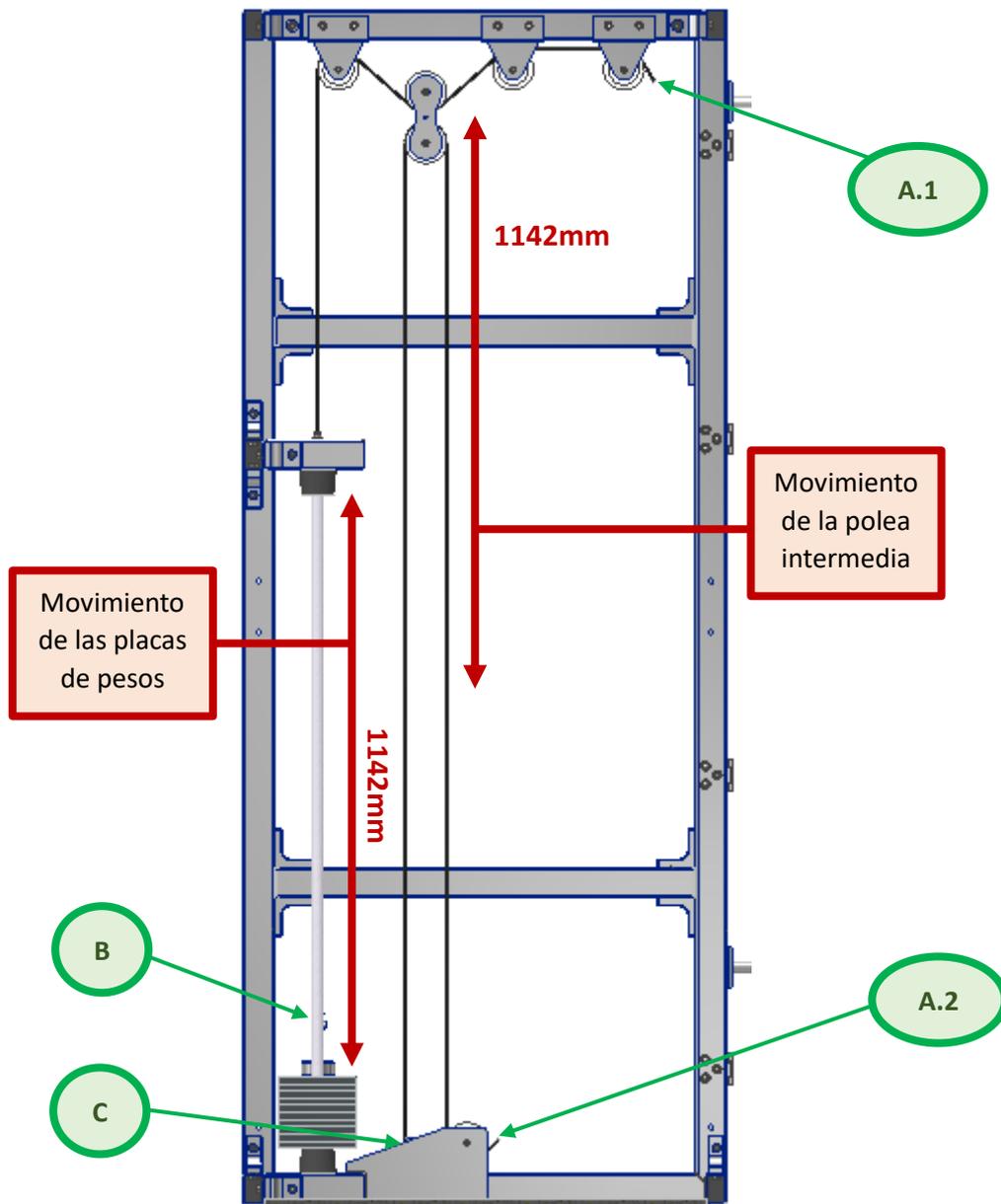
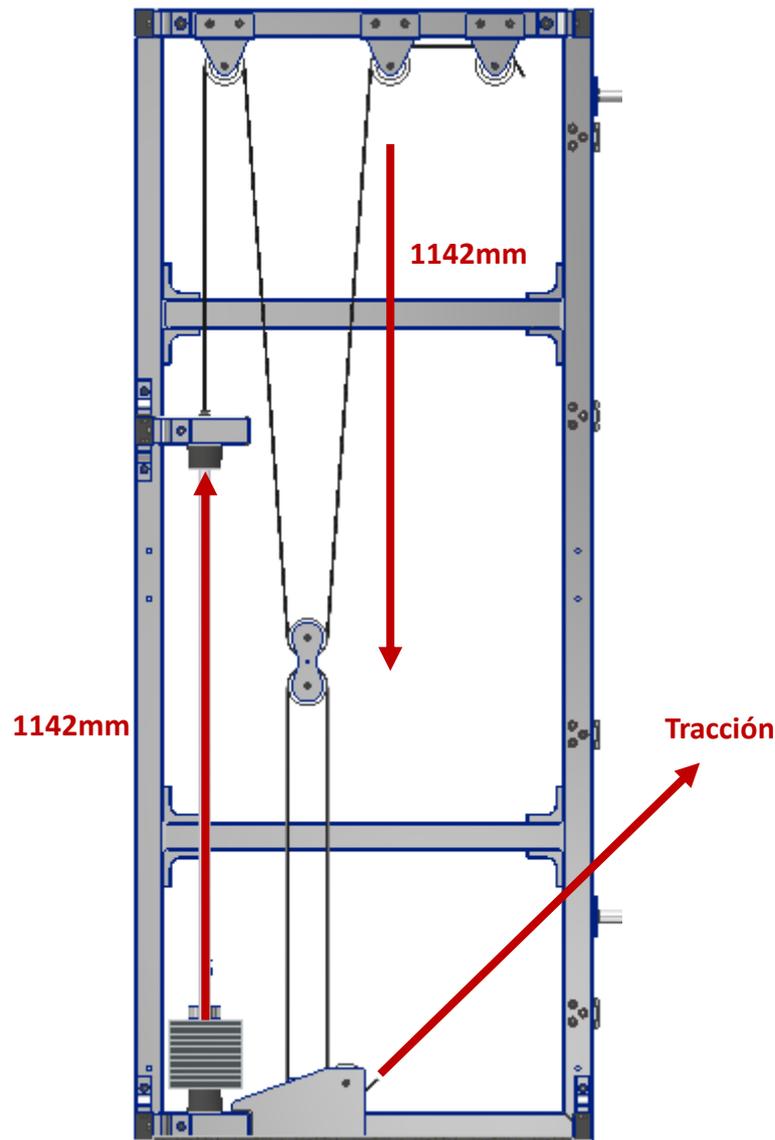


Ilustración 23 - Visión general del sistema de poleas de la estación de entrenamiento

Una vez presentado todo el diseño, se debe comprobar la viabilidad de su funcionamiento, ya que, al haber cuerpos móviles, puede dar lugar a errores. En la Ilustración 24, se hace una comprobación de cuales es la posición final de la polea intermedia tras la tracción del extremo A.2 hasta su punto máximo.



Il·lustració 24 - Comprobación de la viabilidad del sistema de poleas

Como se ve en la Ilustración 24, el diseño cumple sin problemas la funcionalidad, ya que no existe colisión entre el cable y otras partes del armario.

Para finalizar este apartado, las placas de pesos tienen un peso total de 50kg, y el sistema de poleas trata de trasladar este peso, mayorado, a la tracción que debe hacer el usuario. De esta manera se consigue una mayor posibilidad para el usuario a la hora del entrenamiento físico. Estos cálculos quedan explicados y estructurados en el apartado 3 del Anexo, y recogidos a modo de resumen en la Tabla 3.

Sistema	Fuerza/Rango de fuerza (N)
Tracción en el extremo A.1 (Sistema Superior)	1529,79
Tracción en el extremo A.2 (Sistema Inferior)	[1254; 1515,65]

Tabla 3 - Resumen de fuerza a aplicar en el sistema de poleas

5.4. Estructura con pesos calibrados

Los sistemas de poleas vistos en el apartado anterior están directamente relacionados con las placas con pesos calibrados. Para el correcto funcionamiento de las poleas, se deben instalar en una estructura que les permita deslizarse por unas guías.

Esta subestructura deberá enlazarse a la estructura base, permitir el movimiento de las placas con pesos calibrados y asegurar la no colisión entre piezas del modelo. Para ello se va a seguir haciendo uso de perfiles tubulares rectangulares de aluminio AA-6060 con sección 60x40x2 mm. En la Ilustración 25 se observa el diseño final de esta estructura.

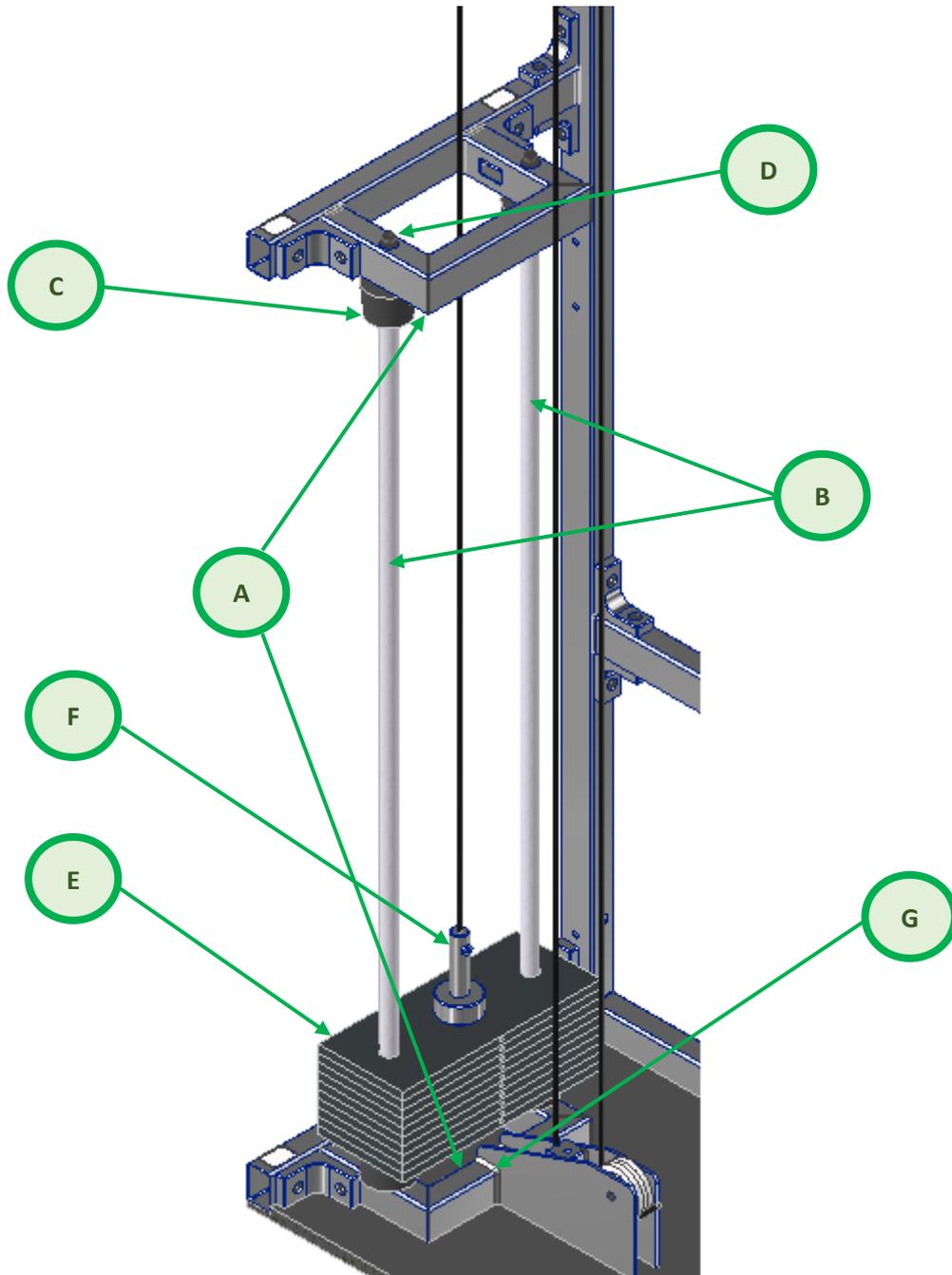


Ilustración 25 - Estructura con guías para la elevación de las placas de pesos



Ilustración 26 - Explosión de la estructura con guías para la elevación de las placas de pesos

Para tener una mejor visión de la subestructura, se tiene la Tabla 4 a modo de resumen con las partes que la forman.

Elemento	Descripción
A	Estructura soldada en forma de U fabricada con perfiles 60x40
B	Perfil macizo circular de acero inoxidable pulido con lubricante
C	Topes de caucho
D	Unión roscada entre elemento A y B
E	Placas de pesos calibrados (10x5kg)
F	Seccionador de placas con orificios para fijación de cable
G	Soldadura entre elemento A inferior y la polea inferior

Tabla 4 - Resumen de elementos que forman la estructura de guiado de placas de pesos

Como se concreta en el apartado 3.2 de la Memoria, la estación de entrenamiento debe poder montarse completamente en el espacio donde vaya a ser instalada, por lo tanto, las guías (elemento B) no debían estar soldadas a ningún cuerpo. Esta habría sido la solución ideal y más sencilla, pero se deben cumplir las limitaciones para que el producto sea viable. Es por esto, que se debe buscar una solución mediante uniones roscadas.

En primer lugar, se diseñaron los elementos A superior e inferior, dos piezas en forma de U a partir de 3 perfiles tubulares rectangulares biselados y soldados. Estos llevaban cierto nivel de mecanizado, de manera que pudieran cumplir las limitaciones.

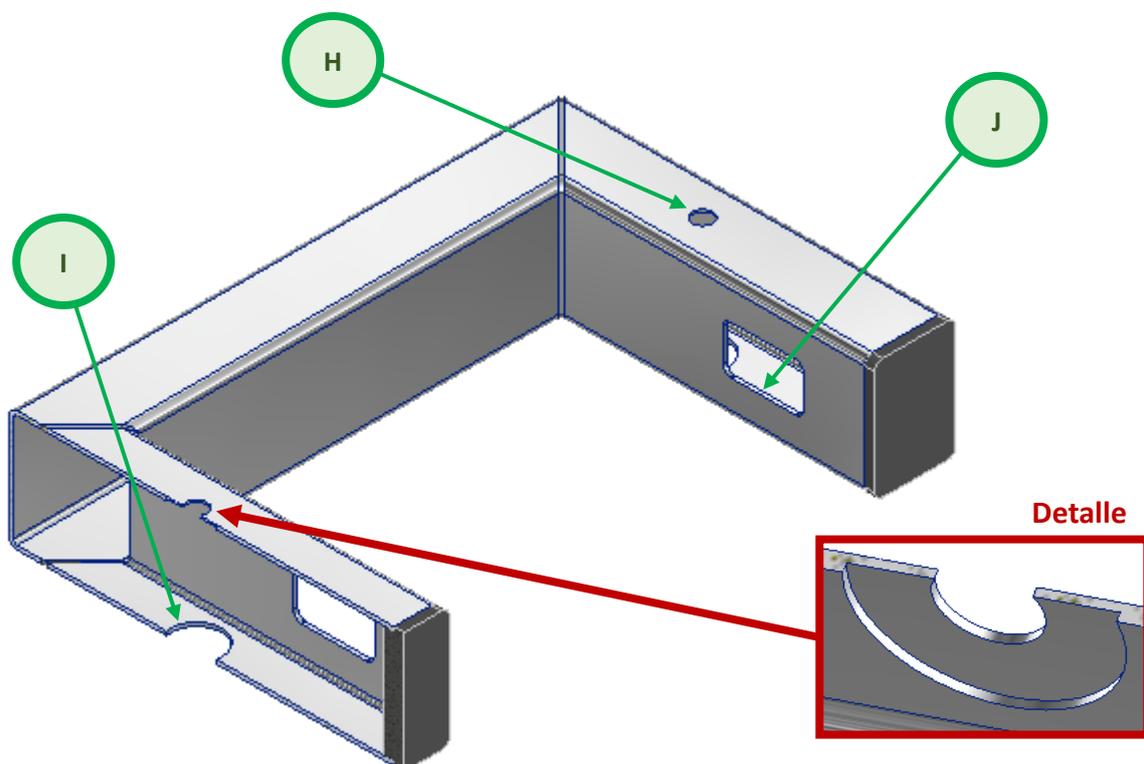


Ilustración 27 – Detalle del elemento A superior

En la Ilustración 27 se muestra el detalle del elemento A superior, donde se encuentran 4 operaciones de mecanizado. La primera es el orificio H de métrica 10, destinado a la unión roscada entre el elemento A superior y la guía de los pesos, elemento B.

En segundo lugar, la operación I, en la que se realiza un orificio de diámetro 25mm desde la cara inferior del elemento A. hasta 1 mm antes de la cara superior, como se puede ver en la vista en detalle del orificio H. Esto se decide diseñar así para mantener encajado el perfil tubular circular macizo (B), al mismo tiempo que se fija mediante la unión roscada (D).

Por último, en la operación J se trata de mecanizar una cavidad que permita ajustar las uniones roscadas que unen este elemento A superior a la estructura base.

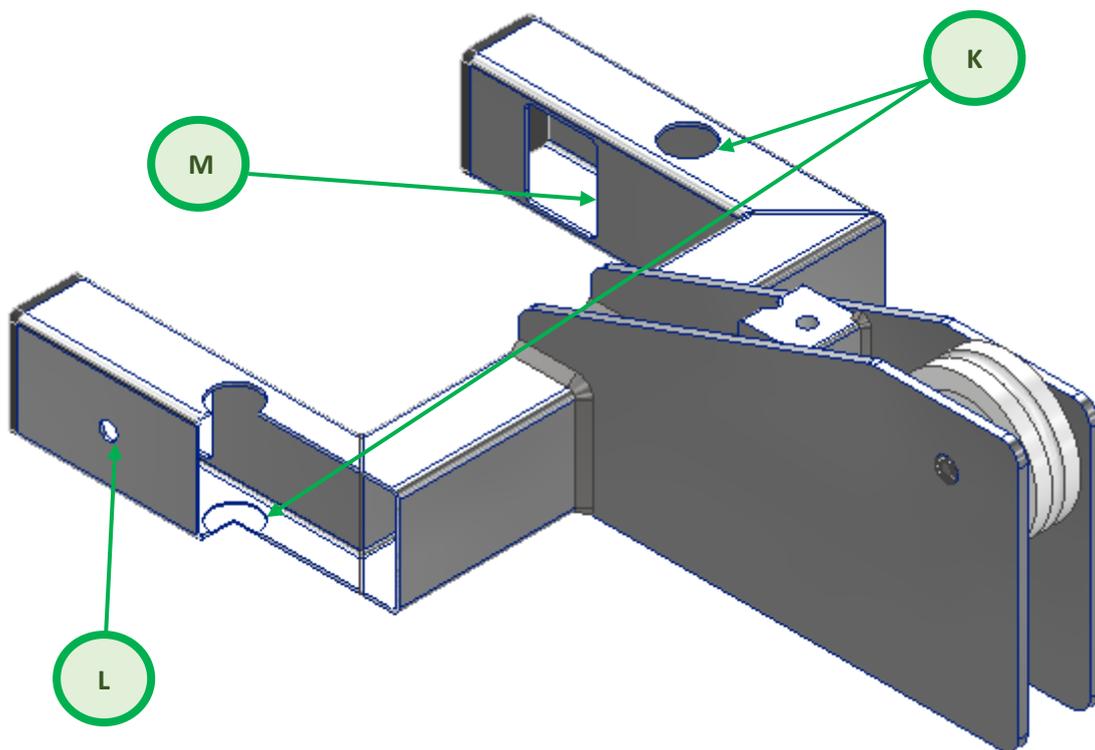


Ilustración 28 – Detalle del elemento A inferior

En cuanto al elemento A inferior, se puede observar en la Ilustración 28 sus distintas operaciones de mecanizado. En primer lugar, la operación de mecanizado K es idéntica a la observada en el caso anterior como operación I. La única diferencia es el sentido del mecanizado, siendo de cara superior a inferior en este caso. De esta manera, se encaja la guía de pesos (B) en ambos extremos y queda totalmente fija mediante la unión roscada (D).

En cuanto a las otras dos operaciones, L y M, son idénticas a las comentadas en el párrafo final del elemento A superior, mecanizando orificios para las uniones roscadas a la estructura base y cavidades que permitan ajustarlas.

Finalmente, queda comentar el enlace del sistema de poleas y las placas de pesos. Esto va a llevarse a cabo mediante una pieza seccionadora (F) que lleve consigo el cable fijado mediante un perno. El cable

se introduce por el orificio N de 7,1mm y se fija, mediante un perno, por el orificio O de métrica 5. De esta manera se consigue fijar el cable y tenerlo enlazado a la pieza seccionadora.

Para enlazar el cable a las placas de pesos, el seccionador se introduce entre las placas, como marca el 1º Movimiento, y posteriormente se introduce una varilla de acero inoxidable de 6mm de diámetro, 2º Movimiento. Esto se consigue haciendo coincidir los orificios P y Q, de manera que según la colocación de la varilla se fija una serie de placas y así el usuario puede decidir la cantidad de peso que desea traccionar durante el entrenamiento.

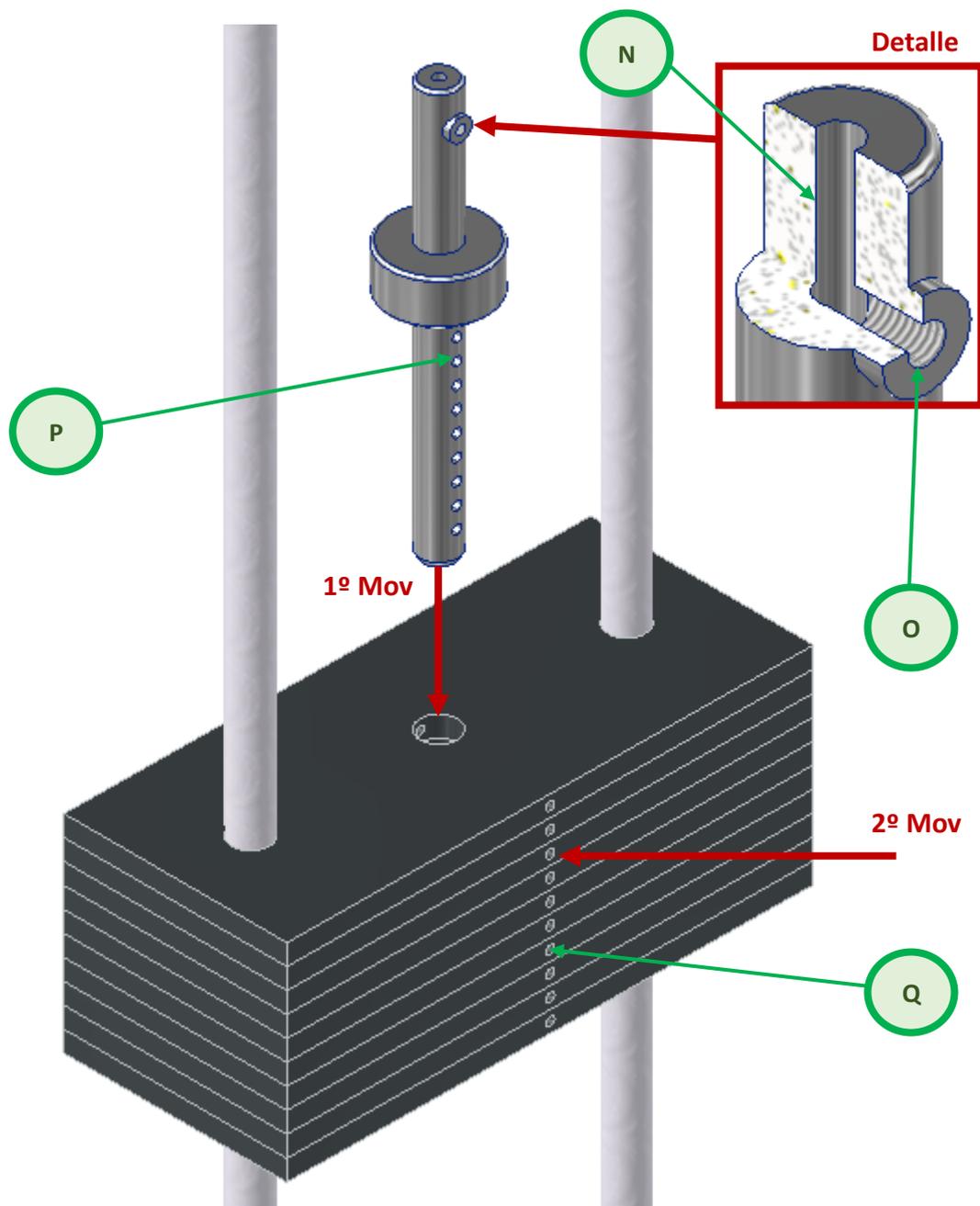


Ilustración 29 - Enlace entre el sistema de poleas y las placas de pesos calibrados

5.5. Racks

Como última subestructura de la estación de entrenamiento, se tiene el llamado rack. Este conjunto, como se ha destacado en anteriores apartados, es el destinado a soportar la barra olímpica durante el entrenamiento físico.

La estructura debe permitir posicionar en diferentes alturas la barra olímpica, estar en contacto con el suelo (para reducir la carga que debe soportar la subestructura) y no colisionar con el resto de los cuerpos del armario en ninguna de sus posiciones (desde abierto completamente hasta cerrado).

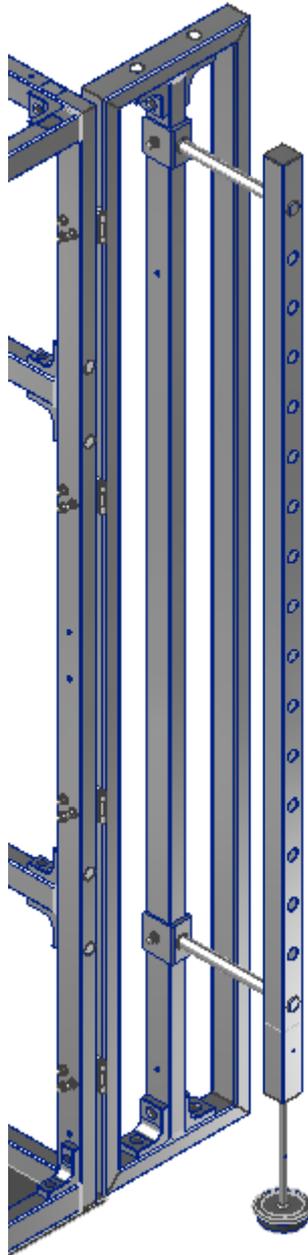
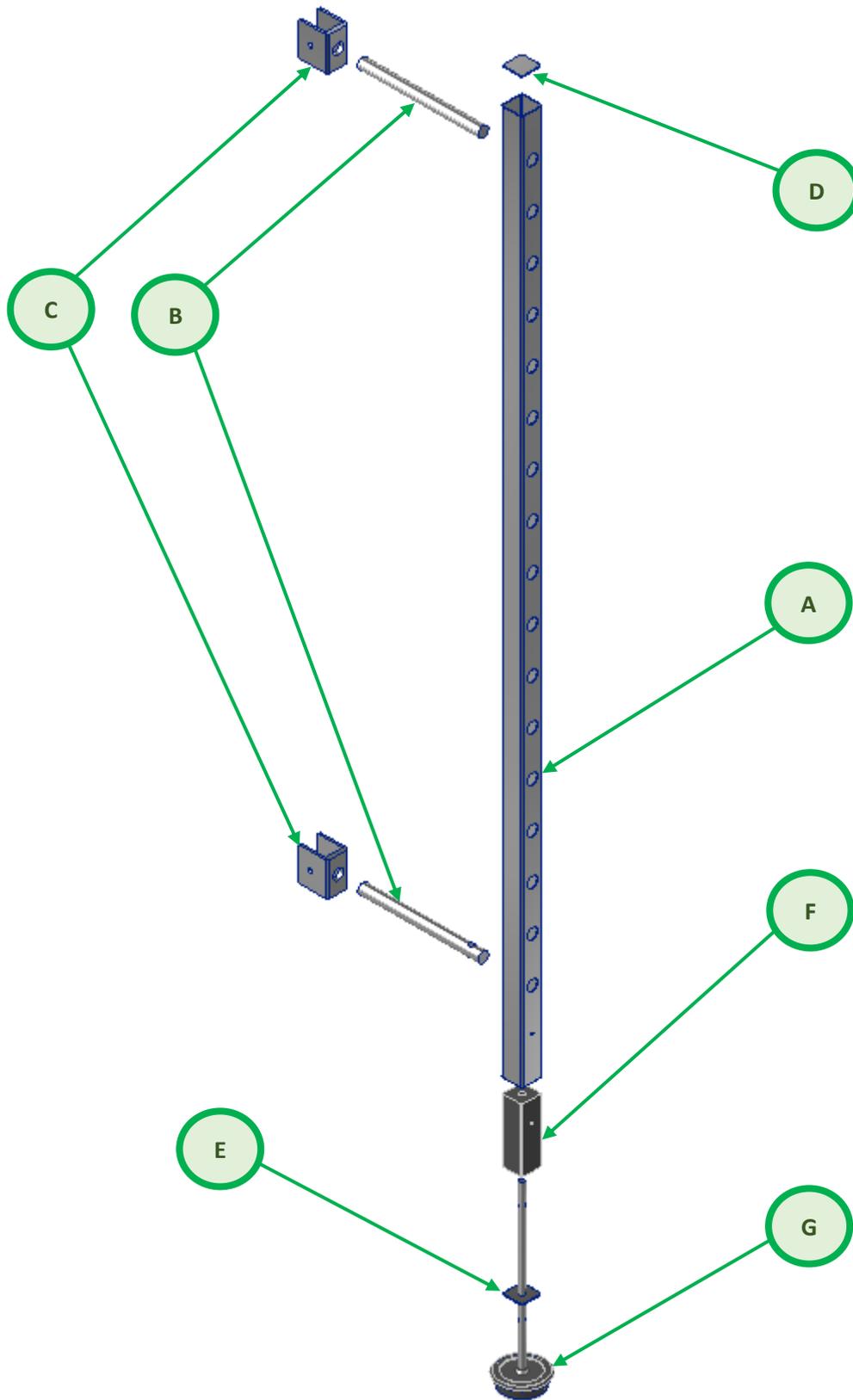


Ilustración 30 – Rack unido a la puerta de la estación de entrenamiento



Il·lustración 31 – Explosión del Rack

Para el diseño final de los racks, Ilustración 30 e Ilustración 31, se ha decidido hacer uso de perfiles distintos a los anteriores. En este caso, el perfil principal, que permite cambiar de posición la barra olímpica, es un perfil tubular cuadrado de 50x50x2mm de aluminio AA-6060. En la Tabla 5 se encuentran resumidos los distintos elementos que aparecen en la Ilustración 31.

Elemento	Descripción
A	Perfil tubular cuadrado de 50x50x2mm
B	Perfil tubular macizo de 25mm de diámetro
C	Pieza de unión en forma de U con una anchura interior de 40mm
D	Tapa superior
E	Tapa inferior con mecanizado
F	Caucho estabilizador mecanizado
G	Pata de apoyo

Tabla 5 – Resumen de los elementos que forman el rack

El perfil A tiene una longitud de 2000mm con agujeros pasantes de 25,2mm mecanizados cada 106,25mm. Unido a este mediante soldadura de aluminio TIG, se tienen los perfiles B. Estos, como se ve en la Ilustración 30 e Ilustración 31, se introducen en el segundo y penúltimo agujero del perfil A. Una vez introducidos, se sueldan a la cara frontal y trasera del perfil A, generando así una unión rígida y robusta entre los perfiles.

A su vez, el otro extremo del perfil B va soldado al elemento C. Este es una pieza en forma de U, con orificios pasantes mecanizados para permitir la unión roscada de métrica 10 a la puerta, tal y como se observa en las ilustraciones. Esta pieza C también va soldada, tanto en la cara frontal como trasera, al perfil B. De esta manera, se crea la unión entre el perfil principal A y la estructura base, completando así la misión principal del rack.

Además de estas partes, el elemento G juega un papel importante en el rack, ya que, al estar en contacto directo con el suelo, libera de carga al perfil A, al perfil B, a las soldaduras y a las uniones roscadas. Este elemento es móvil, ya que no podría cerrarse las puertas de la estructura si fuera fijo.

El elemento G está formado por un perfil circular macizo de diámetro de 12,5mm, soldado a una pieza en forma de cono cortado e invertido que funciona como pie de la pata. Este pie está recubierto por caucho, de manera que se eliminen ruidos, golpes y posibles daños al suelo durante su uso. En cuanto al perfil circular, tiene dos agujeros de diámetro 5,1mm pasantes mecanizados, a una distancia de 236mm entre sí, para poder fijar su posición durante el entrenamiento, y recogerlo en sentido ascendente del eje Y cuando se quiera cerrar la estructura. Esta posición se fija con una varilla pasante, la misma solución adoptada en el seccionado de placas de pesos calibrados.

Para poder efectuar este movimiento en la pata del rack, elemento G, se debe mecanizar otro agujero pasante de diámetro 5,1mm en el perfil A a una distancia de 100mm del extremo inferior. De esta manera, con la longitud de la pata del rack y la posición de los agujeros, cuadra perfectamente la posición de trabajo (contacto con el suelo) y la posición de cierre (recogido y resguardado en el interior del perfil A).

Además, en la zona del perfil A donde se ajusta la pata del rack, se rellena su interior con una pieza de caucho. Esta aporta rigidez a la unión, ya que el interior del perfil A es mucho mayor al diámetro del

perfil circular de la pata del rack, y de no introducir el relleno de caucho, no habría rigidez suficiente como para que la pata trabajara correctamente.

Por último, los extremos del perfil A se sellan con unas tapas de aluminio soldadas a este, de manera que funcionen como embellecedor y limiten la entrada de polvo.

5.6. Accesorios

Tras los apartados anteriores, se han introducido todas las soluciones finales de cada subestructura de la estación de entrenamiento físico. En el presente apartado se van a introducir los accesorios o piezas que enlazan las partes anteriores, y permiten al modelo tener un correcto funcionamiento.

5.6.1. Uniones roscadas

Las uniones roscadas, junto a las soldaduras, tienen un papel importante en el modelo, ya que todas las subestructuras se unen entre si mediante uniones roscadas formadas por perno, arandelas y tuercas.

Todas las uniones roscadas del modelo, salvo una, se realizan con elementos estándares de métrica 10. Además, como se hace referencia en el apartado 1.3 de la Memoria, todas las partes de las uniones roscadas son elementos estandarizados obtenidos del *Centro de contenidos de Inventor*.

En cuanto a las uniones roscadas de métrica 10, se trabaja con las distintas familias de elementos:

- Pernos: cabeza cilíndrica de la familia AS 1420 de métrica 10 y longitudes de hasta 55mm.
- Arandelas: planas de métrica 10, diámetro exterior 18,8mm y espesor de 2,3mm.
- Tuercas: hexagonales de la familia AS 1112m de métrica 10 y espesor de 8,4mm. Estas se emplearán en uniones que queden en el interior de los perfiles, es decir, que no sean visibles por el usuario.
- Tuercas ciegas: hexagonales de la familia KS B 1026 de métrica 10. Estas se emplearán en uniones que sean visibles por el usuario, ya que evitan posibles accidentes al ser cerradas, redondeadas y pulidas.

Por otra parte, se va a hacer uso de uniones roscadas de métrica 8 únicamente en las bisagras (enlace entre las puertas y la estructura base). Esta unión trabaja con las siguientes familias de elementos:

- Pernos: cabeza avellanada de la familia DIN 7991 de métrica 8 y longitud de 60mm.
- Arandelas: planas de métrica 8 y espesor de 2,3mm.
- Tuercas ciegas: hexagonales de la familia KS B 1026 de métrica 8. Estas se emplearán en uniones que sean visibles por el usuario, ya que evitan posibles accidentes al ser cerradas, redondeadas y pulidas.

Todos estos elementos están fabricados en Acero Inoxidable AISI-316, como se introduce en el apartado 4.2 de la Memoria. En dicho apartado se concluye que este material permite a la unión soportar una mayor carga, además de elevar el número de ciclos útiles por una mayor resistencia a la fatiga.

Por último, la viabilidad de estas uniones roscadas se estudia en el apartado 2 del Anexo, demostrando que las uniones más críticas del modelo soportan las cargas que deben soportar sin fallar.

5.6.2. Escuadras

Para facilitar las uniones roscadas, y así favorecer la rigidez del modelo y embellecer el diseño, se hace uso de dos tipos de escuadras de aluminio AA. Estas piezas tienen dos tamaños distintos, para las caras de 60mm del perfil y otro para la cara de 40mm del perfil. Ambos están mecanizados para favorecer las uniones roscadas, de manera que el perno quede oculto una vez se haya ajustado su posición, y de este modo se evite accidentes.

En la Ilustración 32 se puede observar la escuadra Tipo 1 (75x52mm), y en la Ilustración 33 el otro tipo de escuadra Tipo 2 (75x32mm), ambas con sus respectivas dimensiones. El mecanizado de ambas, se realiza un abocardado de diámetro mayor de 25mm y diámetro menor de 10,3 mm.

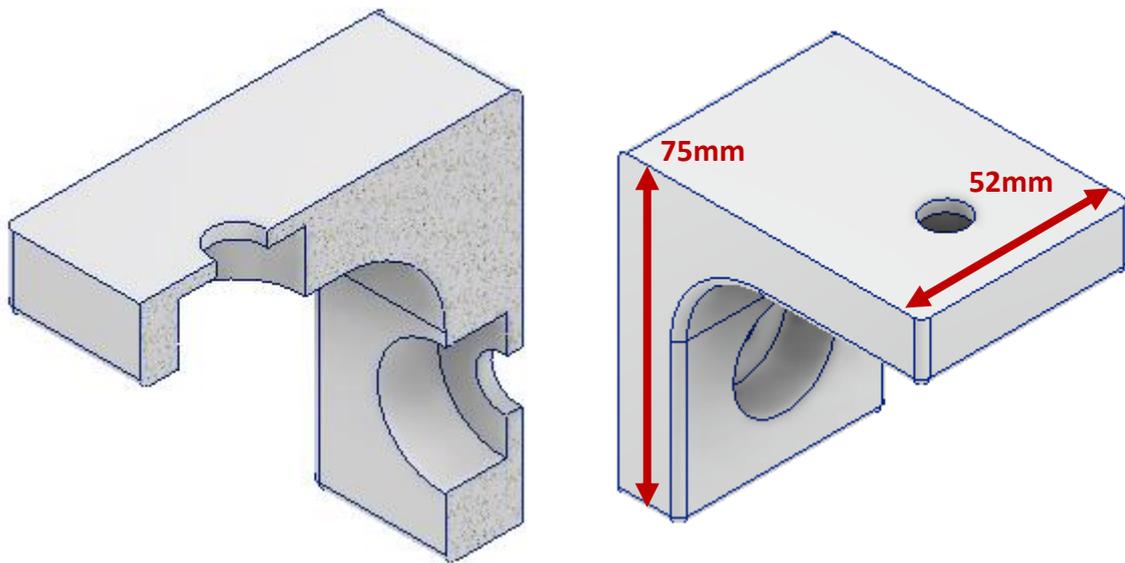


Ilustración 32 - Escuadra Tipo 1 (75x52mm)

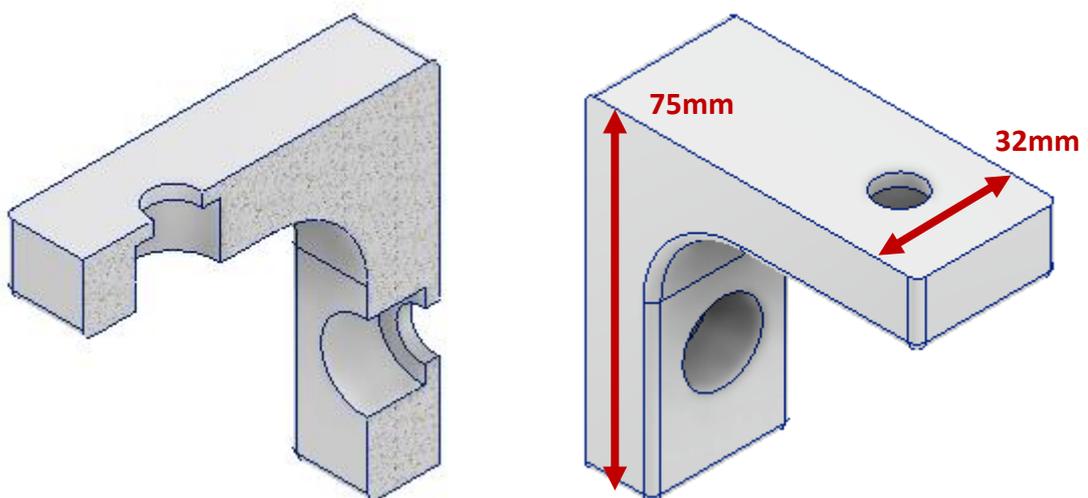


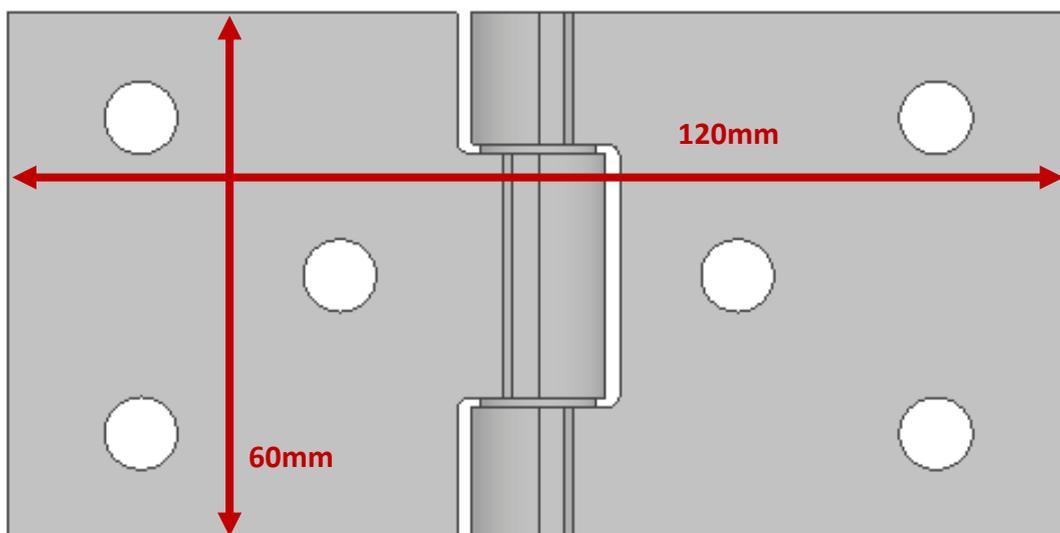
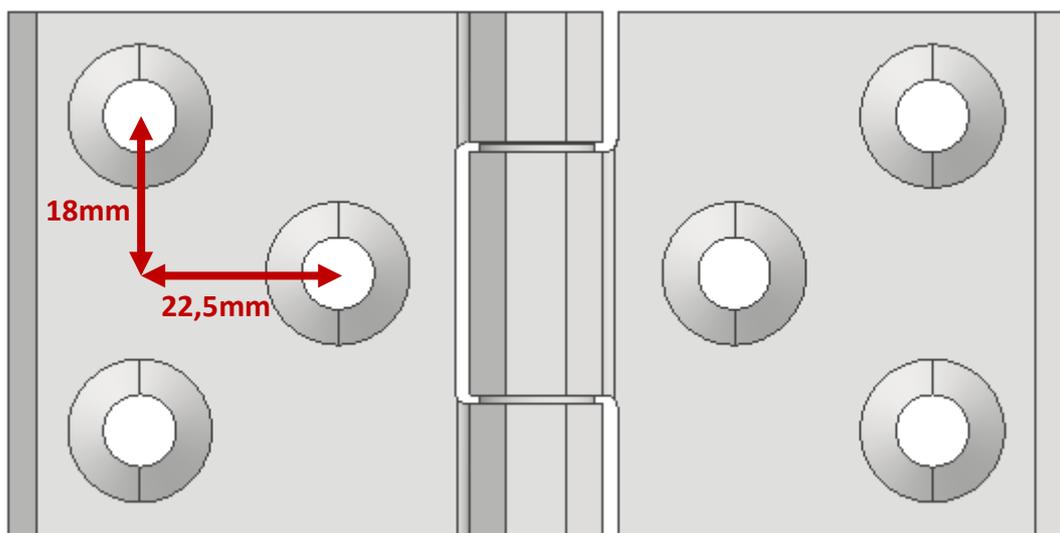
Ilustración 33 - Escuadra Tipo 2 (75x32mm)

5.6.3. Bisagras

Las bisagras empleadas son comerciales, ya que es mucho más sencillo y económico de obtenerlas. Además, de esta manera se puede asegurar que cumplan los requisitos mínimos de carga a soportar.

Las bisagras empleadas, Ilustración 34 e Ilustración 35, son del fabricante *JW Winco* y son específicas para trabajos pesados, ya que cada una puede soportar más de 50kg. El número de bisagras empleadas viene marcado por el peso total a soportar por las puertas y el rack (80kg), y el cumplimiento de las uniones roscadas según el apartado 2 del Anexo.

Tras estas consideraciones, se decide hacer uso de 4 bisagras por puerta, ya que de este modo la unión roscada llega al coeficiente de seguridad de 1,3. Así tanto las bisagras como los elementos de la unión cumplen con las especificaciones de diseño.



5.6.4. Uniones de caucho

En todas las uniones entre perfiles se ha añadido una capa de sección 60x40mm, en el extremo del perfil que esté tangente al otro. Esto tiene como objetivo evitar el desgaste por fricción entre piezas y, sobre todo, el ruido. Durante el entrenamiento físico se va a quitar y poner la barra sobre la estructura varias veces, y estos movimientos podrían generar mucho ruido si no existiera esta capa de caucho, lo cual podría resultar problemático al querer instalar el producto en una vivienda.

Por lo tanto, para solucionarlo se introduce una pieza de caucho entre ambos perfiles con las dimensiones que se pueden observar en la Ilustración 36.

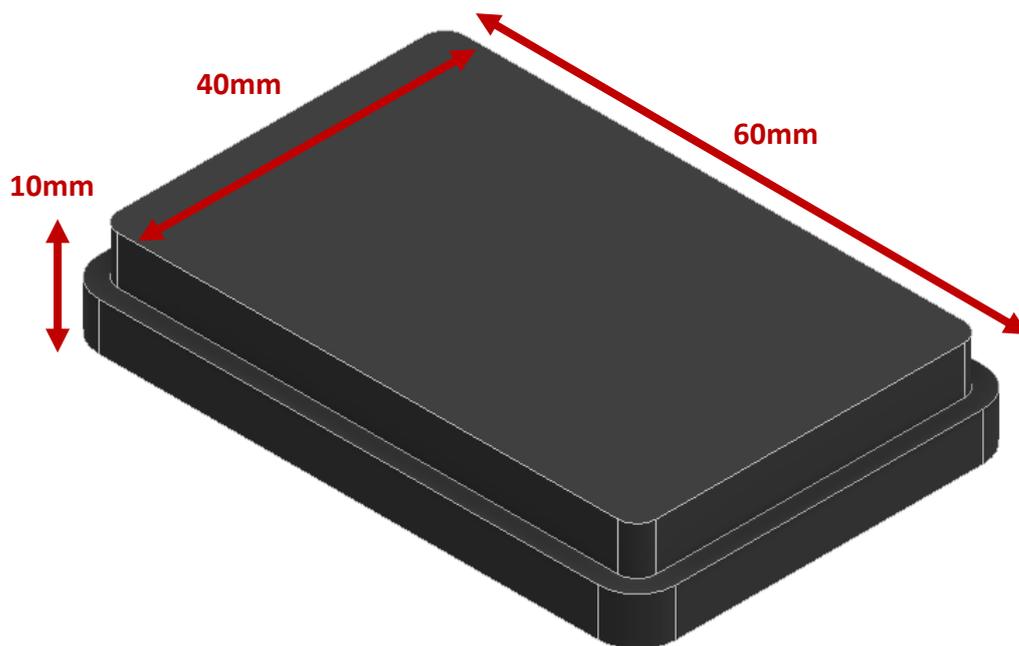


Ilustración 36 - Unión caucho

5.6.5. Tapas

De la misma manera que en el apartado anterior, en cuanto a las uniones roscadas, en gran cantidad de ellas se ha mecanizado una cavidad que permite ajustar las uniones correctamente. Estas cavidades son de gran utilidad, pero, una vez se han ajustado las uniones roscadas, quedan abiertas y sin uso.

Por lo tanto, se decide fabricar una serie de tapas de polímero PVC que permitan cerrar estas cavidades, dejándolas cerradas, sin que pueda entrar polvo, y aportando un factor embellecedor al diseño.

Se han fabricado distintas tapas para los distintos tipos de cavidades, en la Ilustración 37 e Ilustración 38 se muestran con sus respectivas dimensiones.

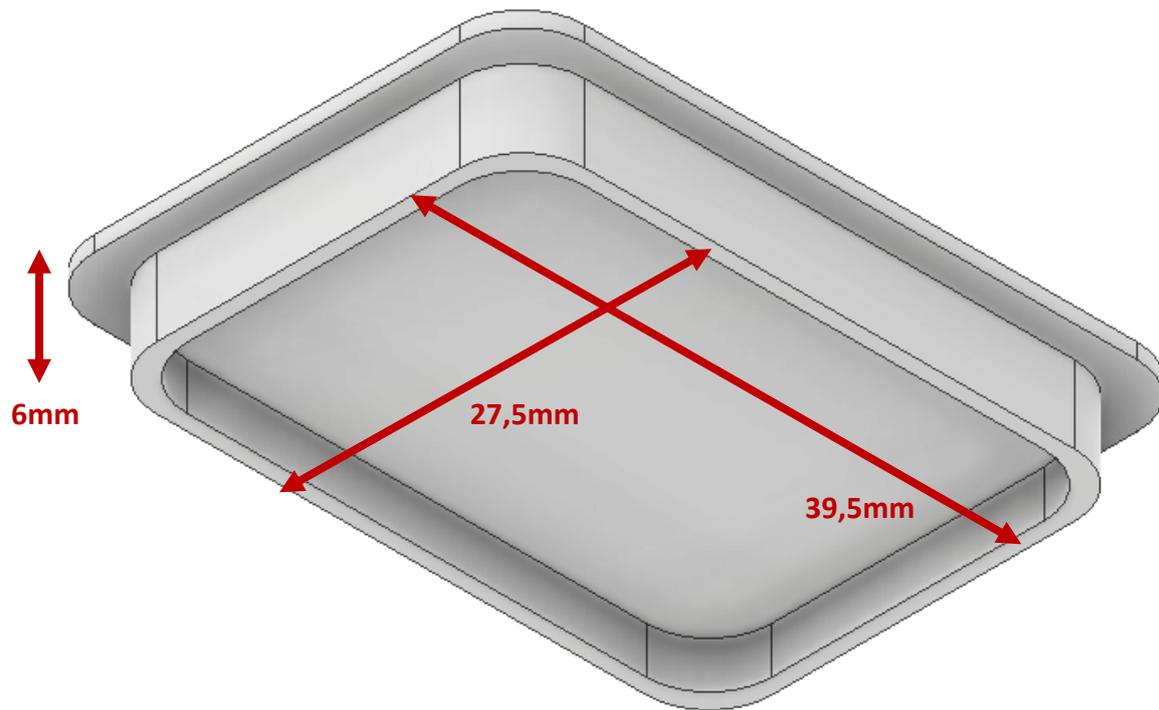


Ilustración 37 - Tapa perfiles

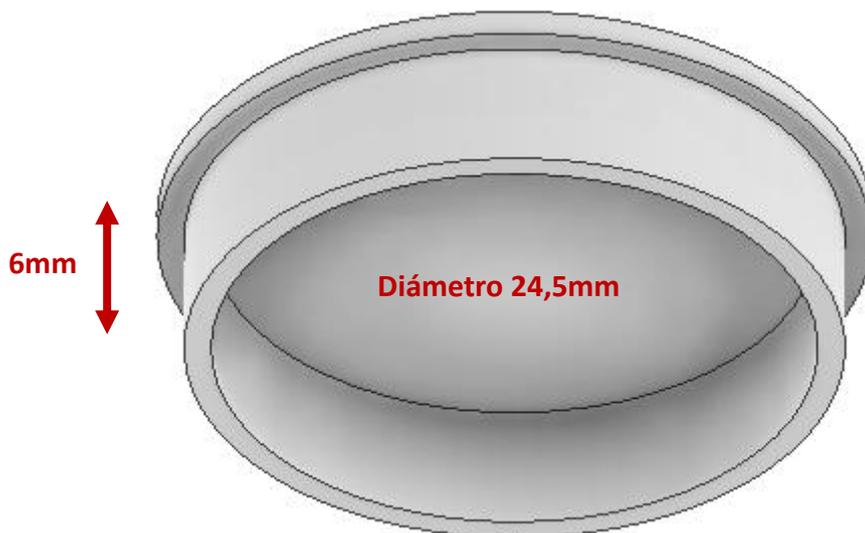


Ilustración 38 - Tapa accesos herramientas

5.6.6. Sujeció barra olímpica

Esta es una pieza fundamental, ya que sin ella no se podría sostener la barra olímpica con los pesos durante el entrenamiento ni variar la posición de la barra a lo largo del rack.

Se trata de un conjunto de 3 piezas soldadas entre sí, ya que fabricar toda la pieza como bloque único tendría un coste elevado. Todas las piezas están fabricadas en acero inoxidable AISI-304, ya que, como se explica en el apartado 4.2, este es un conjunto que va a soportar el peso de la barra directamente y de manera localizada.

En cuanto a las piezas que lo forman, en primer lugar, se tiene una placa A de espesor 10mm con un agujero pasante mecanizado de 25mm. A esta pieza va soldado un perfil circular macizo B de 25mm de diámetro por ambas caras de la placa. Por último, una placa C plegada en forma de L de espesor 5mm la cual va soldada al lateral de la placa A. Para el rack derecho se suelda en el lateral derecho de la placa A, y para el rack izquierdo se suelda en el lateral izquierdo de la placa A.

En la Ilustración 39 pueden observarse las distintas piezas del conjunto y su relación sí.

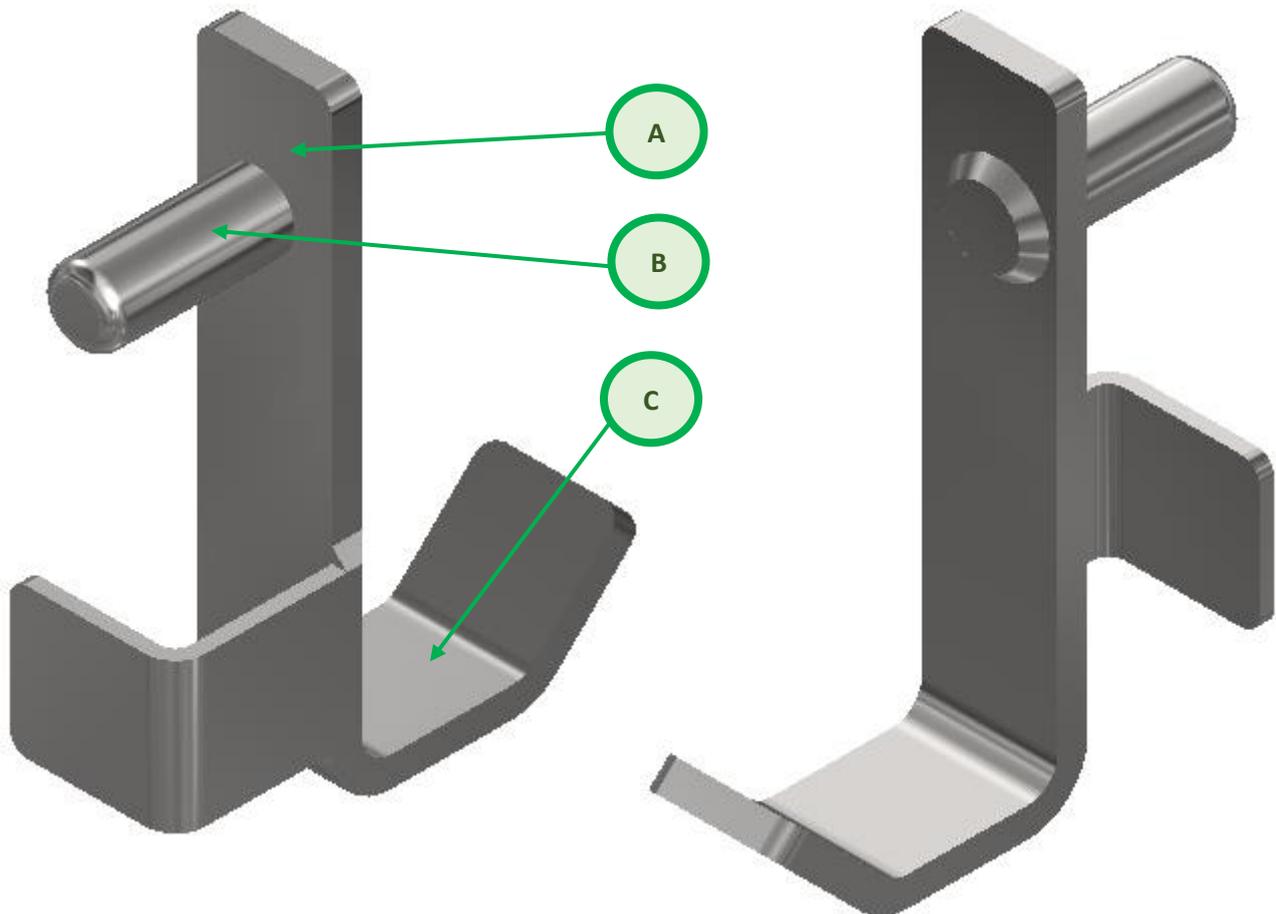


Ilustración 39 - Sujeció barra olímpica

La pieza en su conjunto queda evaluada en el apartado 4.2 del Anexo, dando lugar al cumplimiento de las especificaciones técnicas, ya que se obtiene un coeficiente de seguridad de 4,11. Se realizó un estudio de tensiones con la metodología FEA, profundizándose en detalle en el apartado 6 de la Memoria.

5.6.7. Suelo de caucho y carenado

Siguiendo la dinámica de eliminación de ruidos, y evitar el deterioro de las piezas del modelo y del propio suelo donde se instale, se va a fabricar un suelo de caucho cortado con las medias específicas de la estructura base.

En la Ilustración 40 se observa el diseño final del suelo de caucho. Este tiene un espesor total de 20mm, y un espesor útil de 10mm. Este segundo espesor hace referencia a la distancia entre la cara trasera de la pieza de caucho y la parte de la cara superior que soporta la estructura.

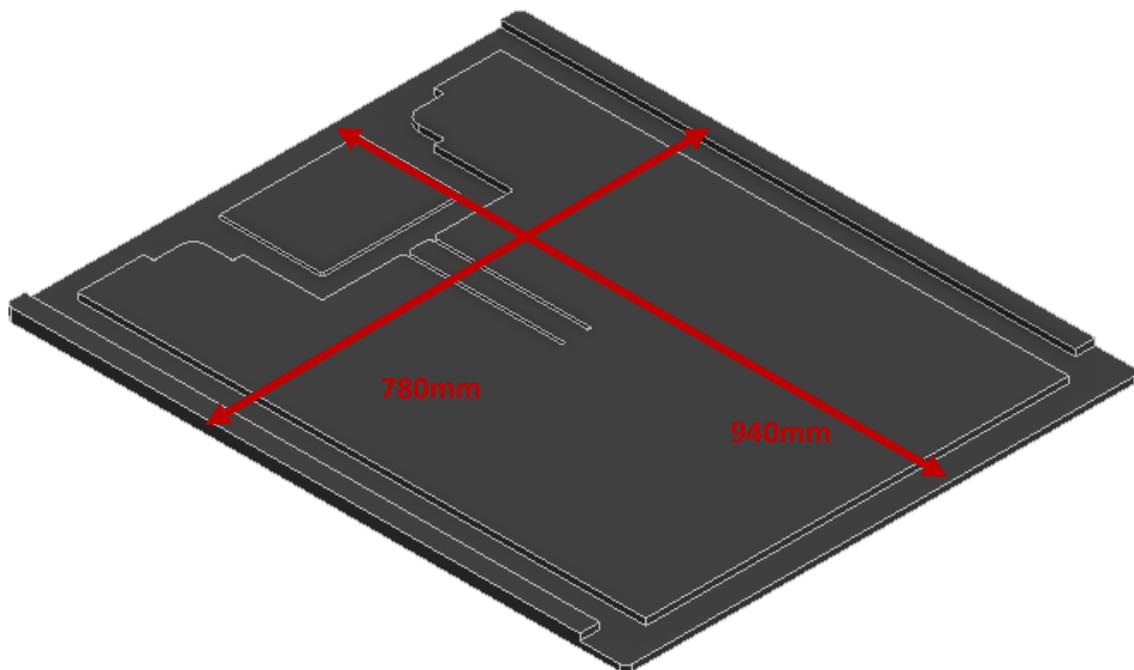


Ilustración 40 - Suelo de caucho

En cuanto al carenado, se cubre la estructura con un carenado de chapas metálicas cortadas a láser, para obtener las dimensiones necesarias, y de esta manera proteger la estructura de polvo y reducir el impacto visual. Este carenado es de 0,5mm de espesor y fabricado en Aluminio AA-6060. Además, se atornilla a la estructura mediante pernos de M10.

6. Cumplimiento de las limitaciones de diseño

Tras el diseño final, se debe comprobar que las limitaciones introducidas en el apartado 3.2 de la Memoria se han cumplido y respetado.

En primer lugar, la altura útil media de una vivienda es de 2,45m, por lo tanto, se considera que se cumple esta limitación ya que la altura total de la estación de entrenamiento es de 2,24m (2235,5mm).

En cuanto al peso máximo que soporta el forjado de una vivienda, se marcó un máximo de 200-300kg por metro cuadrado, intentando mantenerse lo más cerca posible de los 200kg. La superficie de ocupación del producto es de 0,73m², y tiene un peso total de 87,4kg. Cuando contemplamos el peso de las placas de pesos calibrados (50kg), la barra olímpica (20kg) y los discos de peso máximos con los que se permite trabajar (60kg), el peso máximo asciende a los 217,4kg. Este peso queda dentro del rango marcado, de modo que se considera que cumple con la limitación marcada.

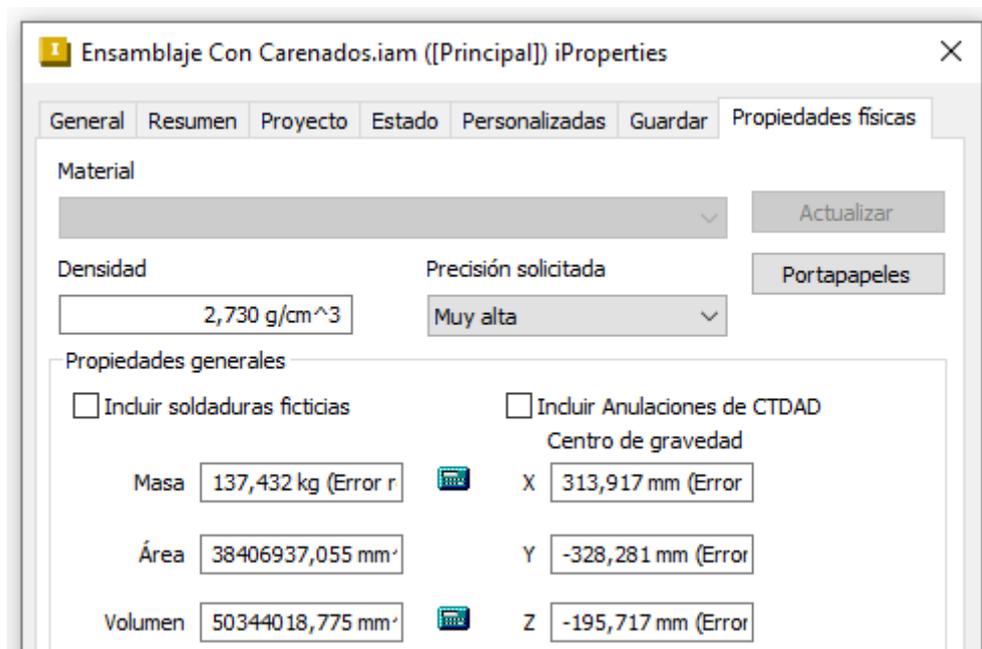


Ilustración 41 - Resultado de pesos estructura + placas de pesos calibrados

Cabe mencionar que el peso que soporte el forjado aumentará durante el periodo de entrenamiento físico, ya que una persona se considera que tiene un peso promedio de 80kg. Sin embargo, el peso no estará localizado, ya que el usuario realiza el entrenamiento fuera de la estructura base, y no se superan los 300kg marcados como límite por el forjado (la suma de todos los pesos sería de 297,4kg aproximadamente).

Por otra parte, se establecieron unos coeficientes de seguridad mínimos de 1,3 para las uniones roscadas y de 3 para el resto de los elementos del modelo. Las uniones roscadas, como se determina en el apartado 2 del Anexo, cumplen con este coeficiente de seguridad. El resto de los elementos, en concreto los considerados como críticos, también cumplen el coeficiente de seguridad de 3, pero se profundiza específicamente en el próximo apartado.

Finalmente, se pedía un diseño capaz de ser empaquetado para su envío y que permitiera ser montado y puesto a punto en el propio espacio donde fuera a ser utilizado (una vivienda, como caso más restrictivo). Como se ha demostrado en los distintos subapartados del apartado 5, la gran mayoría de las subestructuras se unen entre sí a partir de uniones roscadas, siendo la presencia de soldaduras escasa.

Al tener como único elemento soldado voluminoso, los laterales de la estructura base y las puertas, el packaging tendrá una longitud de tamaño similar. Además, al ser estos planos, podrán empacar el resto de los elementos apilados logrando un volumen manejable en el momento de los envíos del producto.

Además, al contar con una gran mayoría de uniones roscadas frente a soldaduras, la estación de entrenamiento podrá montarse en su respectivo espacio de uso sin ningún tipo de problema.

7. Estudio FEA: análisis de tensiones y validación del diseño

Para llegar al diseño final descrito en los anteriores apartados, se tuvo que realizar una serie de estudios de tensión. Estos estudios permitirían hacer una selección del tipo de perfiles a emplear, su sección, la disposición de estos y el material.

Este tipo de estudio se conoce como *FEA (Finite Elements Analysis)* o *FEM (Finite Elements Method)*, el cual queda brevemente introducido en el apartado 1.3 de la Memoria. En este apartado y en el apartado 4 del Anexo, se desea dar una explicación más profunda acerca de este tipo de estudio.

Este método tiene como objetivo predecir la reacción de un modelo ante fuerzas, vibraciones, calor, flujo de líquidos y otros efectos físicos bajo condiciones reales. Los resultados del análisis permiten definir si en circunstancias reales el sólido rompería, se deformaría, se desgastaría o por el contrario trabajará en condiciones óptimas.

Para ello, el software de modelado, Inventor, descompone el modelo en un gran número de elementos finitos. Esta cantidad dependerá del usuario en el momento de determinar el tamaño de la malla. La malla es el conjunto de todos estos elementos, los cuales al unirse entre sí forman nodos. Por tanto, a mayor número de elementos, mayor número de nodos y mayor es la precisión del análisis, ya que el software puede obtener más información

En el caso del modelo con el que se está trabajando, se ha decidido realizar el estudio de las dos partes más críticas, en cuanto a la tensión que deben soportar. Estas son el rack y la viga superior que alberga las uniones roscadas con las poleas.

Tras el estudio *FEA* de estas partes críticas, en el apartado 4 del Anexo, se concluye la viabilidad del proyecto obteniendo los siguientes resultados:

Tensión de Von Mises (MPa)	Desplazamiento (mm)	Coefficiente de seguridad	¿Cumple?
60,79	0,2646	4,11	Sí

Tabla 6 - Resultados estudio FEA del rack

Tensión de Von Mises (MPa)	Desplazamiento (mm)	Coefficiente de seguridad	¿Cumple?
55,27	0,0727	4,98	Sí

Tabla 7 - Resultado estudio FEA de la viga superior

Tras la evaluación del estudio FEA, se concluye positivamente la evaluación del diseño y se puede afirmar que se trata de un proyecto viable técnicamente.

8. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Los ODS son 17 objetivos globales establecidos por la ONU (Organización de las Naciones Unidas), las cuales están relacionadas y conectadas entre sí, con el objetivo de lograr un mejor y más sostenible futuro para todos.

En la Ilustración 42 se introducen los 17 objetivos, de los cuales, se ha tratado de cumplir algunos de ellos durante el desarrollo de este proyecto.



Ilustración 42 - Objetivos de Desarrollo Sostenible (redondeados los cumplidos)

Se ha considerado el cumplimiento de los siguientes objetivos:

- ODS 3 – Salud y Bienestar: “Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos y todas las edades”. El proyecto fomenta la actividad física y la trata de acercarla y facilitar a todas las personas.
- ODS 9 – Industria, Innovación e Infraestructura: “Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación”. Este objetivo no se considera cumplido al 100%, ya que no se trata de un proyecto relacionado con infraestructuras o industrias. Sin embargo, hay cierto nivel de innovación, ya que se soluciona un problema que, como se ha visto en el apartado 2 de la memoria, actualmente no existen alternativas.
- ODS 12 – Producción y Consumo Responsable: "Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles". La gran mayoría del modelo está diseñado para ser fabricado en aluminio. Esto supone una gran facilidad en su reciclaje y reutilización, ya que es uno de los metales con mayor avance en su reciclado. Además, el diseño trata de ser lo más óptimo posible, haciendo un uso correcto y responsable de los materiales, sin desperdiciar durante su producción.

9. Trabajos futuros

Durante el desarrollo de la Memoria se ha llegado a un resultado final óptimo, cumpliendo las distintas limitaciones geométricas y técnicas que se han marcado al inicio. Sin embargo, siempre se puede abarcar más en el proyecto. Este apartado trata de enunciar ciertas mejoras que podrían introducirse en el proyecto o nuevos conceptos que podrían abarcarse.

Una de las cuestiones que no ha sido tratada con profundidad durante el diseño del modelo, ha sido el aspecto físico de la estación de entrenamiento. Ciertamente es que se ha tratado de adoptar un diseño minimalista, pero, al querer instalar el producto en una vivienda, el carenado metálico puede resultar no ser el que mejor apariencia dé.

Para solucionar esto podrían ofrecerse diferentes alternativas de vinilado, para que el usuario decida la estética que mejor concuerde con el lugar donde vaya a instalarse. Por otra parte, el carenado metálico podría sustituirse por piezas de madera, esto aumentaría ligeramente el peso del modelo, pero puede verse como una solución global y polivalente que se adapte a todo tipo de estancias, además de reducir notoriamente el coste de producción. En la Ilustración 43 se muestra un renderizado del modelo con la chapa de madera añadida al carenado.

Además del aspecto visual, la volumetría de la estación de entrenamiento podría ser un punto negativo para el consumidor final. Se podría enfocar una versión 2 del proyecto en reducir la profundidad del producto mediante partes que sean extensibles y abatibles cuando no se vaya a entrenar. Esto facilitaría mucho la adaptación al ambiente de una habitación y eliminaría aún más el impacto visual.

Por otra parte, este proyecto está muy enfocado a su uso por una única persona y en espacios reducidos, ya sea interior o exterior. Sin embargo, gracias a haber parametrizado el diseño en *Inventor*, podría crearse una alternativa con mayor volumen para emplearse en espacios abiertos y para más personas al mismo tiempo.



Ilustración 43 - Renderizado digital de la estación de entrenamiento con un carenado de madera

10. Conclusión

Tras observar los modelos actuales en el mercado de estaciones de entrenamiento personal, en el apartado 2 de la memoria, comparándolos con el producto final que se ha diseñado en este proyecto, se puede afirmar una gran diferencia a nivel visual. Se reduce considerablemente el impacto visual que causan los modelos actuales, totalmente a la vista, frente al modelo diseñado. En este modelo se oculta el interior de la estación de entrenamiento mediante los carenados, la superficie de suelo ocupada es mucho menor y se mantienen los niveles de funcionalidad frente a sus potenciales competidores.

El diseño parametrizado y el uso de materiales estándar permiten la fácil adaptación a cambios. Si posteriormente se decidiera realizar un cambio dimensional en el producto, el coste a nivel técnico no sería excesivamente elevado, en comparación a una situación donde todas sus piezas fueran únicas y personalizadas. Además, cumple con las especificaciones técnicas necesarias para ser funcional en las condiciones menos óptimas, como se determina en los apartados 6 y 7.

Por otra parte, el proyecto alcanza 3 de los ODS presentados por la UE, como se explica en el apartado 8, y se puede fabricar en gran medida con materiales reciclables (aluminio y polímeros).

Otro aspecto que cabe recalcar es la facilidad del montaje y distribución. Todas las partes del modelo han sido diseñadas para poder ser empacadas con facilidades, formas geométricas simples, y con posibilidad de poder ser ensambladas in situ. Esto aproxima mucho el producto al consumidor promedio, ya que no todo el mundo tiene la posibilidad de disponer de un espacio diáfano donde disponer de este tipo de estaciones de entrenamiento convencionales. Además, puede verse desde la perspectiva de un producto deportivo innovador, acogido a una tendencia muy establecida como es la de montar tu propio mobiliario en casa (IKEA).

En definitiva, el proyecto se aborda con éxito tratando de cumplir con los requisitos técnicos y estéticos, y favoreciendo su producción, distribución y montaje. Además de dejar como posibilidades futuras, una variedad de mejoras muy útiles que podrían llevar el producto al siguiente nivel.

11. Bibliografía

Rozamiento de la cuerda sobre una polea. (s. f.).

http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/solido/roza_cuerda/roza_cuerda.html

Mecapedia. Rozamiento entre una polea y su correa. (s. f.).

http://www.mecapedia.uji.es/pages/rozamiento_polea_correa.html

TraceParts. (s. f.). *Free 3D models, CAD files and 2D drawings - TraceParts.* TraceParts.

<https://www.traceparts.com>

Diseño y cálculo de uniones roscadas. UPV. (s. f.).

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16477/uniones%20atornilladas.pdf>

Cálculo de uniones atornilladas. (s. f.).

<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn32.html>

Tipos de tornillos. (s. f.).

<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn31.html>

SA, A. (s. f.). *Tubos rectangulares de aluminio · Alu-Stock S.A.* Alustock.

<https://www.alu-stock.es/es/aluminio-industria/perfiles-normalizados/tubos-rectangulares>



II Anexos

Anexos

1. Materiales seleccionados: composición y propiedades	57
2. Cálculo uniones roscadas	58
2.1. <i>Unión entre perfil superior y poleas</i>	61
2.2. <i>Unión entre rack y la puerta de la estructura</i>	66
2.3. <i>Unión entre la estructura base y la puerta</i>	67
3. Cálculo sistemas de poleas.....	69
3.1. <i>Sistema de poleas superior</i>	69
3.2. <i>Sistema de poleas inferior.....</i>	70
4. Análisis de tensiones: estudio FEA	72
4.1. <i>Configuración de la malla y convergencia</i>	72
4.2. <i>Análisis FEA del Rack.....</i>	74
4.3. <i>Análisis FEA del perfil superior con poleas</i>	79
5. Parametrización del modelo	83

1. Materiales seleccionados: composición y propiedades

En el diseño del centro de entrenamiento se ha decidido tratar de hacer el mínimo uso de materiales distintos, de manera que se reduzca el coste y además sea más sencillo de analizar.

Se han empleado 4 tipos de materiales: aluminio AA-6060, polímero PVC, acero inoxidable AISI-316 y AISI-304. La decisión de por qué hacer uso de uno u otro material se profundiza en el apartado 4 de la Memoria.

La composición y propiedades mecánicas de los distintos materiales metálicos son:

- Aluminio AA-6060:

Aluminio	Mn (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mg (%)	Si (%)	Zn (%)	Ti (%)	Cr (%)	Al (%)
AA-6060	0 – 0,1	0,1 – 0,3	0 – 0,1	0,35 – 0,6	0,3 – 0,6	0 – 0,15	0 – 0,1	0,05 – 0,25	97,5 – 99,3

Tabla 8 - Composición química del Aluminio AA-6060

Aluminio	Módulo de Elasticidad (MPa)	Límite Elástico (MPa)	Límite de Rotura (MPa)
AA-6060	69000	170	220

Tabla 9 - Propiedades mecánicas del Aluminio AA-6060

- Acero Inoxidable AISI-304:

Acero Inoxidable	C (%)	Si (%)	P (%)	Mg (%)	S (%)	Cr (%)	Ni (%)
AISI-304	<0,08	<1	<0,045	<2	<0,03	18 - 20	8 - 10,5

Tabla 10 - Composición química del Acero Inoxidable AISI-304

Acero Inoxidable	Módulo de Elasticidad (MPa)	Límite Elástico (MPa)	Límite de Rotura (MPa)
AISI-304	200000	240	550

Tabla 11 - Propiedades mecánicas del Acero Inoxidable AISI-304

- Acero Inoxidable AISI-316:

Acero Inoxidable	C (%)	Si (%)	P (%)	Mg (%)	S (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)
AISI-304	<0,08	<1	<0,045	<2	<0,03	16 - 18	10 - 14	2 - 3

Tabla 12 - Composición química del Acero Inoxidable AISI-316

Acero Inoxidable	Módulo de Elasticidad (MPa)	Límite Elástico (MPa)	Límite de Rotura (MPa)
AISI-304	200000	240	550

Tabla 13 - Propiedades mecánicas del Acero Inoxidable AISI-316

2. Cálculo uniones roscadas

Se desea comprobar el correcto dimensionado de las uniones roscadas de la estructura, por lo tanto, se estudiarán las uniones que pueden resultar críticas mediante diferentes cálculos.

En cuanto al perno, se comprobará que soporte las cargas existentes a tracción y cortante, manteniendo un coeficiente de seguridad mayorado al 20% (deberá ser mayor o igual a 1,2). Además, se determinará el par de apriete óptimo para dichas uniones.

Por otra parte, se comprobará que las piezas unidas soporten la tensión aplicada sobre ellas y que no se separen, ya que daría lugar a un espacio entre ellas que provocaría un fallo a fatiga.

Las uniones estarán compuestas por un perno, una tuerca, una arandela plana y una arandela estriada de bloqueo, siendo todos los elementos de métrica ISO M10 y de acero inoxidable, salvo en la unión entre la estructura base y la puerta se emplea la métrica ISO M8. Las uniones críticas que debemos estudiar están ubicadas en:

- **Unión entre perfil superior y poleas:** encontramos 6 uniones roscadas, como se puede observar en la Ilustración 44 e Ilustración 45, que anclan las poleas al perfil y soportarán todo el peso que traten de elevar.
- **Unión entre el rack y la puerta de la estructura:** encontramos 2 uniones roscadas, una en la parte superior y otra en la parte inferior como puede observarse en la Ilustración 48 e Ilustración 46.
- **Unión entre la estructura base y la puerta:** encontramos 12 uniones roscadas, 3 en cada bisagra mostradas en la Ilustración 48 e Ilustración 47. El resto de las uniones roscadas son importantes, ya que aportan rigidez y estabilidad, pero no están en una situación crítica. Es por ello que, de tener estas tres uniones mencionadas un dimensionado adecuado, el resto de las uniones también lo tendrían.

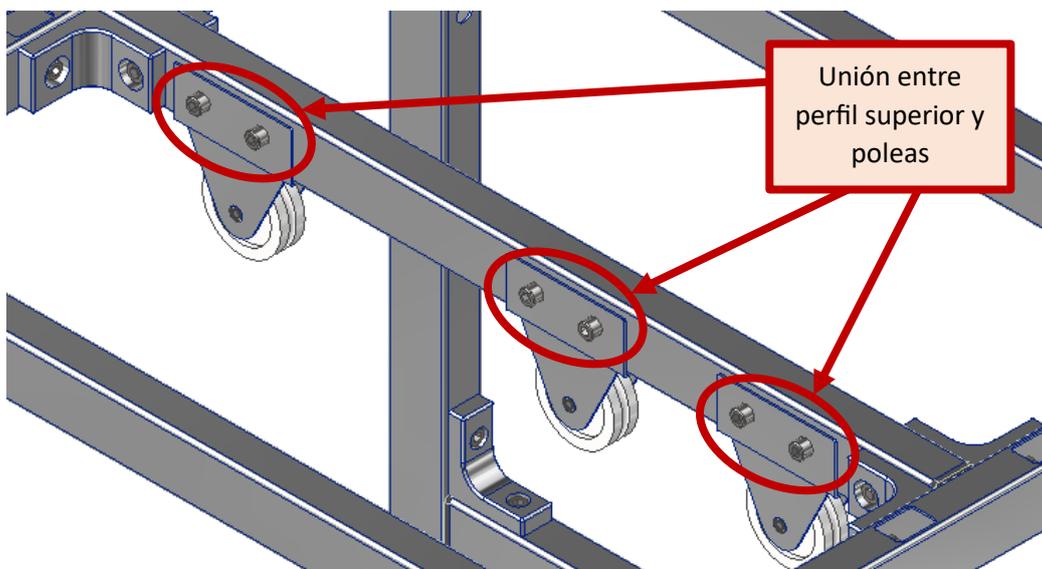


Ilustración 44 - Unión entre perfil superior y poleas

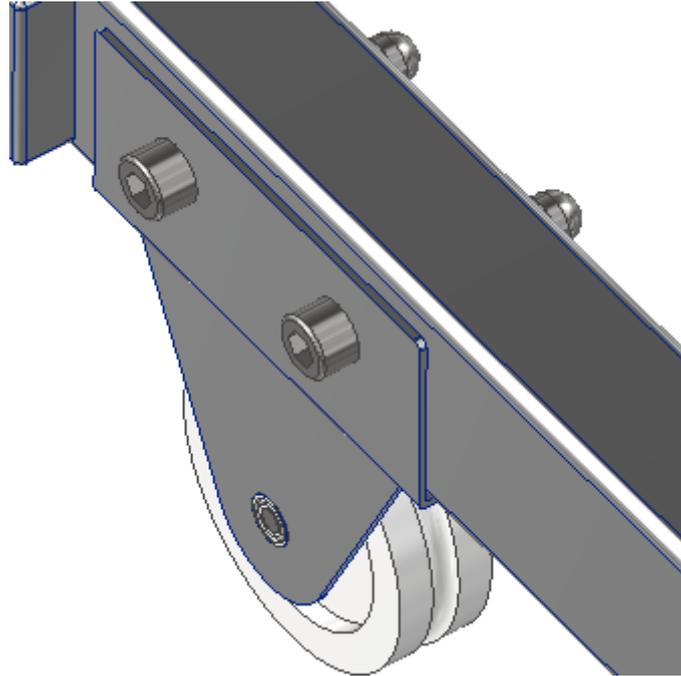


Ilustración 45 - Detalle unión entre perfil superior y poleas

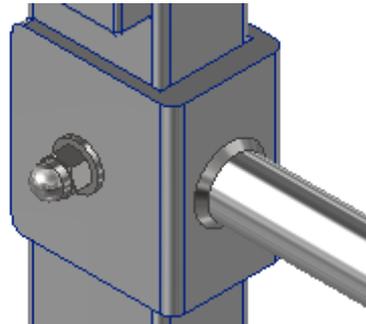


Ilustración 46 - Detalle unión el rack y la puerta de la estructura

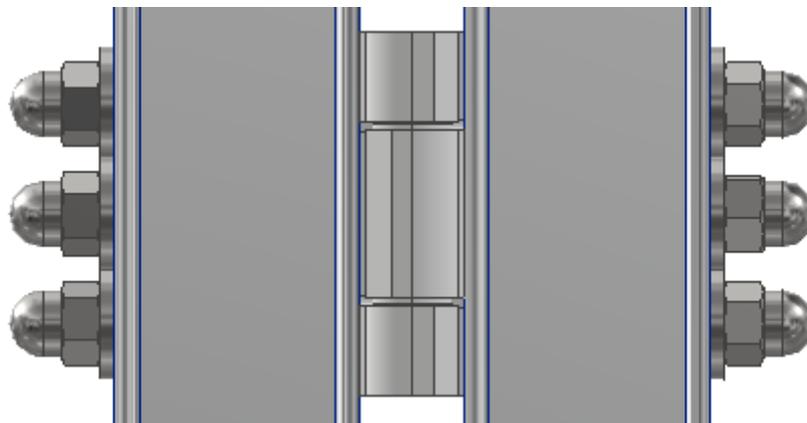


Ilustración 47 - Detalle unión entre la estructura base y la puerta

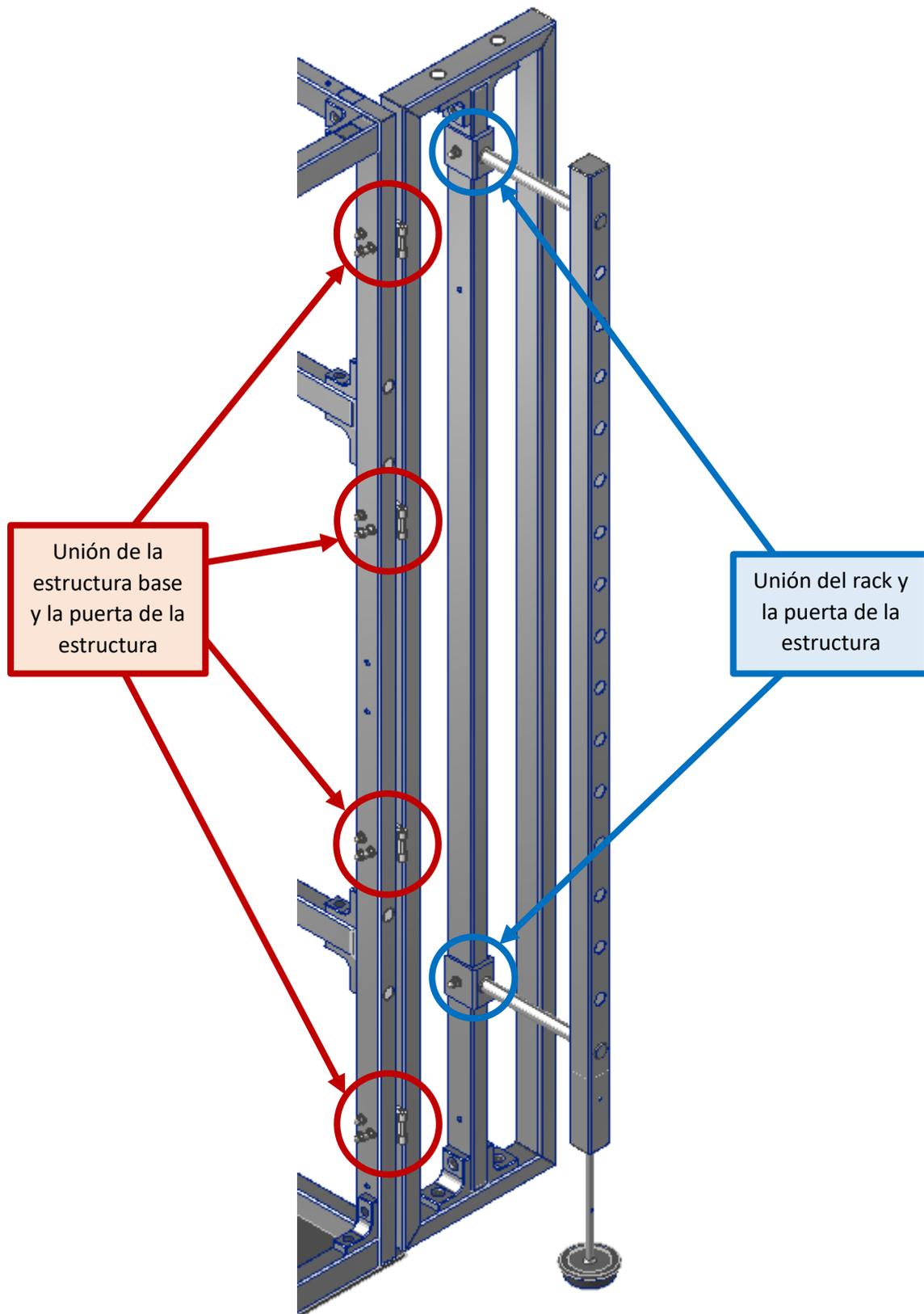


Ilustración 48 - Unión de la estructura base y la puerta y rack y la puerta de la estructura

2.1. Unión entre perfil superior y poleas

Como se ha introducido en la memoria, estos cálculos se han realizado mediante el software Excel, pero en este primer caso van a ser introducidos manualmente para exponer como se han obtenido los resultados.

En primer lugar, se establecen los datos iniciales necesarios para el cálculo:

- Unión roscada:

n = nº de pernos	6
$P_{\text{unión roscada}}$ = peso que soporta la unión (kg)	205,96
$P_{\text{unión roscada}}$ = peso que soporta la unión (N)	2020,47
Material 1 (Soporte poleas)	Aluminio
Material 2 (Perfil superior)	Aluminio
Material del perno	Acero inoxidable
E_1 = módulo de elasticidad del material 1	69 GPa
E_2 = módulo de elasticidad del material 2	69 GPa
E_{perno} = módulo de elasticidad del perno	200 GPa

Tabla 14 - Datos iniciales: unión roscada

- Perno:

Métrica	M10
Clase	4.6
p = paso (mm)	1,5
S_p = resistencia de prueba mínima (MPa)	225
S_y = Límite elástico mínimo (MPa)	240
d = diámetro nominal (mm)	10
A_t = área de esfuerzo a tensión (mm ²)	78,54
d_r = diámetro menor del tornillo (mm)	8,16
d_p = diámetro de paso (mm)	9,03
d_{eq} = diámetro equivalente (mm)	8,59

Tabla 15 - Datos iniciales: perno

- Longitudes características:

L_{amarre} (mm)	44
$L_{\text{no roscado}}$ (mm)	20
L_{roscado} (mm)	24
$L_{\text{amarre material 1}}$ (mm)	4
$L_{\text{amarre material 2}}$ (mm)	6

Tabla 16 - Datos iniciales: longitudes características

Las longitudes características se obtienen midiendo en el ensamblaje de la máquina en el software Inventor. Mientras que el resto de los valores se obtienen a partir de los materiales empleados y las tablas proporcionadas por la norma ISO, Tabla 17 y Tabla 18.

Diámetro mayor (nominal) d (mm)	ROSCA BASTA			ROSCA FINA		
	Paso p (mm)	Diámetro menor d_r (mm)	Área de esfuerzo a tracción A_t (mm ²)	Paso p (mm)	Diámetro menor d_r (mm)	Área de esfuerzo a tracción A_t (mm ²)
3.0	0.50	2.39	5.03			
3.5	0.60	2.76	6.78			
4.0	0.70	3.14	8.78			
5.0	0.80	4.02	14.18			
6.0	1.00	4.77	20.12			
7.0	1.00	5.77	28.86			
8.0	1.25	6.47	36.61	1.00	6.77	39.17
10.0	1.50	8.16	57.99	1.25	8.47	61.20
12.0	1.75	9.85	84.27	1.25	10.47	92.07
14.0	2.00	11.55	115.4	1.50	12.16	124.55
16.0	2.00	13.55	156.7	1.50	14.16	167.25
18.0	2.50	14.93	192.5	1.50	16.16	216.23
20.0	2.50	16.93	244.8	1.50	18.16	271.50
22.0	2.50	18.93	303.4	1.50	20.16	333.50
24.0	3.00	20.32	352.5	2.00	21.55	384.42
27.0	3.00	23.32	459.4	2.00	24.55	495.74
30.0	3.50	25.71	560.6	2.00	27.55	621.20
33.0	3.50	28.71	693.6	2.00	30.55	760.80
36.0	4.00	31.09	816.7	3.00	32.32	864.94
39.0	4.00	34.09	975.8	3.00	35.32	1028.4

Tabla 17 - Valores de diámetro norma ISO

Clase	Intervalo de tamaños (inclusive) (mm)	Resistencia límite mínima a la tracción S_p (MPa)	Resistencia de fluencia mínima a la tracción S_y (MPa)	Resistencia última mínima a la tracción S_u (MPa)	Características del acero
4.6	M5-M36	225	240	400	Medio o bajo carbono
4.8	M1.6-M16	310	340	420	Medio o bajo carbono
5.8	M5-M24	380	420	520	Medio o bajo carbono
8.8	M16-M36	600	660	830	Medio o bajo carbono, templado y revenido
9.8	M1.6-M16	650	720	900	Medio o bajo carbono, templado y revenido
10.9	M5-M36	830	940	1040	Martensítico de bajo carbono, templado y revenido
12.9	M1.6-M36	970	1100	1220	De aleación, templado y revenido

Tabla 18 - Valores de resistencia norma ISO

Una vez determinado el peso que va a soportar la unión, se ha de distribuir entre el número de pernos que tiene la unión:

$$P_{\text{perno}} = \frac{P_{\text{unión roscada}}}{n} = 336,74N$$

Comprobación a tracción:

Para obtener la tensión a la que está sometido cada perno, se ha de obtener, en primer lugar, el coeficiente de reparto de carga mediante la rigidez de la unión. Dado que la estructura del sistema de impresión está ciertamente sobredimensionada por las razones comentadas en los anteriores apartados, se realizarán los cálculos en base a la aproximación cilíndrica en lugar de la aproximación cónica, ya que pese a ser menos precisa, en este caso será más que suficiente:

- Rigidez del perno:

$$A_d = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 78,54 \text{ mm}^2$$

$$A_{deq} = \frac{\pi \cdot d_{eq}^2}{4} = 57,99 \text{ mm}^2$$

$$K_{no \text{ roscado}} = \frac{E_{perno} \cdot A_d}{L_{no \text{ roscado}}} = 7,85 \cdot 10^8 \text{ N/m}$$

$$K_{roscado} = \frac{E_{perno} \cdot A_{deq}}{L_{roscado}} = 4,83 \cdot 10^8 \text{ N/m}$$

$$K_{perno} = \frac{1}{\frac{1}{K_{no \text{ roscado}}} + \frac{1}{K_{roscado}}} = 2,99 \cdot 10^8 \text{ N/m}$$

- Rigidez de la pieza:

$$A_m = 1,25 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 98,17 \text{ mm}^2$$

$$K_{material \ 1} = \frac{E_{material \ 1} \cdot A_m}{L_{amarre \ material \ 1}} = 1,694 \cdot 10^9 \text{ N/m}$$

$$K_{material \ 2} = \frac{E_{material \ 2} \cdot A_m}{L_{amarre \ material \ 2}} = 1,129 \cdot 10^9 \text{ N/m}$$

$$K_{pieza} = \frac{1}{\frac{1}{K_{material \ 1}} + \frac{1}{K_{material \ 2}}} = 6,774 \cdot 10^8 \text{ N/m}$$

- Coeficiente de reparto de carga del perno:

$$C_b = \frac{K_{perno}}{K_{pieza} + K_{perno}} = 0,31$$

- Coeficiente de reparto de carga de la pieza:

$$C_m = 1 - C_b = 0,69$$

Una vez ya hemos obtenido estos valores, se ha de comprobar que la tensión a la que se somete cada perno de la unión roscada no es superior a la resistencia de prueba mínima (S_p). Para ello hay que obtener una serie de valores previos al cálculo de dicha tensión:

- Carga de prueba (F_p):

$$F_p = S_p \cdot A_t = 13356,75 \text{ N}$$

- Carga de pretensión (F_i):

$$F_i = 0,75 \cdot F_p = 13253,59 \text{ N}$$

- Carga de trabajo sobre el perno (F_b):

$$F_b = F_i + C_b \cdot F_p = 13356,75 \text{ N}$$

Conocida la carga de trabajo sobre el perno, se puede obtener la tensión a la que es sometida cada perno de la unión y comprobar si cumple las condiciones establecidas:

- Comprobación de la tensión del perno:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_t} = 170,06 \text{ MPa}$$

- Comprobación de las condiciones de uso:

$$\sigma_b < S_p$$

$$170,06 \text{ MPa} < 225 \text{ MPa} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

De modo que la unión cumple en cuanto a la tensión de tracción a la que está sometido cada perno, pero se han de realizar algunas otras comprobaciones más que permitan determinar con total seguridad si la unión roscada cumple con las condiciones de trabajo o no.

Se ha de obtenir el coeficiente de seguridad de la unión, comprobar la tensión a la que es sometida la pieza (ambos materiales que participan en la unión), si los elementos que constituyen la pieza en la unión se separan debido a las condiciones de trabajo y calcular el par de apriete recomendado para la unión:

- Cálculo del coeficiente de seguridad:

$$n_s = \frac{S_p}{\sigma_b} = 1,32 > 1,3 \rightarrow CUMPLE$$

- Comprobación de la tensión de la pieza:

$$\sigma_m < S_y$$

$$\sigma_m = \frac{F_i}{A_m} = 135 \text{ MPa}$$

$$135 \text{ MPa} < 240 \text{ MPa} \rightarrow CUMPLE$$

- Comprobación de la separación de la pieza:

$$\frac{F_i}{C_m \cdot P_{perno}} > 1$$

$$\frac{F_i}{C_m \cdot P_{perno}} = 56,74$$

$$56,74 > 1 \rightarrow NO SE SEPARAN$$

- Cálculo del par de apriete recomendado:

$$M_t = K \cdot F_i \cdot d \approx 0,2 \cdot F_i \cdot d = 26507,19 \text{ Nmm}$$

Dado que los valores del coeficiente de seguridad y el par de apriete son adecuados para este tipo de unión roscada, y en todas las comprobaciones necesarias se ha obtenido un balance positivo, se determina que la unión roscada cumple con las condiciones de trabajo a tracción. En este momento, resta comprobar que cada perno es capaz de resistir las tensiones cortantes que aparecen.

Comprobación a cortante:

Conocido el peso que soporta cada perno, el coeficiente de seguridad mínimo establecido, debemos determinar en primer lugar el área resistente del tornillo:

$$A_S = \pi \cdot \frac{d_p^2}{4} = 63,98 \text{ mm}^2$$

Conocido este valor, se podrá determinar el esfuerzo máximo a cortante al que puede estar sometido cada perno, y compararlo con el valor real que soporta:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,5 \cdot S_u \cdot A_S}{Y_M} = 10663,53$$

$$F_{v,Rd} > P_{perno} \rightarrow 10663,53 \text{ N} > 336,74 \text{ N} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

Comprobado que no se encuentran dificultades a soportar el esfuerzo a cortante por cada uno de los pernos, ya se puede concluir que la unión roscada está correctamente dimensionada y no se encontrarán futuras roturas.

Se pueden concluir los datos obtenidos del estudio en la Tabla 19:

Comprobación a tracción			
Tensión a tracción que soporta un perno	170,06 MPa	<225 MPa	Cumple
Coeficiente de seguridad	1,32	>1,3	Cumple
¿Separación de piezas?	56,74	>1	No se separan
Tensión que soporta la pieza	135 MPa	<240 MPa	Cumple
Par de apriete recomendado	26507,19 N·mm	-	-
Comprobación a cortante			
Tensión a cortante que soporta un perno	10663,53 N	>336,74 N	Cumple

Tabla 19 - Resultados unión viga superior y poleas

2.2. Unión entre rack y la puerta de la estructura

Como se ha comentado en el apartado anterior, estos cálculos se han realizado mediante el software *Excel*.

En primer lugar, se establecen los datos iniciales necesarios para el cálculo:

- Unión roscada:

n = nº de pernos	2
P _{unión roscada} = peso que soporta la unión (kg)	240
P _{unión roscada} = peso que soporta la unión (N)	2354,4
Material 1 (Soporte poleas)	Aluminio
Material 2 (Perfil superior)	Aluminio

Material del perno	Acero inoxidable
E_1 = módulo de elasticidad del material 1	69 GPa
E_2 = módulo de elasticidad del material 2	69 GPa
E_{perno} = módulo de elasticidad del perno	200 GPa

Tabla 20 - Datos iniciales: unión roscada

- Perno:

Métrica	M10
Clase	4.6
p = paso (mm)	1,5
S_p = resistencia de prueba mínima (MPa)	225
S_y = Límite elástico mínimo (MPa)	240
d = diámetro nominal (mm)	10
A_t = área de esfuerzo a tensión (mm ²)	78,54
d_r = diámetro menor del tornillo (mm)	8,16
d_p = diámetro de paso (mm)	9,03
d_{eq} = diámetro equivalente (mm)	8,59

Tabla 21 - Datos iniciales: perno

- Longitudes características:

L_{amarre} (mm)	50
$L_{\text{no roscado}}$ (mm)	20
L_{roscado} (mm)	30
$L_{\text{amarre material 1}}$ (mm)	10
$L_{\text{amarre material 2}}$ (mm)	6

Tabla 22 - Datos iniciales: longitudes características

Conocidos los datos iniciales, se han obtenido los siguientes resultados expuestos en la Tabla 23:

Comprobación a tracción			
Tensión a tracción que soporta un perno	174,44 MPa	<225 MPa	Cumple
Coefficiente de seguridad	1,3	>1,3	Cumple
¿Separación de piezas?	18,15	>1	No se separan
Tensión que soporta la pieza	135 MPa	<240 MPa	Cumple
Par de apriete recomendado	26507,19 N·mm	-	-
Comprobación a cortante			
Tensión a cortante que soporta un perno	10236,99 N	117,2 N	Cumple

Tabla 23 - Resultados unión rack y puerta

2.3. Unión entre la estructura base y la puerta

Del mismo modo que en los apartados anteriores, los cálculos mostrados se han realizado mediante el software *Excel*.

En primer lugar, se establecen los datos iniciales necesarios para el cálculo:

- Unión roscada:

$n = n^{\circ}$ de pernos	12
$P_{\text{unión roscada}} = \text{peso que soporta la unión (kg)}$	240
$P_{\text{unión roscada}} = \text{peso que soporta la unión (N)}$	2354,4
Material 1 (Soporte poleas)	Acero inoxidable
Material 2 (Perfil superior)	Aluminio
Material del perno	Acero inoxidable
$E_1 = \text{módulo de elasticidad del material 1}$	200 GPa
$E_2 = \text{módulo de elasticidad del material 2}$	69 GPa
$E_{\text{perno}} = \text{módulo de elasticidad del perno}$	200 GPa

Tabla 24 - Datos iniciales: unión roscada

- Perno:

Métrica	M10
Clase	4.6
$p = \text{paso (mm)}$	1
$S_p = \text{resistencia de prueba mínima (MPa)}$	225
$S_y = \text{Límite elástico mínimo (MPa)}$	240
$d = \text{diámetro nominal (mm)}$	8
$A_t = \text{área de esfuerzo a tensión (mm}^2\text{)}$	50,27
$d_r = \text{diámetro menor del tornillo (mm)}$	6,77
$d_p = \text{diámetro de paso (mm)}$	7,35
$d_{\text{eq}} = \text{diámetro equivalente (mm)}$	7,06

Tabla 25 - Datos iniciales: perno

- Longitudes características:

$L_{\text{amarre}} \text{ (mm)}$	48
$L_{\text{no roscado}} \text{ (mm)}$	28
$L_{\text{roscado}} \text{ (mm)}$	20
$L_{\text{amarre material 1}} \text{ (mm)}$	8
$L_{\text{amarre material 2}} \text{ (mm)}$	6

Tabla 26 - Datos iniciales: longitudes características

Conocidos los datos iniciales, se han obtenido los siguientes resultados expuestos en la Tabla 27:

Comprobación a tracción			
Tensión a tracción que soporta un perno	169,82 MPa	<225 MPa	Cumple
Coefficiente de seguridad	1,32	>1,3	Cumple
¿Separación de piezas?	59,6	>1	No se separan
Tensión que soporta la pieza	135 MPa	<240 MPa	Cumple
Par de apriete recomendado	13571,68 N·mm	-	-
Comprobación a cortante			
Tensión a cortante que soporta un perno	6789,54 N	>196,2 N	Cumple

Tabla 27 - Resultados unión estructura base y puerta

3. Cálculo sistemas de poleas

El sistema de poleas diseñado está formado por 3 poleas superiores, 1 polea inferior y 1 polea intermedia móvil que hace de unión entre ambas partes del sistema.

Con el fin de determinar la fuerza que debemos aplicar en cada uno de los amarres del sistema (superior e inferior), dividiremos en 2 casos independientes el cálculo.

3.1. Sistema de poleas superior

En este caso, la polea intermedia toma la condición de polea fija, ya que no hay movimiento alguno por su parte. De esta manera, el esquema general del sistema de poleas superior sería el mostrado en la Ilustración 49:

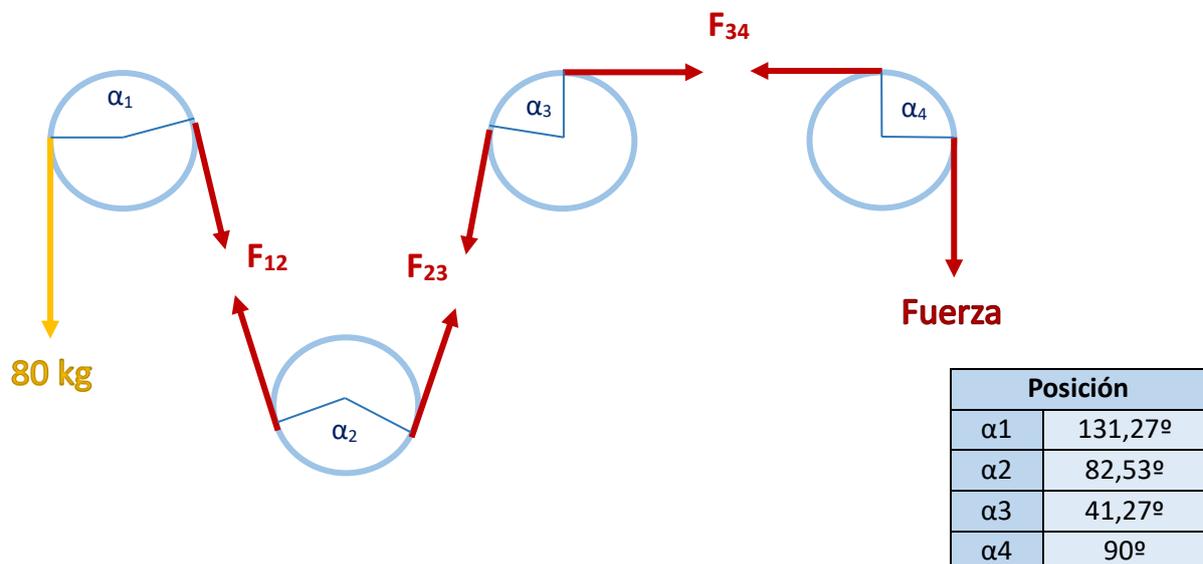


Ilustración 49 - Esquema del sistema de poleas superior

La amplitud de los ángulos, en este caso, va a ser constante al tratarse de 4 poleas fijas. Por lo tanto, aplicaremos las ecuaciones de rozamiento en las poleas para determinar la fuerza final que debe hacerse para mover los 80kg máximos.

Cabe recalcar que se hará uso de un coeficiente de rozamiento de 0,25 al tratarse de una fricción entre dos materiales plásticos (recubrimiento del alambre y la propia polea).

Conocidos estos datos, se procede con los cálculos de las fuerzas para obtener la final:

$$\frac{F_2}{F_1} = e^{\mu \cdot \alpha}$$

siendo $F_2 > F_1$

Las distintas fuerzas son:

$$\frac{F_{12}}{80} = e^{0,25 \cdot 131,27 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad F_{12} = 141,85 \text{ kg}$$

$$\frac{F_{23}}{F_{12}} = e^{0,25 \cdot 82,53 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad F_{12} = 148,56 \text{ kg}$$

$$\frac{F_{32}}{F_{23}} = e^{0,25 \cdot 41,27 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad F_{32} = 152,97 \text{ kg}$$

Finalmente, se obtiene la fuerza de salida que se debe aplicar:

$$\frac{\text{Fuerza superior}}{F_{12}} = e^{0,25 \cdot 90 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad \text{Fuerza superior} = 155,94 \text{ kg} = 1529,79 \text{ N}$$

3.2. Sistema de poleas inferior

Por el contrario, en este caso la polea intermedia sí toma la condición de polea móvil, ya que se desplazará en el sentido negativo del eje Y tanto como se tire de la cuerda en el punto donde aplica la fuerza de salida inferior.

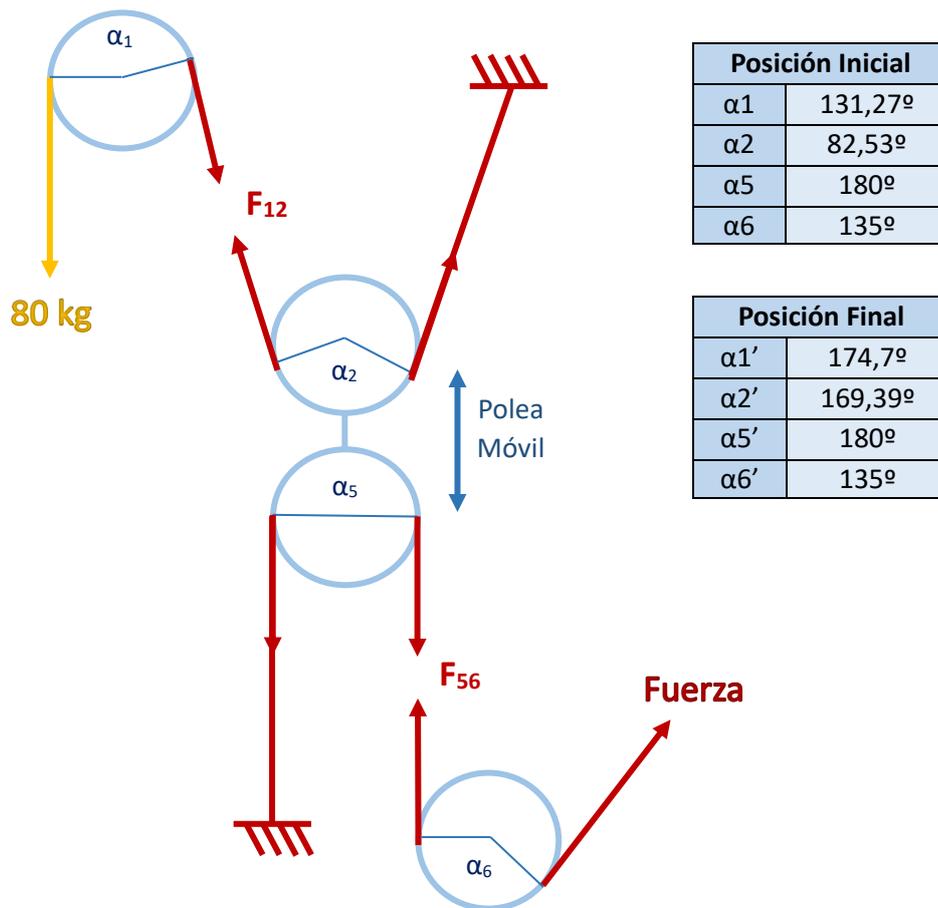


Ilustración 50 - Esquema del sistema de poleas inferior

La amplitud de los ángulos, al tener una polea móvil, van a variar los ángulos α_1 y α_2 dependiendo de la posición de la polea móvil. Como se tienen dos posiciones límite, la inicial y la final, se tomarán los cálculos como un intervalo entre los ángulos α y α' .

Por lo tanto, aplicaremos las ecuaciones de rozamiento en las poleas para determinar la fuerza final que debe hacerse para mover los 80kg máximos. Cabe recalcar de nuevo que se hará uso de un coeficiente de rozamiento de 0,25 al tratarse de una fricción entre dos materiales plásticos (recubrimiento del alambre y la propia polea).

Conocidos estos datos, se procede con los cálculos de las fuerzas para obtener la final:

$$\frac{F_2}{F_1} = e^{\mu \cdot \alpha}$$

$$\text{siendo } F_2 > F_1$$

Las distintas fuerzas para los ángulos α son:

$$\frac{F_{12}}{80} = e^{0,25 \cdot 131,27 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad F_{12} = 141,85 \text{ kg}$$

$$F_{56} = \frac{F_{12}}{2} \quad F_{56} = 70,93 \text{ kg}$$

$$\frac{\text{Fuerza inferior}}{F_{56}} = e^{0,25 \cdot 135 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad \text{Fuerza inferior}_0 = 127,83 \text{ kg} = 1254 \text{ N}$$

Mientras que las distintas fuerzas para los ángulos α' son:

$$\frac{F_{12}'}{80} = e^{0,25 \cdot 174,7 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad F_{12}' = 171,45 \text{ kg}$$

$$F_{56}' = \frac{F_{12}'}{2} \quad F_{56}' = 85,73 \text{ kg}$$

$$\frac{\text{Fuerza inferior}'}{F_{56}'} = e^{0,25 \cdot 135 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad \text{Fuerza inferior}' = 154,5 \text{ kg} = 1515,65 \text{ N}$$

De esta manera obtenemos el intervalo de fuerzas que van a tener que aplicarse en la salida del sistema de poleas inferior:

$$\text{Fuerza inferior} = [127,83, 154,5] \text{ kg} = [1254, 1515,65] \text{ N}$$

4. Anàlisis de tensiones: estudio FEA

En este apartado se desea completar la validación del diseño final, comprobando las tensiones máximas a soportar por las partes críticas y sus coeficientes de seguridad. Se trata de un método FEA (Finite Element Analysis), explicado en el apartado 1.3 Software y métodos de la memoria.

Para ello se va a utilizar la herramienta *Análisis de tensiones* en los entornos disponibles en *Inventor*, donde se van a obtener las tensiones de *Von Mises*, el desplazamiento y el coeficiente de seguridad.

A la hora de introducir las restricciones al modelo, se hará uso de restricciones fijas (para apoyos fijos) y de pasador (en agujeros para pernos o elementos pasantes).

En cuanto a las fuerzas que deben soportar los elementos estructurales, se introducen en *Newtons*, por lo tanto, se ha de multiplicar las unidades en Kg por la constante de la gravedad (siendo considerada $9,81\text{m/s}^2$). Además, se considera que las cargas libres deben ser consideradas 3 veces su magnitud debido a estar en movimiento a la hora de que la estructura las empiece a soportar, de modo que también se multiplicará el valor por 3.

Conocidas estas consideraciones, se pueden evaluar los puntos críticos de la estructura, siendo estos el rack y el perfil superior que sostiene las poleas. El rack es el conjunto de elementos que soportan la barra olímpica y está unido a la puerta del armario por uniones roscadas.

4.1. Configuración de la malla y convergencia

Antes de comenzar con el estudio, se debe realizar una configuración correcta al modelo, de manera que los resultados obtenidos puedan ser lo más exactos posibles.

La malla se compone de elementos geométricos (triángulos) que, unidos entre sí mediante sus aristas, crean vértices. Dentro de cada uno de estos elementos, el valor de tensión es constante, por lo tanto, se debe asignar un valor de malla adecuado. De esta manera, en las zonas críticas, podremos observar con mayor precisión cuales son los puntos más comprometidos.

En este caso, *Inventor* nos proporciona una malla poco precisa para el modelo estudiado, así que tomamos la configuración de la Ilustración 51.

El tamaño medio de elemento determina el tamaño de los elementos en relación al tamaño del modelo estudiado. El tamaño mínimo de elemento marca las zonas de transición entre una malla más fina y una menos. Por último, el ángulo máximo de giro genera una mayor densidad de elementos en superficies curvas. A menor ángulo, mayor densidad de malla es generada.

Por otra parte, en la Ilustración 52 se muestra cual ha sido la configuración de convergencia del estudio. Se aumenta el número de refinados de 0 a 5, de esta manera se realizan 5 iteraciones distintas que conformarán un mejor resultado.

El criterio de parada determina en qué porcentaje se detiene el refinamiento de la malla. Esto sucederá cuando la diferencia de resultado entre las dos últimas soluciones es inferior al porcentaje establecido. Se sube del 0% al 2,5%, de manera que se pueda refinar aún más el estudio.

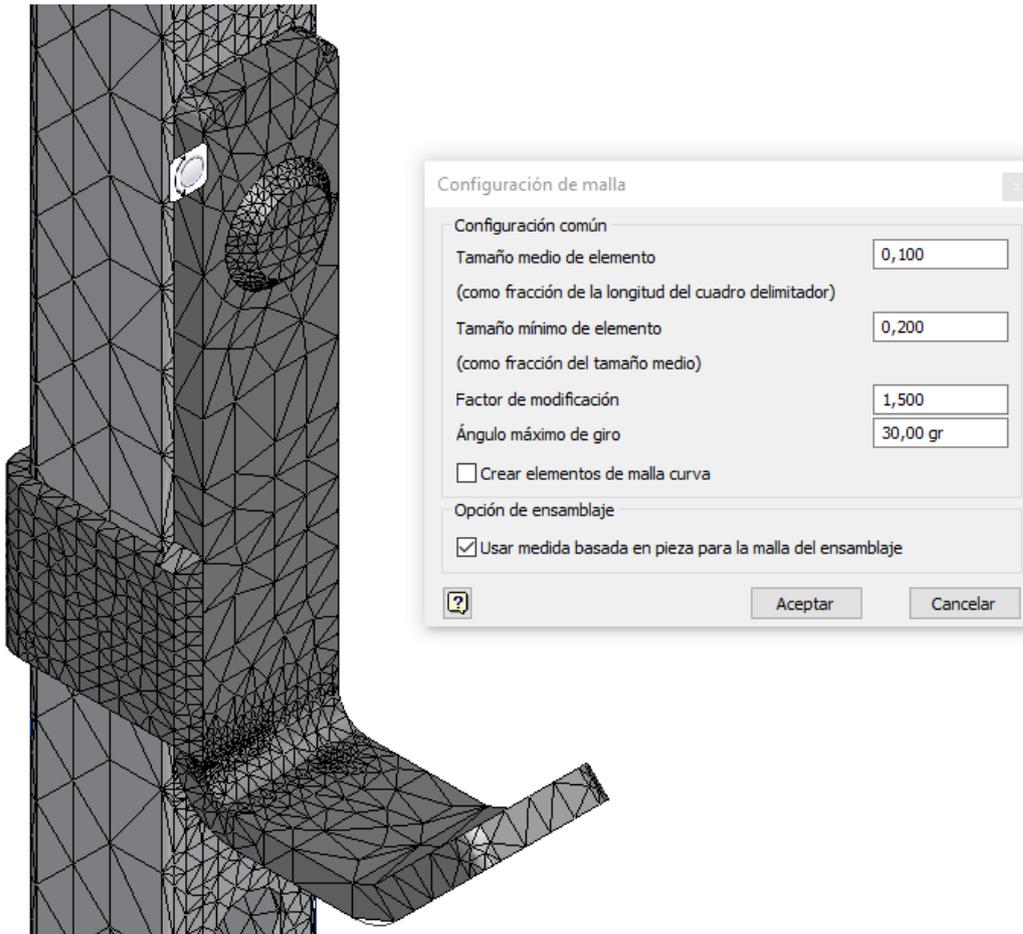


Ilustración 51 - Configuración malla

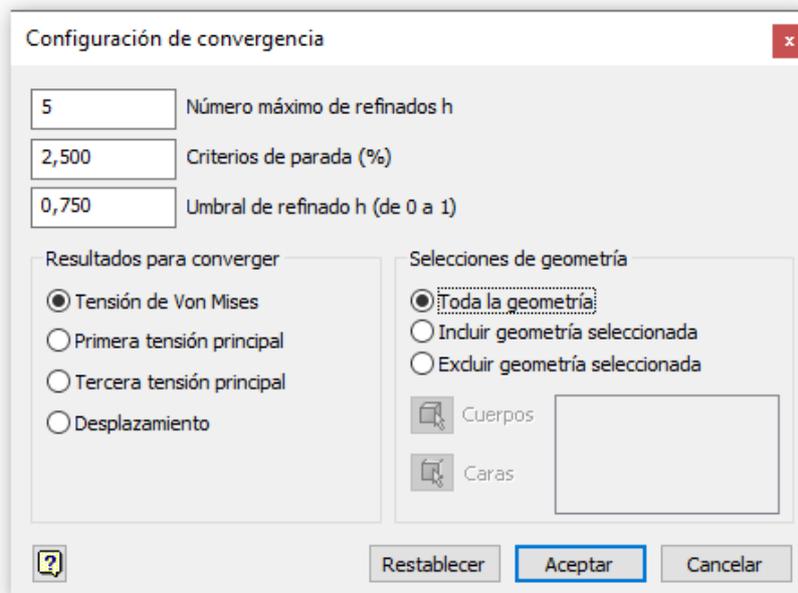


Ilustración 52 - Configuración convergencia

Por último, como el soporte de la barra olímpica es la pieza que suporta un mayor esfuerzo, se ha creado una malla local de 2 mm de tamaño de elemento, en referencia a la pieza:

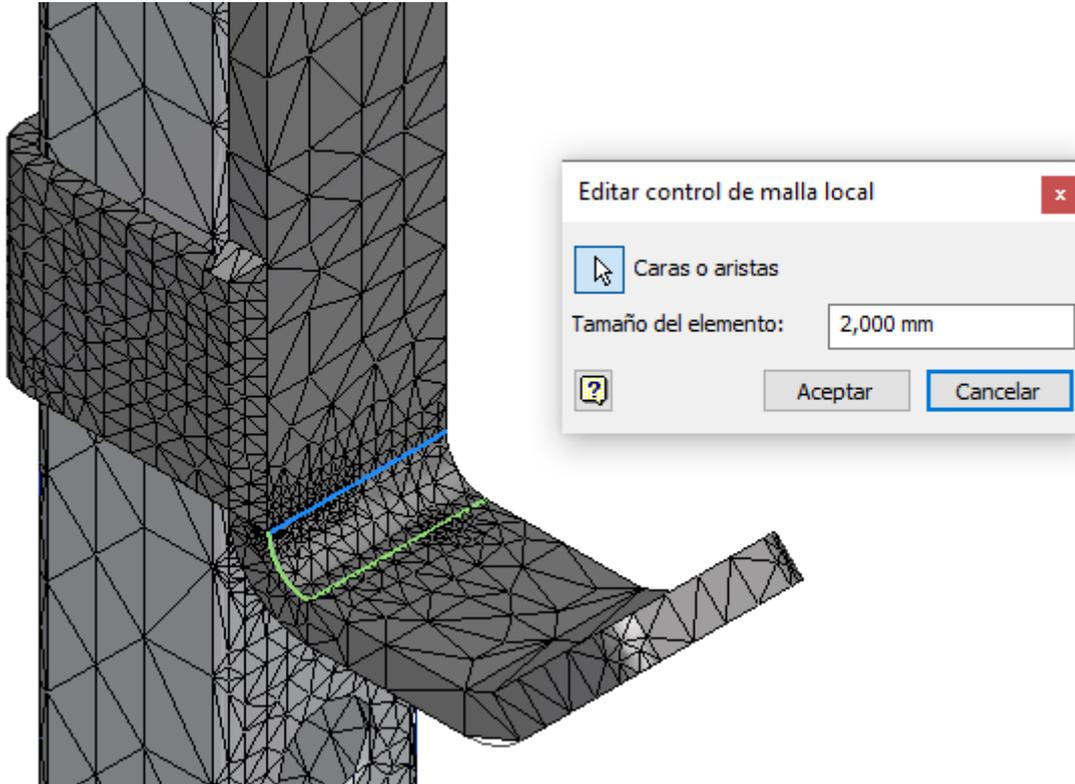


Ilustración 53 - Configuración de la malla local

Con esta configuración, se puede obtener un resultado con alta precisión.

4.2. Análisis FEA del Rack

El rack tiene distintas partes críticas, como pueden ser las soldaduras, las barras transversales, los agujeros para las uniones roscadas o los agujeros para el soporte de la barra (accesorio móvil, no soldado). Pero su parte más crítica, es el propio soporte de la barra, ya que con su geometría en forma de L debe soportar la gran mayoría del peso de la barra olímpica.

Cabe recalcar que el estudio se va a realizar con el soporte de la barra en el punto más alto, puesto que es la configuración más crítica y de esta manera aseguramos que siempre cumpla en el resto de las configuraciones.

Se establecen las restricciones en el rack, mostradas en la Ilustración 54.

Los resultados obtenidos se deben comparar con las propiedades de los materiales involucrados y el coeficiente de seguridad mínimo debe ser mayor de 3 para cumplir. Las propiedades mecánicas del aluminio y acero inoxidable (solamente el soporte de la barra), materiales empleados, están recogidos en la Tabla 28:

Material	Módulo Elástico (MPa)	Límite Elástico (MPa)	Límite de Rotura (MPa)
Aluminio	69000	170	220
Acero Inoxidable	200000	240	550

Tabla 28 - Propiedades mecánicas de los materiales involucrados

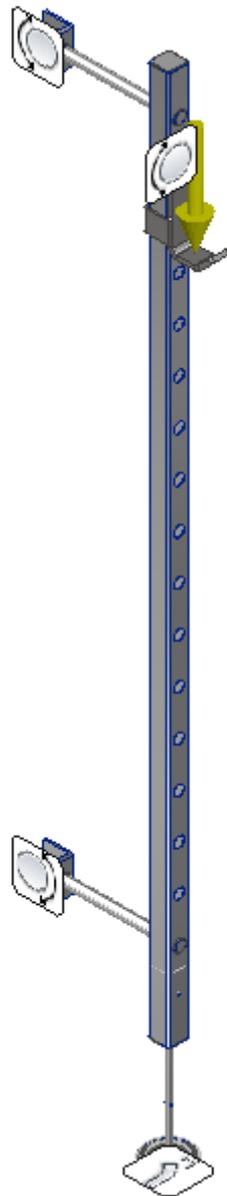


Ilustración 54 - Restricciones del Rack para el análisis

La pata de apoyo se restringe como fijo, las partes que conectan el rack con la puerta del armario se restringen como pasador (ya que hay uniones roscadas) y el soporte de la barra se restringe como pasador (ya que se introduce en los orificios del rack para poder soportar la barra olímpica).

La fuerza se aplica en la cara superior del soporte de la barra, ya que será la principal que soportará el peso de la barra olímpica. Siendo esta fuerza de $-1177,2N$:

$$Fuerza = -3 \cdot 9,81 \cdot \frac{80}{2} = -1177,2N$$

Este cálculo viene de las condiciones nombradas en la introducción del apartado y del peso máximo que debe soportar cada rack, siendo este de 40kg (la mitad del peso máximo a soportar, 80kg, ya que al haber 2 racks se distribuye el peso).

En las siguientes ilustraciones se muestran los resultados obtenidos del análisis en cuanto a tensión de *Von Mises* (Ilustración 55), desplazamiento en Y (Ilustración 56) y coeficiente de seguridad mínimo (Ilustración 57):

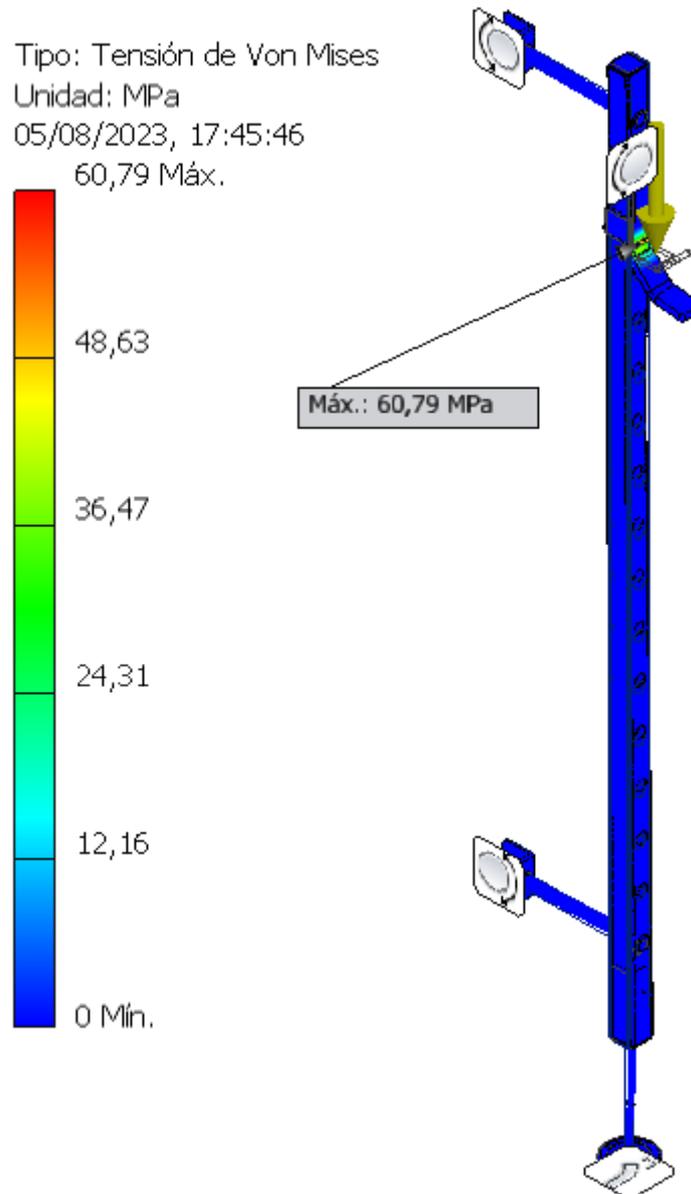
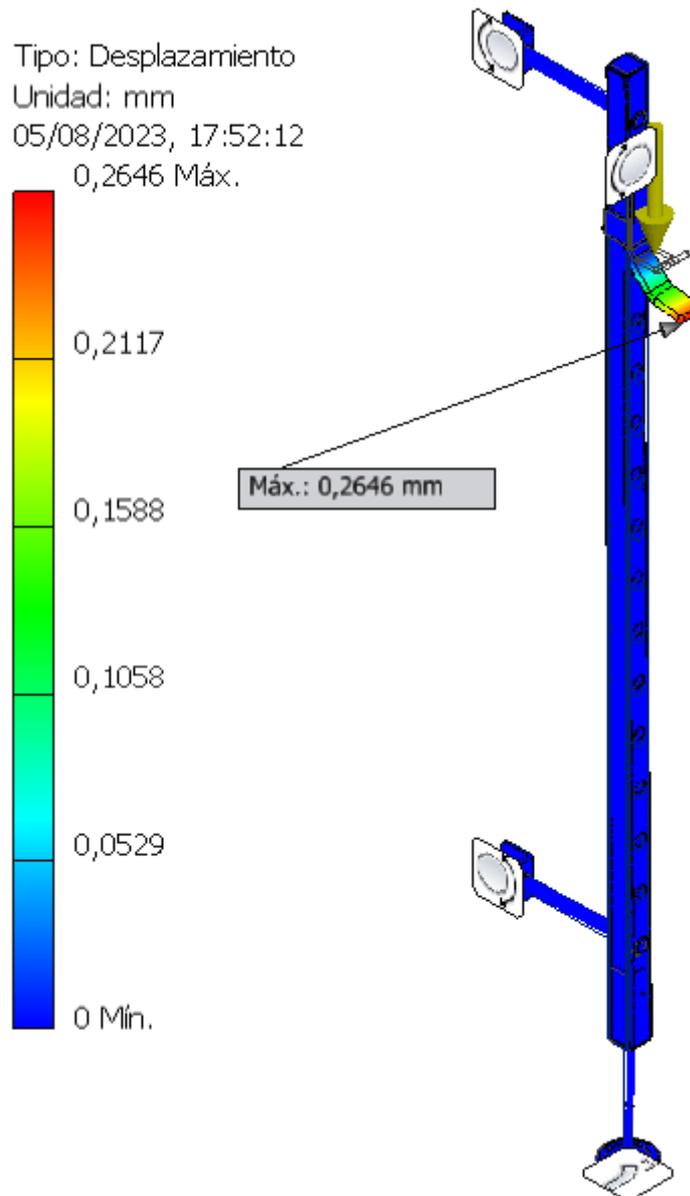


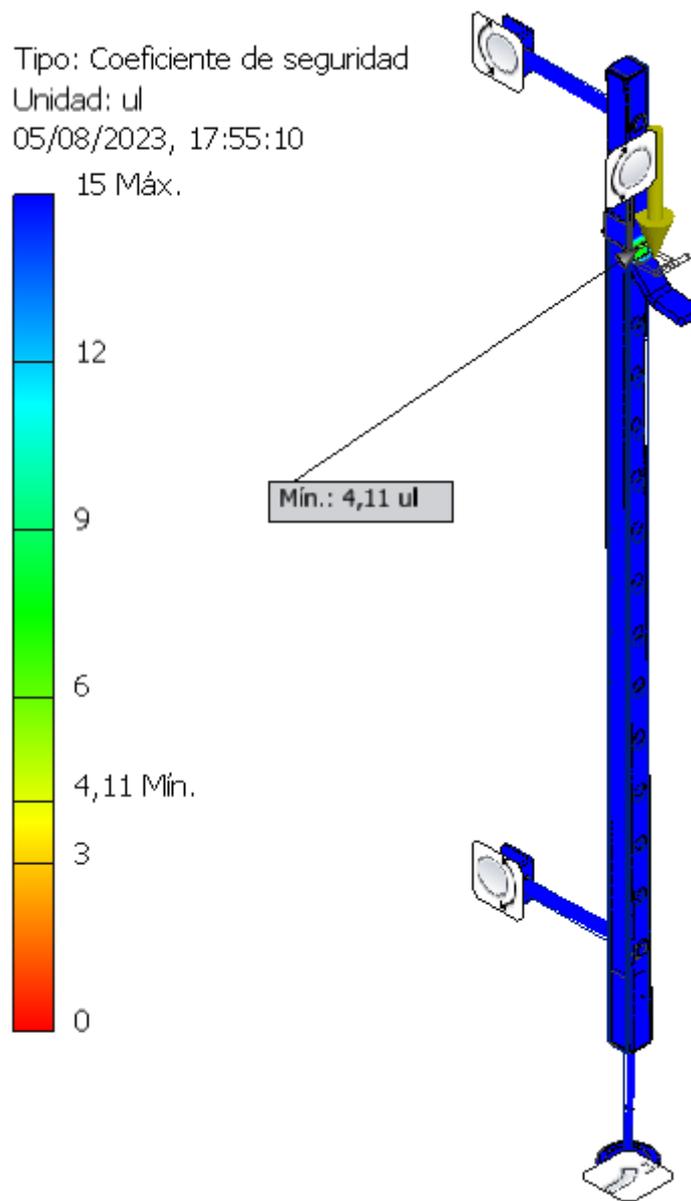
Ilustración 55 - Resultado FEA Rack: tensión de Von Mises



Ilustración 56 - Resultado FEA Rack: desplazamiento

Con los resultados obtenidos en cuanto a tensión de *Von Mises* y al desplazamiento, podemos asegurar que la estructura del rack cumple con sus condiciones de uso:

- La tensión máxima de *Von Mises* se da en el soporte de la barra (acero inoxidable), siendo este de 60,79MPa. Se puede asegurar su cumplimiento, puesto que el límite elástico del acero inoxidable es de 240MPa y el límite de rotura es de 550MPa.
- El desplazamiento máximo es de 0,2646mm en el eje Y. Este desplazamiento es prácticamente insignificante, por lo que puede confirmarse que cumple en este aspecto.



Ilustración 57 - Resultado FEA Rack: coeficiente de seguridad

Finalmente, obteniendo el resultado del coeficiente de seguridad, podemos confirmar que el rack cumple con las condiciones de uso. Esto se debe a que su coeficiente de seguridad mínimo, el cual también obtenemos en el soporte de la barra, es de 4,11, siendo superior al límite marcado de 3.

En la Tabla 29 se muestra un resumen de los resultados obtenidos:

Tensión de Von Mises (MPa)	Desplazamiento (mm)	Coeficiente de seguridad	Cumple?
60,79	0,2646	4,11	Sí

Tabla 29 - Resumen FEA Rack

4.3. Análisis FEA del perfil superior con poleas

El perfil superior tiene como partes críticas los agujeros para las uniones roscadas que unen las poleas. Estas poleas sirven para elevar las placas de peso que alberga la estructura y la fuerza que debe aplicar el usuario para elevar dichas placas.

Se establecen las restricciones en el perfil, mostradas en la Ilustración 58.

Los resultados obtenidos se deben comparar con las propiedades de los materiales involucrados y el coeficiente de seguridad mínimo debe ser mayor de 3 para cumplir. Las propiedades mecánicas del aluminio, material empleado, están recogidos en la Tabla 30.

Material	Módulo Elástico (MPa)	Límite Elástico (MPa)	Límite de Rotura (MPa)
Aluminio	69000	170	220

Tabla 30 - Propiedades mecánicas de los materiales involucrados

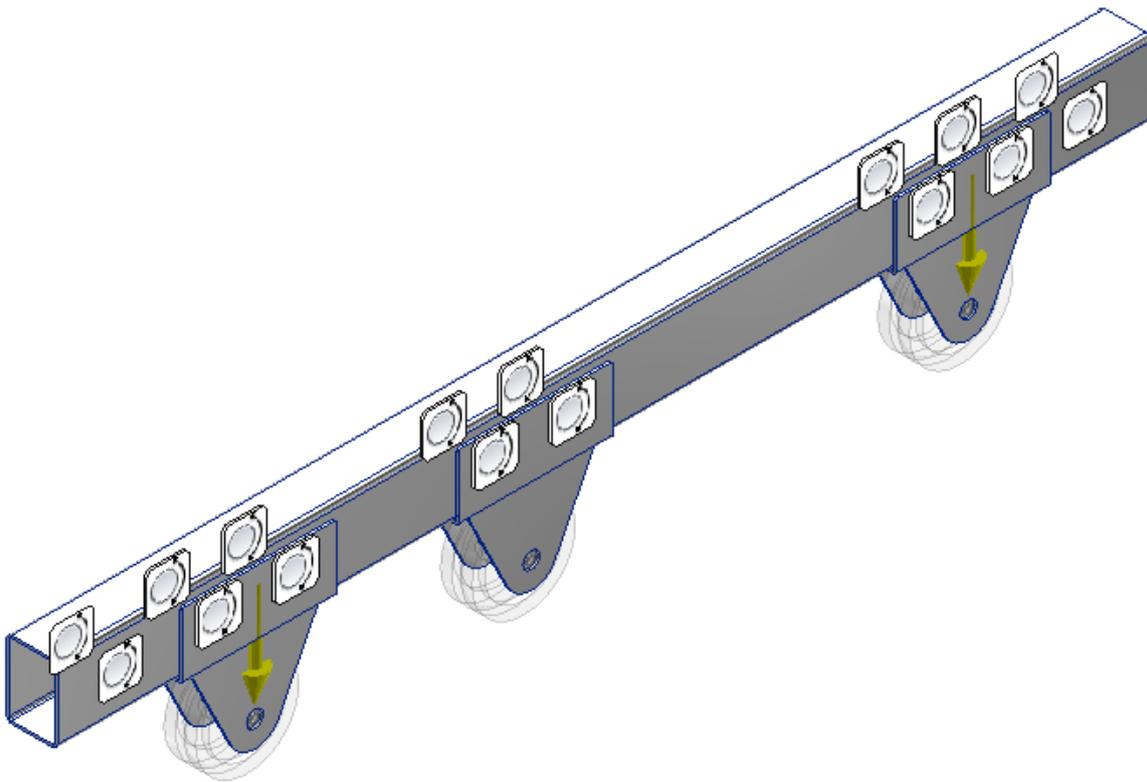


Ilustración 58 - Restricciones perfil superior con poleas

El perfil se restringe en sus agujeros, dedicados a uniones roscadas, como pasadores. En cuanto a la fuerza, se aplica sobre los agujeros pasantes en los que descansa el eje de las poleas.

La fuerza se repartirá en partes iguales entre las dos pletinas que soportan cada una de las poleas. Teniendo en cuenta que la primera polea soporta 50kg y la última soporta 155,96kg:

$$Fuerza Polea 1 = -3 \cdot 9,81 \cdot \frac{50}{2} = -735,75N$$

$$Fuerza Polea 2 = -3 \cdot 9,81 \cdot \frac{155,96}{2} = -2294,95N$$

En las siguientes ilustraciones se muestran los resultados obtenidos del análisis en cuanto a tensión de *Von Mises* (Ilustración 59 e Ilustración 60), desplazamiento en Y (Ilustración 61) y coeficiente de seguridad mínimo (Ilustración 62):

Tipo: Tensión de Von Mises

Unidad: MPa

06/08/2023, 9:51:26

55,27 Máx.

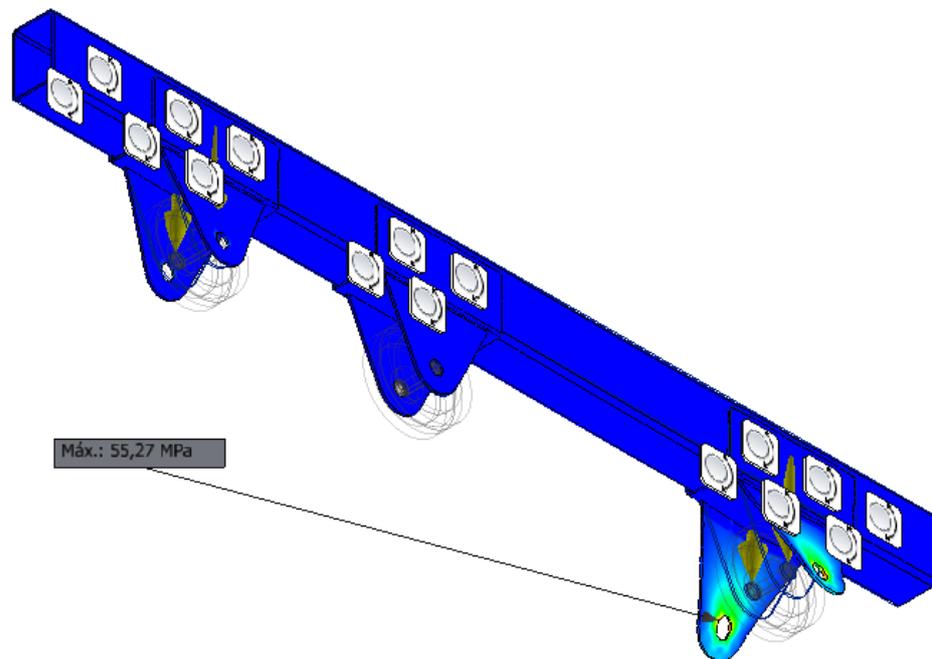
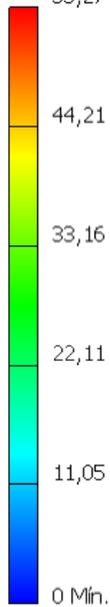


Ilustración 59 - Resultado FEA Perfil Superior: tensión de Von Mises

Tipo: Tensión de Von Mises

Unidad: MPa

06/08/2023, 10:06:51

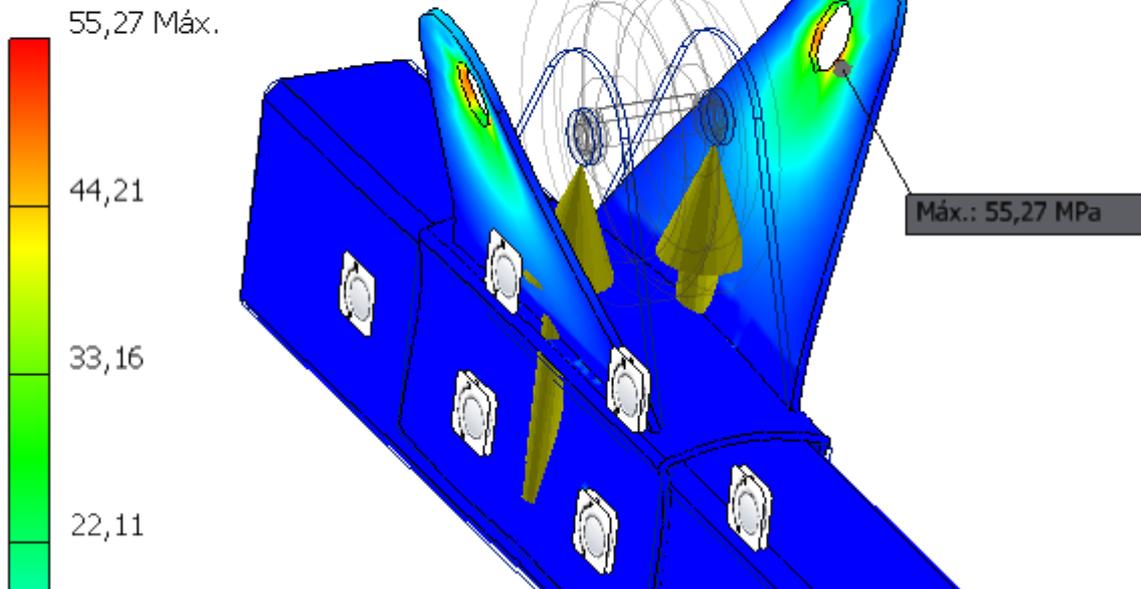


Ilustración 60 - Resultado FEA Perfil Superior: tensión de Von Mises

Tipo: Desplazamiento

Unidad: mm

06/08/2023, 9:59:55

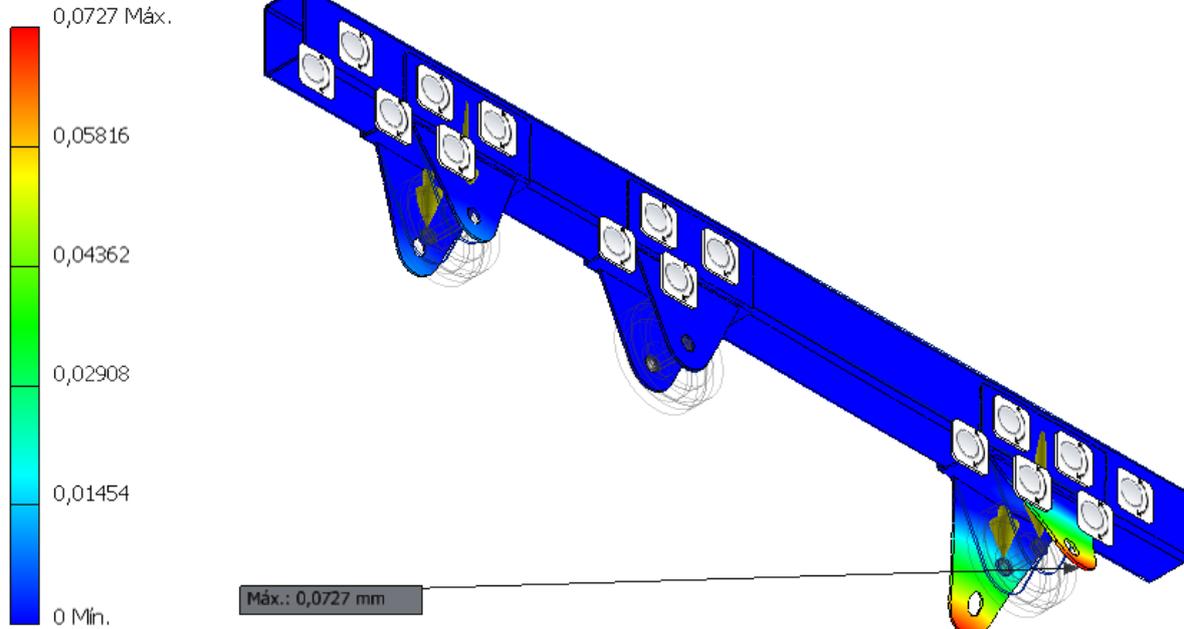


Ilustración 61 - Resultado FEA Perfil Superior: desplazamientos

Con los resultados obtenidos en cuanto a tensión de *Von Mises* y el desplazamiento, podemos asegurar que la estructura del rack cumple con sus condiciones de uso:

- La tensión máxima de *Von Mises* se da en el soporte de la barra (aluminio), siendo este de 55,27MPa. Se puede asegurar su cumplimiento, puesto que el límite elástico del acero inoxidable es de 170MPa y el límite de rotura es de 220MPa.
- El desplazamiento máximo es de 0,0727mm en el eje Y. Este desplazamiento es prácticamente insignificante, por lo que puede confirmarse que cumple en este aspecto.

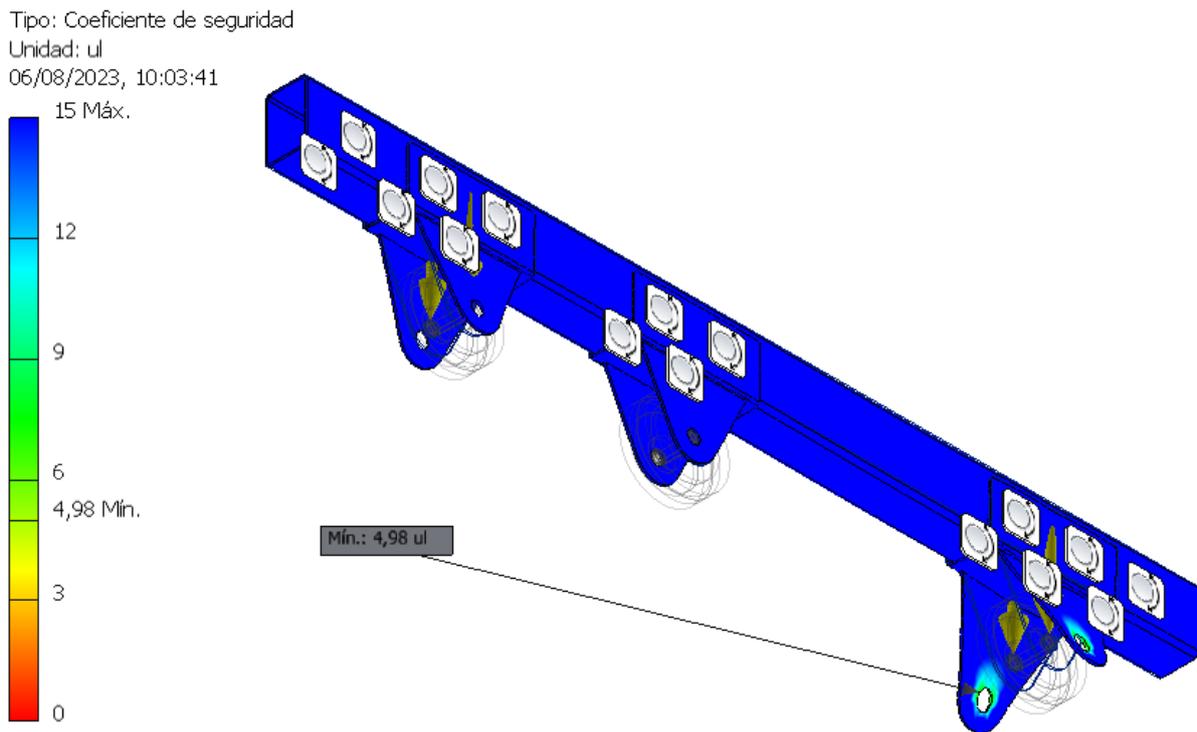


Ilustración 62 - Resultado FEA Perfil Superior: coeficiente de seguridad

Finalmente, obteniendo el resultado del coeficiente de seguridad, podemos confirmar que el perfil superior cumple con las condiciones de uso. Esto se debe a que su coeficiente de seguridad mínimo es de 4,98, siendo superior al límite marcado de 3.

En la Tabla 31 se muestra un resumen de los resultados obtenidos:

Tensión de Von Mises (MPa)	Desplazamiento (mm)	Coeficiente de seguridad	¿Cumple?
55,27	0,0727	4,98	Sí

Tabla 31 - Resumen FEA Perfil Superior

5. Parametrización del modelo

En el proceso de diseño de un modelo CAD, se recomienda hacer uso de ciertas variables numéricas que vayan asignadas a parámetros del modelo diseñado. Esto se realiza con el fin de poder modificar el diseño, en mayor o menor medida según el número de variables, de manera inmediata sin necesidad de dedicar más tiempo.

En el caso de esta estación de entrenamiento, se ha decidido parametrizar el modelo en su totalidad, ya que se trata de una geometría simple (perfiles rectos) y puede facilitar futuras adaptaciones o mejoras del diseño.

Estas variables serán creadas en un archivo de Excel, introduciendo el nombre de la variable sin espacios y su valor en la celda contigua, como se muestra en la Ilustración 63. Esta hoja de cálculo es vinculada a cada uno de los modelos CAD involucrados en el ensamblaje final, y en los propios subensamblajes. En el momento de realizar el diseño e introducir las dimensiones de las partes, se hace uso de estas variables. De esta manera, cuando se modifiquen en la hoja de cálculo, también se verá plasmada esta modificación en el modelo CAD.

	A	B	C	D	E
1	alturaE	2285			
2	profundidadE	880			
3	anchoE	630			
4	guia_pesosE	1500			
5	ancho_perfile	40			
6	largo_perfile	60			
7	espesor_perfile	2			
8	perfil_rack	50			
9	espesor_rack	2			

Ilustración 63 - Parámetros asignados al modelo CAD

Al tratarse de una estructura prismática rectangular, en un primer lugar se decidió tomar los parámetros de altura, anchura y profundidad, asignados a las siguientes variables:

- Altura = **alturaE**
- Anchura = **anchoE**
- Profundidad = **profundidadE**

El valor asignado a estas variables viene explicado en el apartado 3 de la Memoria.

De esta manera, se tiene control de los parámetros principales que afectan al diseño con el que se trabaja, al tener una forma de prisma rectangular. Sin embargo, el diseño es más complejo que esto, por lo que deben introducirse otros parámetros que ayuden facilitar las modificaciones del diseño y eviten pérdidas de tiempo, como se explica en el apartado 3 de la Memoria.

Por lo tanto, se decide tomar una serie de nuevas variables que puedan controlar otros parámetros del modelo. Estos son:

- Altura que va a tener toda la estructura que hace función de guía para los pesos elevados mediante las poleas = **guia_pesosE**. Este parámetro se puede comprender de manera visual en la Ilustración 64.

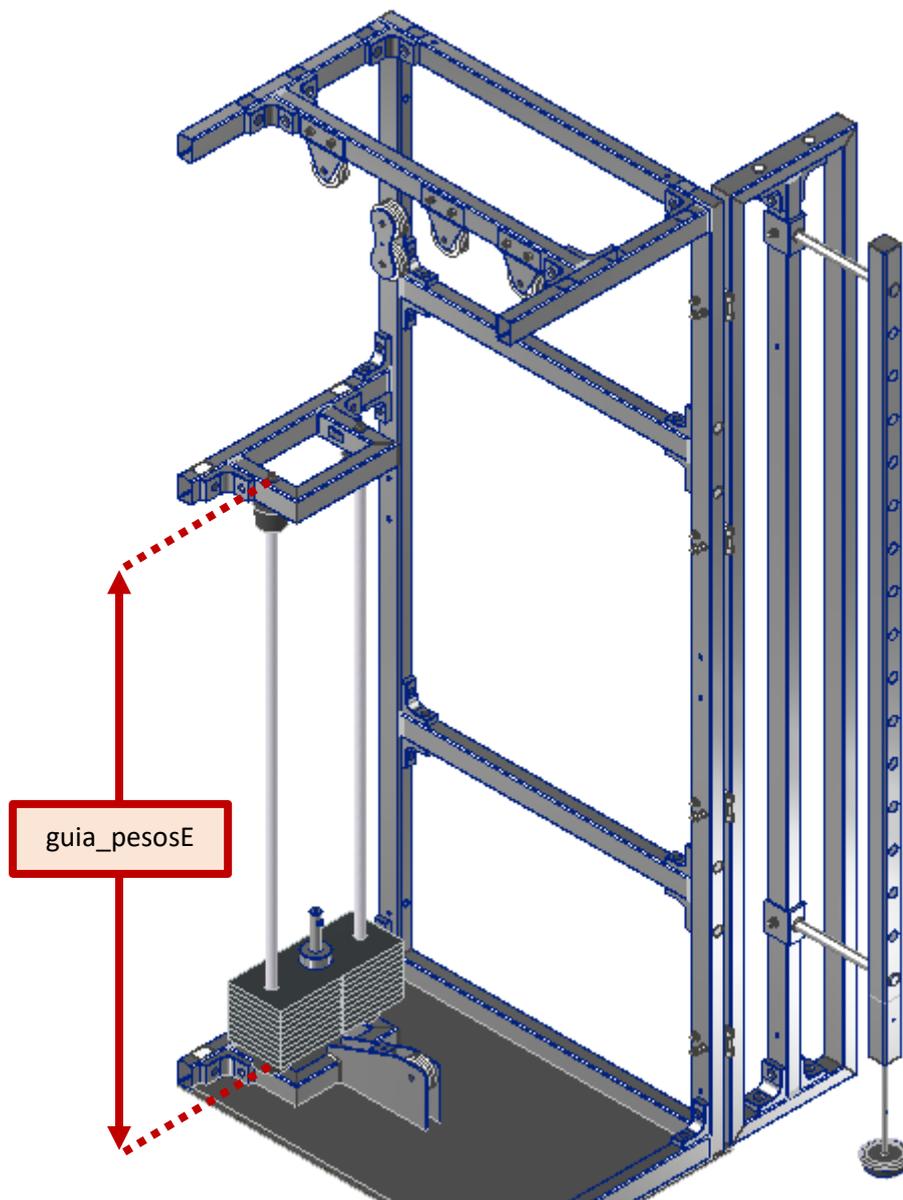


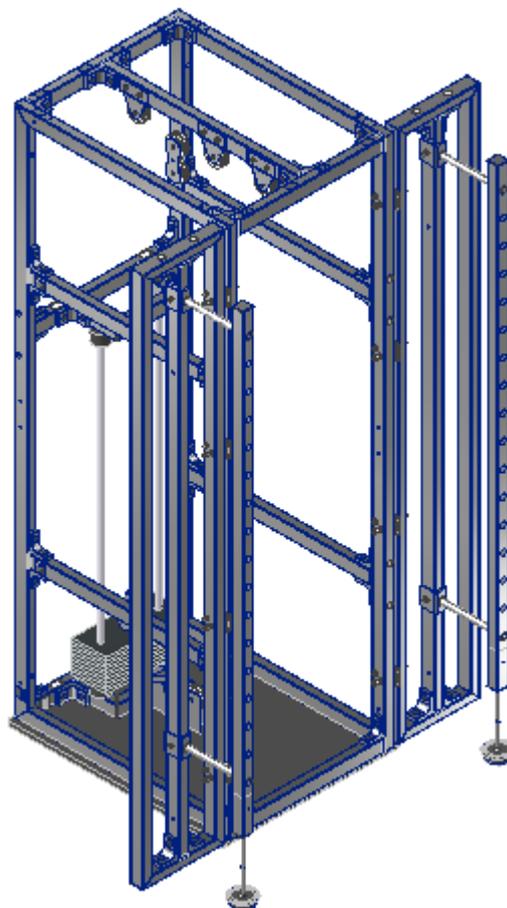
Ilustración 64 - Variable relacionada con la altura de la guía para las placas de pesos

- En cuanto a la sección de los perfiles que se emplean en la estructura, para poder minimizarla se han tomado como variables:
 - Longitud de la sección del perfil = **largo_perfile**
 - Anchura de la sección del perfil = **ancho_perfile**
 - Espesor del perfil = **espesor_perfile**

De esta manera, se ha podido ir comprobando los distintos tamaños de sección y espesor hasta llegar una aproximación, dentro de los perfiles estándar, al perfil mínimo con las condiciones geométricas, de uso y peso que debe cumplir el modelo.

- Finalmente, también se ha decidido tomar en variables los parámetros del perfil empleado en el rack, ya que este o debía ser necesariamente idéntico al que se emplee en la estructura del modelo:
 - Lado de la sección del perfil cuadrado del rack = **perfil_rack**
 - Espesor del perfil cuadrado del rack = **espesor_rack**

Con estas variables, directamente relacionadas con diferentes parámetros del modelo, se puede tener un control total sobre él a la hora de dimensionarlo y tener cierta facilidad para adaptaciones o mejoras que se consideren oportunas. Un ejemplo de uso de la parametrización del modelo es el que se puede observar en la Ilustración 65 e Ilustración 66.



	A	B
1	alturaE	2285
2	profundidadE	880
3	anchoE	630
4	guia_pesosE	1500
5	ancho_perfile	40
6	largo_perfile	60
7	espesor_perfile	2
8	perfil_rack	50
9	espesor_rack	2

Ilustración 65 - Ejemplo uso parametrización: valores iniciales (los obtenidos como diseño final)

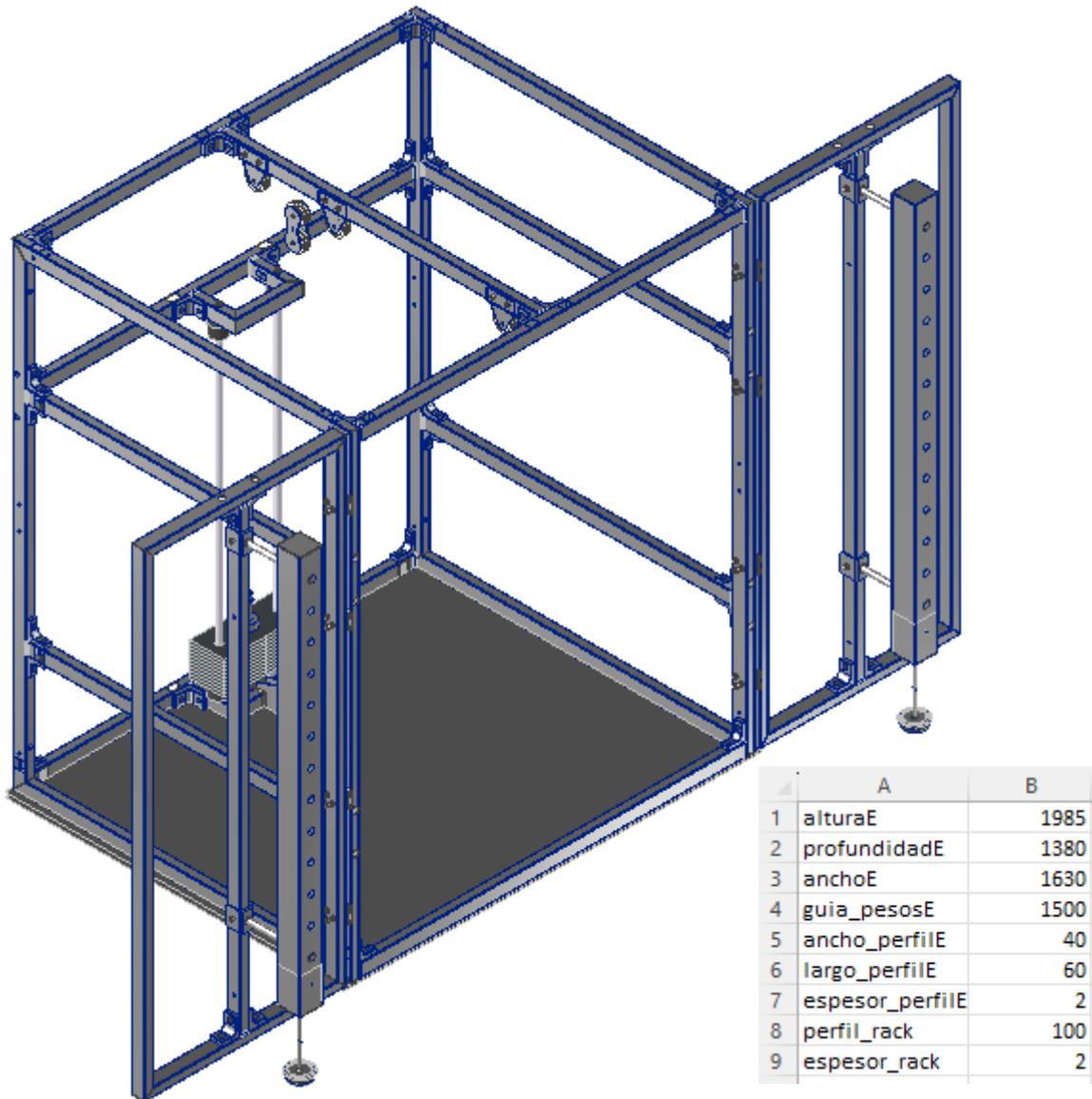


Ilustración 66 - Ejemplo uso parametrización: valores modificados

Se puede observar como la estructura mantiene su configuración y las distintas partes se adaptan a los cambios introducidos en las variables asociadas a los parámetros seleccionados. En este caso, se observa en la diferencia de ambas tablas de variables, que se ha reducido la altura y se ha aumentado la profundidad, la anchura y la sección del perfil del rack.

Observando los resultados, confirmamos que la parametrización del modelo es correcta.



III Presupuesto



Presupuesto

1. Introducción	89
2. Mano de obra	89
3. Licencias de software	89
4. Materiales.....	90
4.1. Estructura principal.....	90
4.2. Puertas.....	90
4.3. Estructura de pesos.....	91
4.4. Racks.....	91
4.5. Accesorios	92
4.6. Tornillería	92
5. Presupuesto final	93

1. Introducción

Para obtener el presupuesto final del proyecto, se va a detallar el coste de la mano de obra, las licencias de software y de los materiales.

2. Mano de obra

Se debe contemplar el trabajo de todas las fases por las que ha pasado el proyecto. En este caso, se diferencia entre:

- Fase de diseño: considerando un coste de 25€/h, la necesidad de 1 ingeniero y un tiempo de trabajo estimado de 32 horas.
- Fase de cálculos y modelado: considerando un coste de 25€/h, la necesidad de 1 ingeniero y un tiempo de trabajo estimado de 150 horas.
- Fase de dibujo de planos: considerando un coste de 20€/h, la necesidad de 1 ingeniero/delineante y un tiempo estimado de 16 horas.
- Fase de redacción de la memoria: considerando un coste de 20€/h, la necesidad de 1 ingeniero/delineante y un tiempo estimado de 32 horas.

En la siguiente tabla, se observa un resumen del coste de mano de obra:

Código	Concepto	Tiempo de trabajo (hora)	Coste por unidad de tiempo (€/hora)	Coste (€)
O1	Diseño	32	25	800 €
O2	Cálculo y modelado	150	25	3.750 €
O3	Planos	16	20	320 €
O4	Redacción memoria	32	20	640 €
Total		230	90	5.510 €

Tabla 32 - Presupuesto de mano de obra

3. Licencias de software

Durante la realización del proyecto se ha hecho uso de tres softwares:

- *Autodesk Inventor*: se emplea en el diseño, cálculo y modelado de la estación de entrenamiento.
- *Microsoft Excel*: se emplea en la parametrización del diseño, en las calculadoras creadas para las poleas y las uniones roscadas y el presupuesto.
- *Microsoft Word*: se emplea en la redacción de la memoria.

Esta serie de softwares tienen un coste, y debe contemplarse en el presupuesto del proyecto. El coste de las licencias de estos softwares es de:

Código	Concepto	Coste (€)
S1	Autodesk Inventor	2.886 €
S2	Microsoft Office Empresa	300 €
Total		3.186 €

Tabla 33 - Presupuesto de licencias de software

4. Materiales

Las partes estándar y mecanizadas forman el grueso del presupuesto total del proyecto. Para el recuento global de materiales, se va a dividir entre estructura principal, puertas, estructura de pesas y poleas, accesorios y tornillería.

Los materiales son asignados a un código, el cual queda identificado en los distintos planos del proyecto.

4.1. Estructura principal

Código	Concepto	Unidades (uds)	Longitud (m)	Coste unitario (€/uds)	Coste por longitud (€/m)	Coste (€)
M101	Lateral Estructura Principal	2	-	75	-	150,00 €
M102	Perfil Rectangular Tubular DIN59410 (Lateral)	4	0,8	-	17,5	56,00 €
M103	Perfil Rectangular Tubular DIN59410 (Superior Lateral)	2	0,62	-	17,5	21,70 €
M104	Perfil Rectangular Tubular DIN59410 (Superior Central)	1	0,62	-	17,5	10,85 €
M105	Perfil Rectangular Tubular DIN59410 (Inferior Lateral)	2	0,62	-	17,5	21,70 €
M106	Escuadra Unión Tipo 1 M10	22	-	2	-	44,00 €
M107	Escuadra Unión Tipo 2 M10	8	-	3	-	24,00 €
M108	Unión Caucho	10	-	1,5	-	15,00 €
Total		51				343,25 €

Tabla 34 - Coste de la Estructura Principal

4.2. Puertas

Código	Concepto	Unidades (uds)	Longitud (m)	Coste unitario (€/uds)	Coste por longitud (€/m)	Coste (€)
M201	Cuadro Principal	2	-	45	-	90,00 €
M202	Perfil Rectangular Tubular DIN59410 (Central)	2	2,245	-	17,5	78,58 €
M203	Escuadra Unión Tipo 2 M10	8	-	3	-	24,00 €
M204	Unión Caucho	4	-	1,5	-	6,00 €
Total		16				198,58 €

Tabla 35 - Coste de las Puertas

4.3. Estructura de pesos

Código	Concepto	Unidades (uds)	Longitud (m)	Coste unitario (€/uds)	Coste por longitud (€/m)	Coste (€)
M301	Poleas Superiores	3	-	8	-	24,00 €
M302	Polea Intermedia	1	-	5	-	5,00 €
M303	Polea Baja	1	-	15	-	15,00 €
M304	Placa de Pesos Calibrados (5kg)	10	-	5	-	50,00 €
M305	Guias Perfil Circular D25	2	1,5	-	6	18,00 €
M306	Perfil Rectangular Tubular DIN59410 (Superior)	1	0,62	-	17,5	10,85 €
M307	Conjunto Perfiles Rectangular Tubular DIN59410 en U	2	-	15	-	30,00 €
M308	Escuadra Unión Tipo 1 M10	4	-	2	-	8,00 €
M309	Topes de Caucho	4	-	5	-	20,00 €
M310	Seccionador de Placas	1	-	25	-	25,00 €
M311	Cable Poleas	2	-	4	-	8,00 €
Total		31				213,85 €

Tabla 36 - Coste de la Estructura de pesos

4.4. Racks

Código	Concepto	Unidades (uds)	Longitud (m)	Coste unitario (€/uds)	Coste por longitud (€/m)	Coste (€)
M401	Perfil Rack Mecanizado 50x50 DIN59410	2	2	-	12,5	50,00 €
M402	Perfil Circular Macizo D25	4	0,283	-	5	5,66 €
M403	Abrazadera en U	4	-	4	-	16,00 €
M404	Tapa Perfil Superior	2	-	1,5	-	3,00 €
M405	Tapa Perfil Inferior	2	-	1,5	-	3,00 €
M406	Guia Caucho Interna	2	-	7	-	14,00 €
M407	Pata Rack	2	-	15	-	30,00 €
M408	Base Caucho Pata Rack	2	-	5	-	10,00 €
Total		20				131,66 €

Tabla 37 - Coste de los Racks

4.5. Accesorios

Código	Concepto	Unidades (uds)	Longitud (m)	Coste unitario (€/uds)	Coste por longitud (€/m)	Coste (€)
M501	Bisagras Pesadas	8	-	8	-	64,00 €
M502	Suelo de Caucho	1	-	20	-	20,00 €
M503	Sujeción Barra Olímpica	2	-	25	-	50,00 €
M504	Tapas Rectangulares	16	-	0,75	-	12,00 €
M505	Tapas Circulares	8	-	0,25	-	2,00 €
M506	Carenado Lateral	4	-	15	-	60,00 €
M507	Carenado Trasero	2	-	15	-	30,00 €
M508	Carenado Superior	2	-	10	-	20,00 €
M509	Carenado Puertas	2	-	27,5	-	55,00 €
Total		45				313,00 €

Tabla 38 - Coste de los Accesorios

4.6. Tornillería

Código	Concepto	Unidades (uds)	Longitud (m)	Coste unitario (€/uds)	Coste por longitud (€/m)	Coste (€)
M601	Perno AS1420 M10x16	76	-	0,1	-	7,60 €
M602	Perno AS1420 M10x20	2	-	0,12	-	0,24 €
M603	Perno Avellanado M8x60	48	-	0,13	-	6,24 €
M604	Perno AS1420 M10x65	4	-	0,15	-	0,60 €
M605	Perno AS1420 M10x60	4	-	0,15	-	0,60 €
M606	Perno AS1420 M10x55	28	-	0,14	-	3,92 €
M607	Perno AS1420 M10x120	4	-	0,18	-	0,72 €
M608	Arandela Plana 8N	48	-	0,04	-	1,92 €
M609	Arandela Plana 10N	88	-	0,08	-	7,04 €
M610	Arandela Plana 16N	30	-	0,1	-	3,00 €
M611	Tuerca Ciega M8	48	-	0,1	-	4,80 €
M612	Tuerca Ciega M10	34	-	0,12	-	4,08 €
M613	Tuerca M10	82	-	0,06	-	4,92 €
Total		496				45,68 €

Tabla 39 - Coste de las Tornillería

Obteniendo así un coste total de materiales de:

Código	Concepto	Coste (€)
M1	Materiales Estructura Principal	343,25 €
M2	Materiales Puertas	198,58 €
M3	Materiales Estructura Pesos	213,85 €
M4	Materiales Racks	131,66 €
M5	Materiales Accesorios	313,00 €
M6	Materiales Tornillería	45,68 €
Total		1.246,02 €

Tabla 40 - Coste total de Materiales

5. Presupuesto final

Tras contemplar los distintos costes que tiene este proyecto, de una estación de entrenamiento personal, se ha llegado al siguiente monto:

Código	Concepto	Coste (€)
O	Mano de Obra	5.510,00 €
S	Licencias de Software	3.186,00 €
M1	Materiales Estructura Principal	343,25 €
M2	Materiales Puertas	198,58 €
M3	Materiales Estructura Pesos	213,85 €
M4	Materiales Racks	131,66 €
M5	Materiales Accesorios	313,00 €
M6	Materiales Tornillería	45,68 €
X	Costes Indirectos (2%)	198,84 €
Total		10.140,86 €

Tabla 41 - Presupuesto Total sin IVA

Contemplando el impuesto sobre el valor añadido:

Código	Concepto	Coste (€)
Total sin IVA	Proyecto en bruto	10.140,86 €
IVA (21%)	IVA	2.129,58 €
Total		12.270,44 €

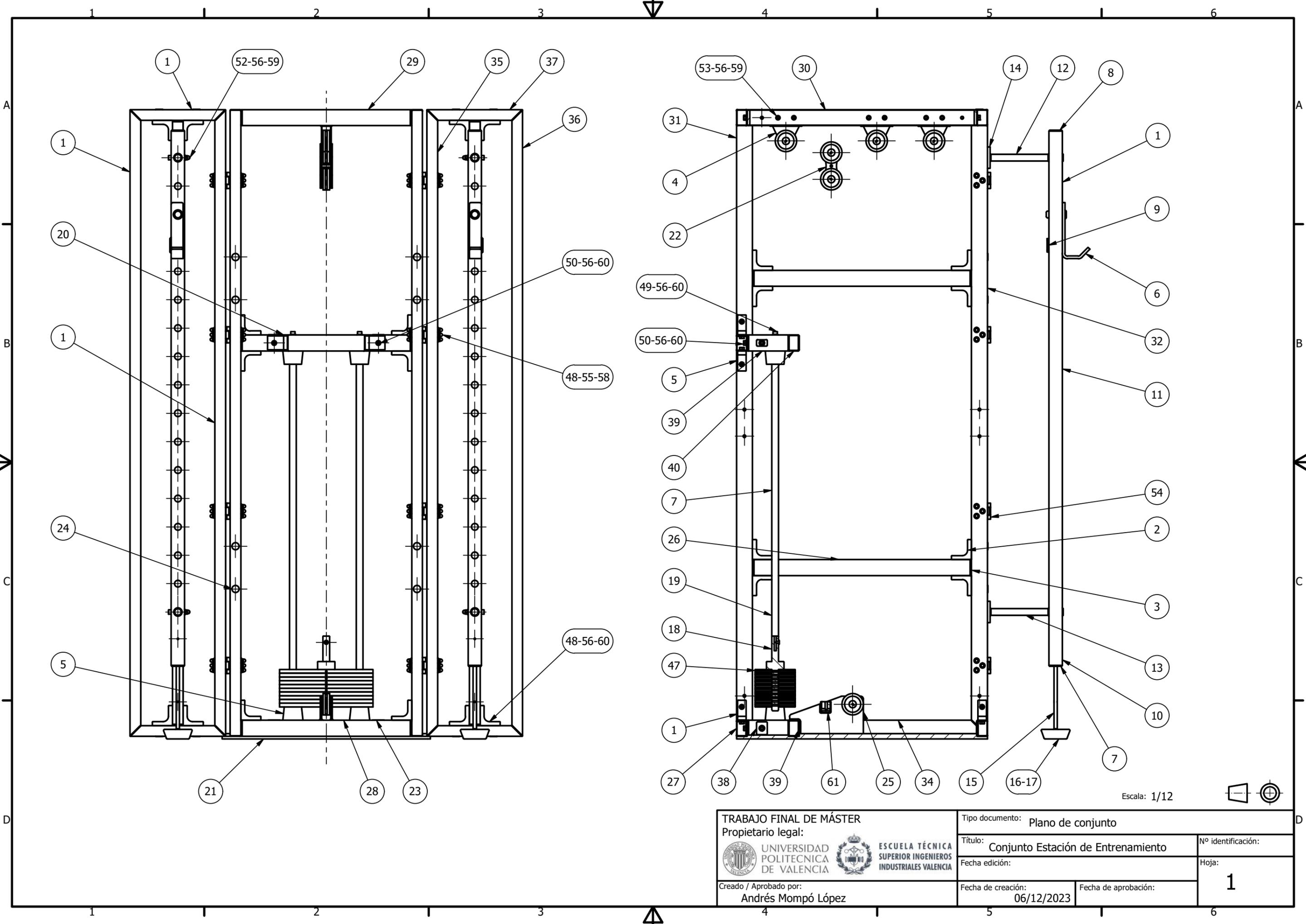
Tabla 42 - Presupuesto Total del Proyecto

Tras aplicar los impuestos, el coste total del proyecto asciende hasta los:

DOCE MIL DOSCIENTOS SETENTA EUROS CON CUARENTA Y CUATRO CÉNTIMOS.

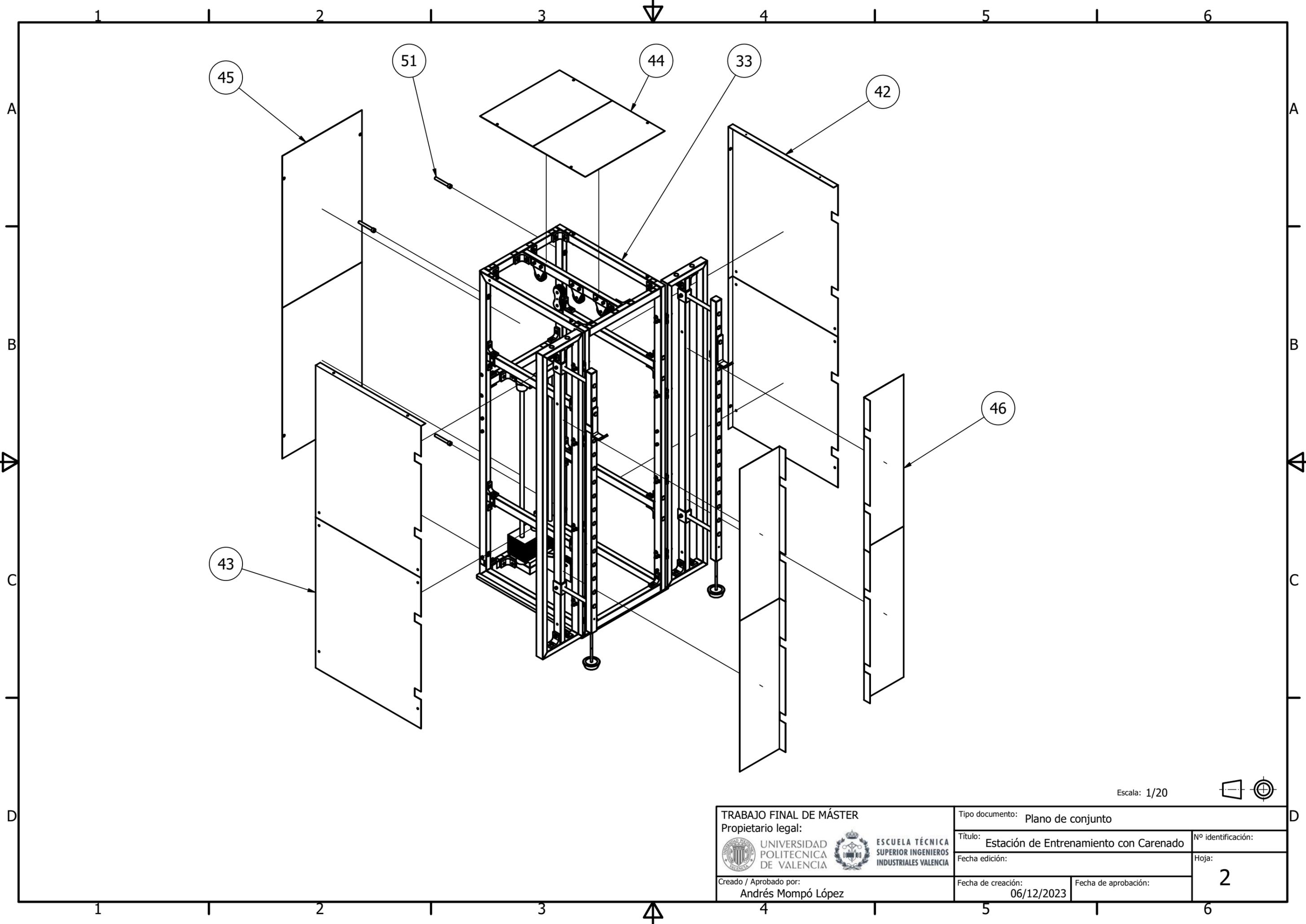


IV Planos

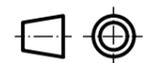


Escala: 1/12

TRABAJO FINAL DE MÁSTER Propietario legal: <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA </div> <div style="text-align: center;"> ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA </div> </div>		Tipo documento: Plano de conjunto	
Creado / Aprobado por: Andrés Mompó López		Título: Conjunto Estación de Entrenamiento	Nº identificación:
Fecha edición:		Fecha de creación: 06/12/2023	Hoja: 1
Fecha de aprobación:			



Escala: 1/20

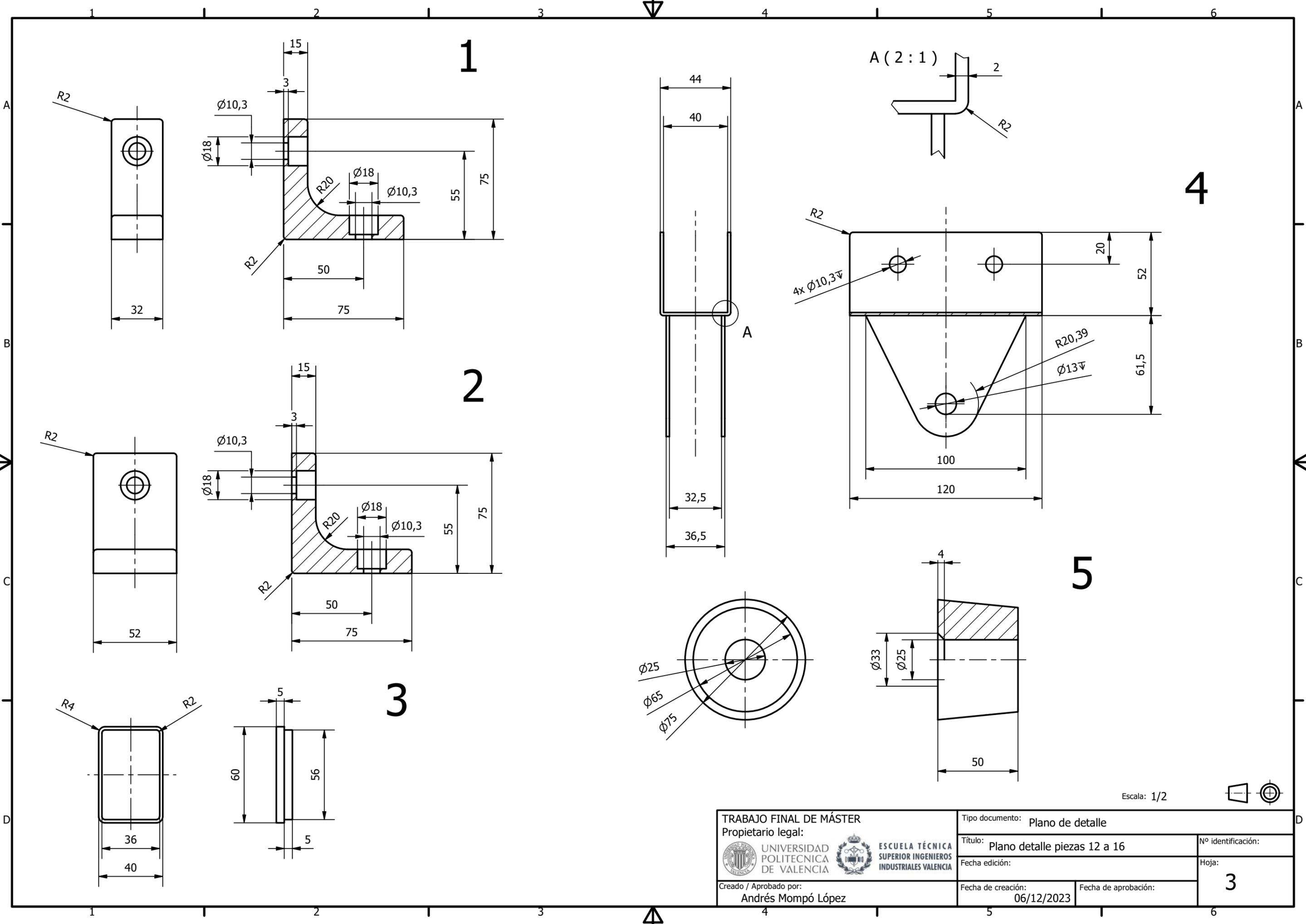


TRABAJO FINAL DE MÁSTER Propietario legal:		Tipo documento: Plano de conjunto	
 UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA		 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA	
Creado / Aprobado por: Andrés Mompó López		Título: Estación de Entrenamiento con Carenado	Nº identificación:
		Fecha edición:	Hoja:
		Fecha de creación: 06/12/2023	Fecha de aprobación:
		2	

LISTA DE PIEZAS		
MARCA	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	26	Escuadra Tipo 1
2	16	Escuadra Tipo 2
3	14	Unión Caucho
4	3	Fijación Polea Superior
5	4	Soporte Caucho
6	2	Frontal Sujeción barra
7	2	Tapa Inferior Rack
8	2	Tapa Superior Rack
9	2	Lateral Sujeción Barra
10	2	Caucho Interior Rack
11	2	Rack
12	2	Perfil Tubular Rack Superior
13	2	Perfil Tubular Rack Inferior
14	4	Abrazadera Rack
15	2	Perfil Tubular Pata Rack
16	2	Pata Rack
17	2	Funda Caucho Pata Rack
18	1	Eje Gancho Placas
19	2	Guia de Pesos
20	1	Perfil Superior Pesos 60x40x2
21	1	Suelo Caucho
22	1	Polea Intermedia
23	16	Tapa Tipo 1
24	8	Tapa Tipo 2
25	1	Estructura Polea Baja
26	4	Perfil Lateral 60x40x2
27	1	Perfil Inferior Trasero 60x40x2
28	1	Perfil Inferior Frontal 60x40x2
29	2	Perfil Superior 60x40x2
30	1	Perfil Superior Poleas 60x40x2
31	2	Lateral Perfil Izquierdo 60x40x2
32	2	Lateral Perfil Derecho 60x40x2
33	2	Lateral Perfil Superior 60x40x2
34	2	Lateral Perfil Inferior 60x40x2
35	2	Puerta Perfil Izquierdo 60x40x2
36	2	Puerta Perfil Inferior 60x40x2
37	2	Puerta Perfil Superior 60x40x2
38	2	Estructura Inferior Pesos Perfil Lateral 60x40x2
39	1	Estructura Inferior Pesos Perfil Central 60x40x2
40	2	Estructura Superior Pesos Perfil Lateral 60x40x2
41	1	Estructura Superior Pesos Perfil Central 60x40x2
42	2	Carenado Lateral Superior
43	2	Carenado Lateral Inferior
44	2	Carenado Superior
45	2	Carenado Trasero
46	2	Carenado Puerta
47	10	Placas Pesos 5kg
48	76	Perno AS1420 M10x16
49	2	Perno AS1420 M10x20
50	48	Perno Avellanado M8x60
51	4	Perno AS1420 M16x120
52	4	Perno AS1420 M10x60
53	28	Perno AS1420 M10x55
54	8	Bisagra Pesada 100kg
55	48	Arandela Plana 8N
56	88	Arandela Plana 10N
57	30	Arandela Plana 16N
58	48	Tuerca Ciega M8
59	34	Tuerca Ciega M10
60	82	Tuerca M10
61	1	Sujeción Cable Poleas

Escala:

TRABAJO FINAL DE MÁSTER Propietario legal: <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA </div> <div style="text-align: center;"> ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA </div> </div>		Tipo documento: Plano de conjunto	
Creado / Aprobado por: Andrés Mompó López		Título: Lista de Piezas	Nº identificación:
		Fecha edición:	Hoja:
		Fecha de creación: 06/12/2023	Fecha de aprobación:
		2.2	



1

2

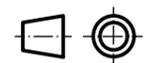
3

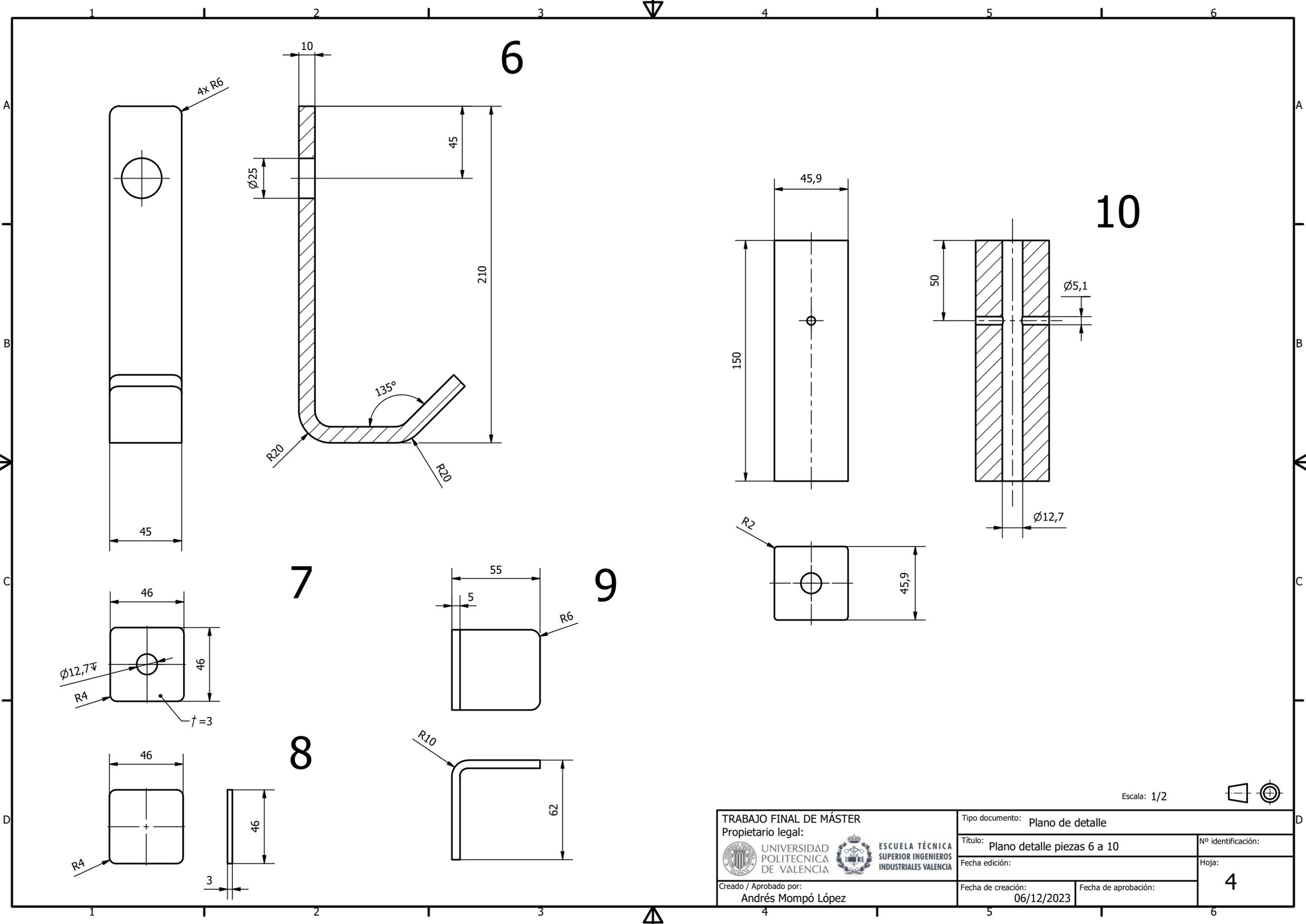
4

5

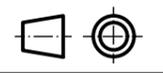
Escala: 1/2

TRABAJO FINAL DE MÁSTER Propietario legal:  UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA		Tipo documento: Plano de detalle Título: Plano detalle piezas 12 a 16 Fecha edición: Fecha de creación: 06/12/2023		Nº identificación: Hoja: 3
Creado / Aprobado por: Andrés Mompó López		Fecha de aprobación:		

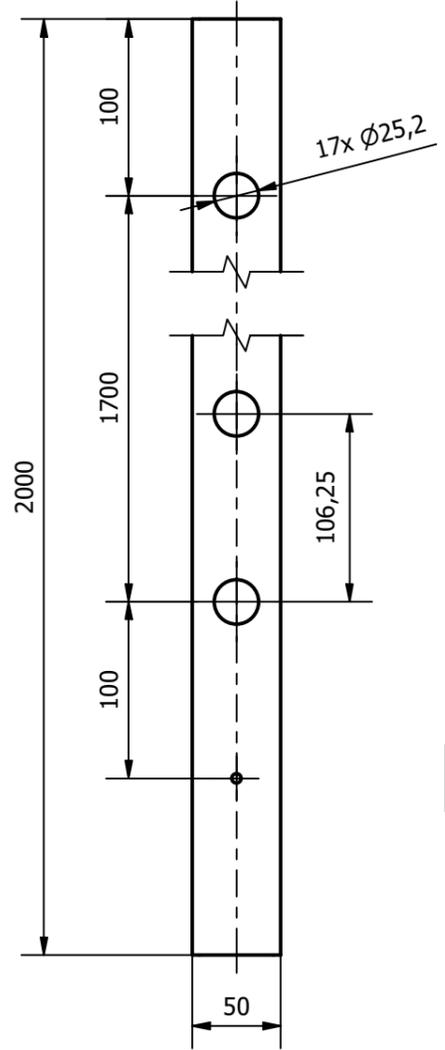




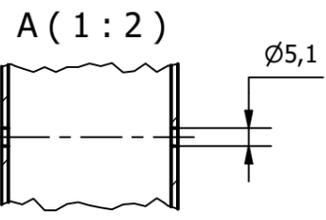
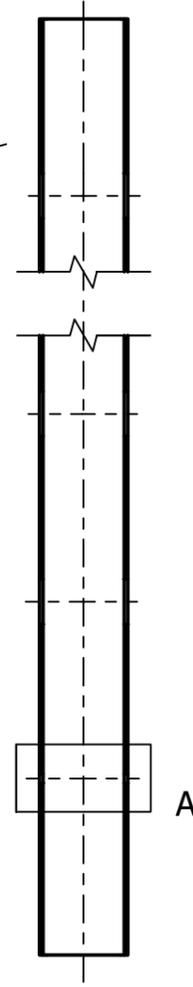
Escala: 1/2



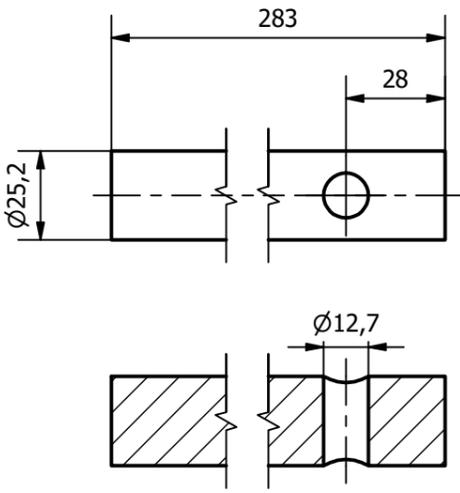
TRABAJO FINAL DE MÁSTER Propietario legal:  UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA		Tipo documento: Plano de detalle Título: Plano detalle piezas 6 a 10 Fecha edición:		Nº identificación: Hoja:	
Creado / Aprobado por: Andrés Mompó López		Fecha de creación: 06/12/2023		Fecha de aprobación: 4	



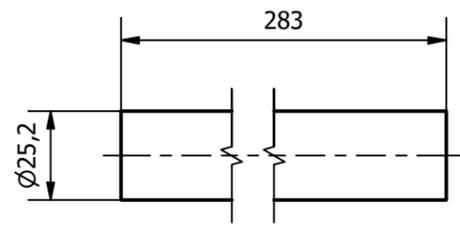
11
Escala: 1:4



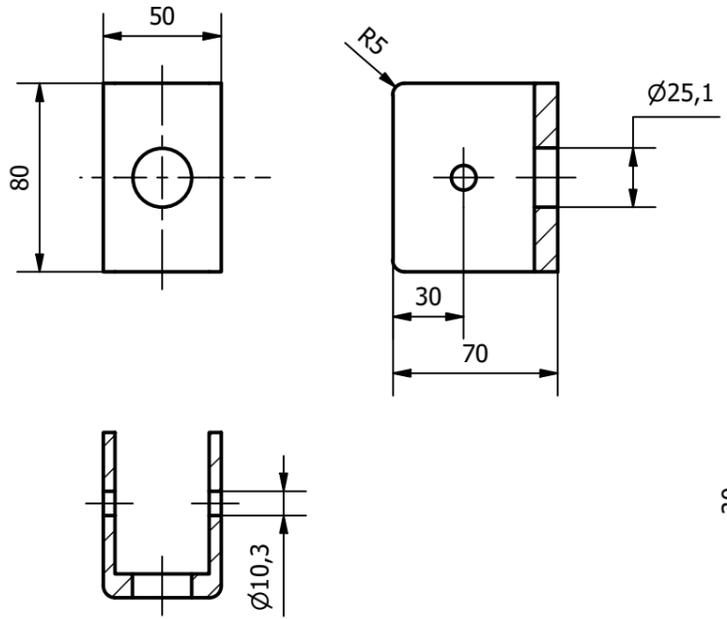
13
Escala: 1:2



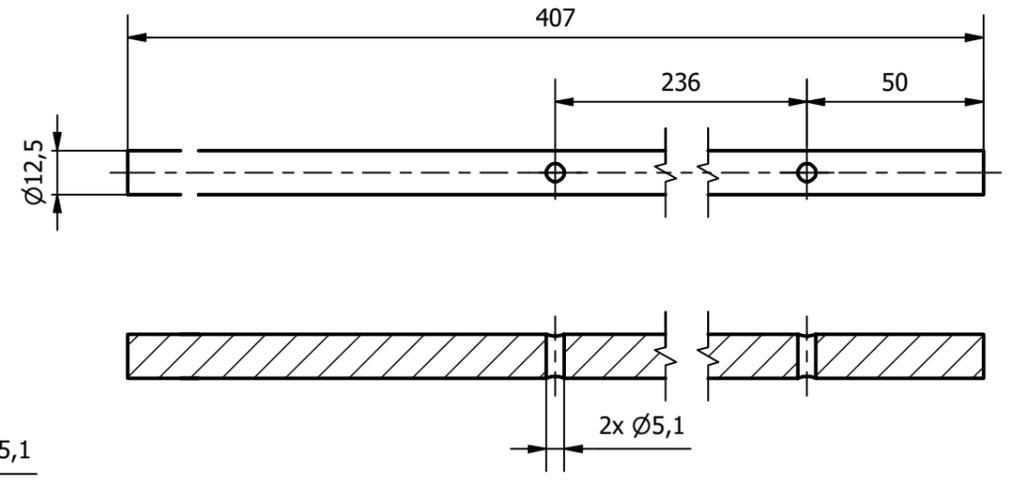
12
Escala: 1:2



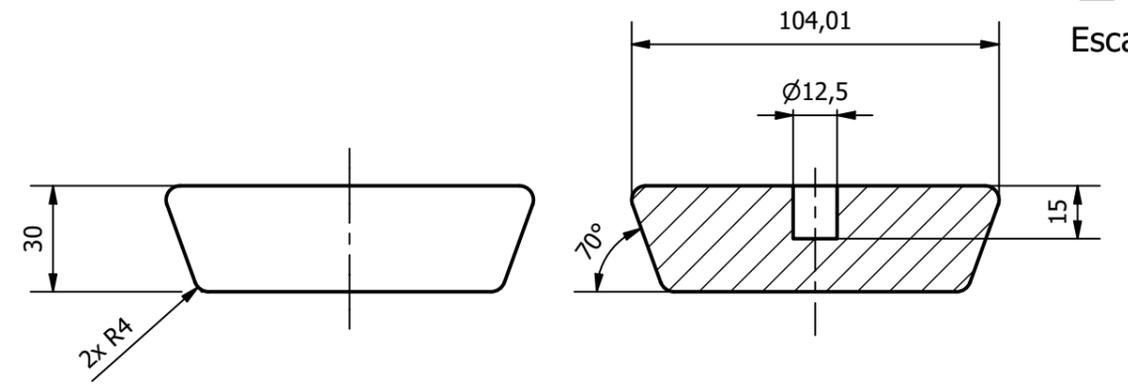
14
Escala: 1:3



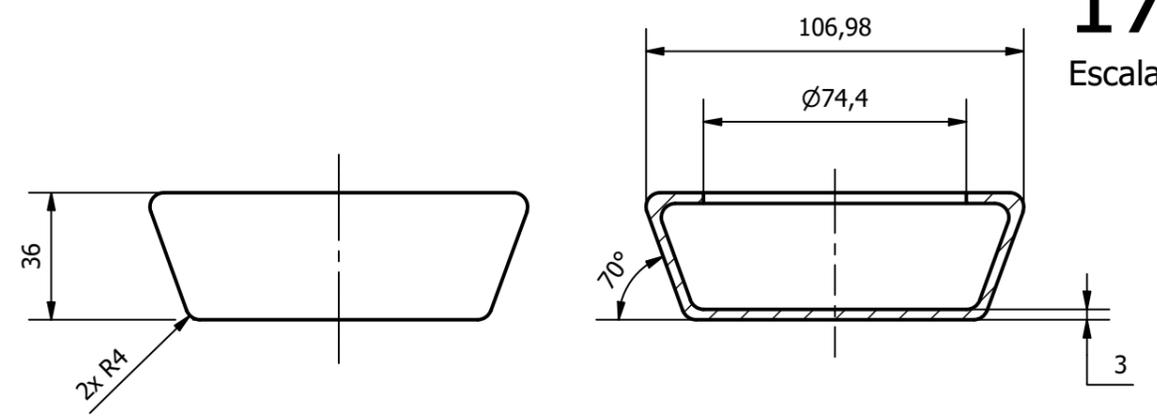
15
Escala: 1:2



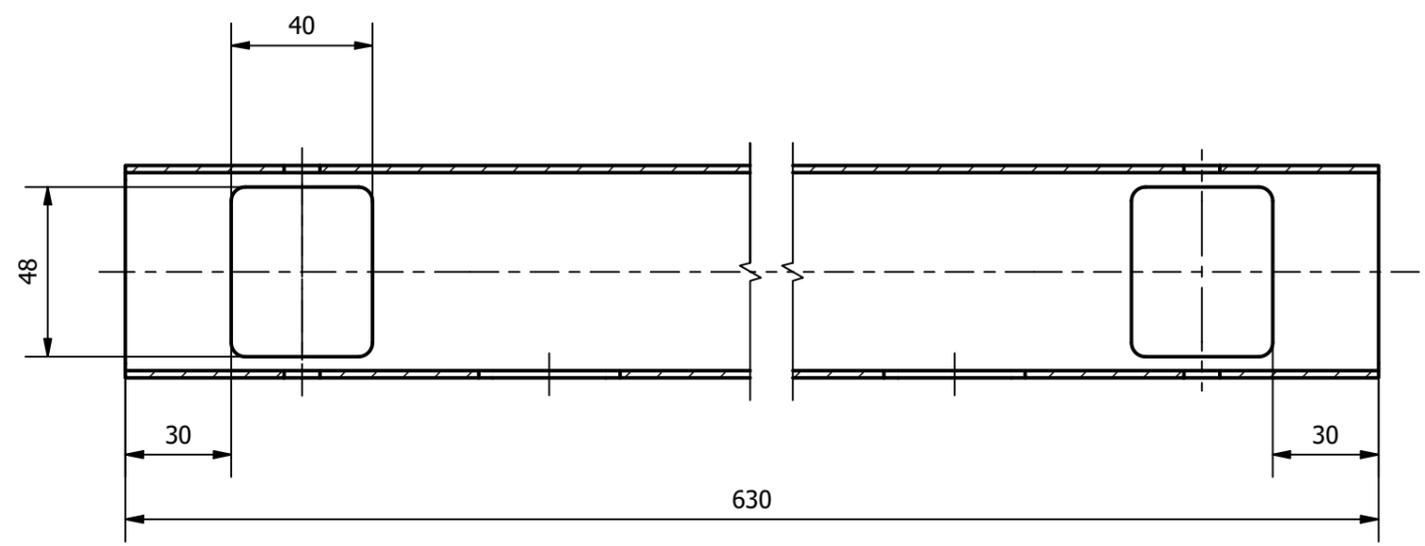
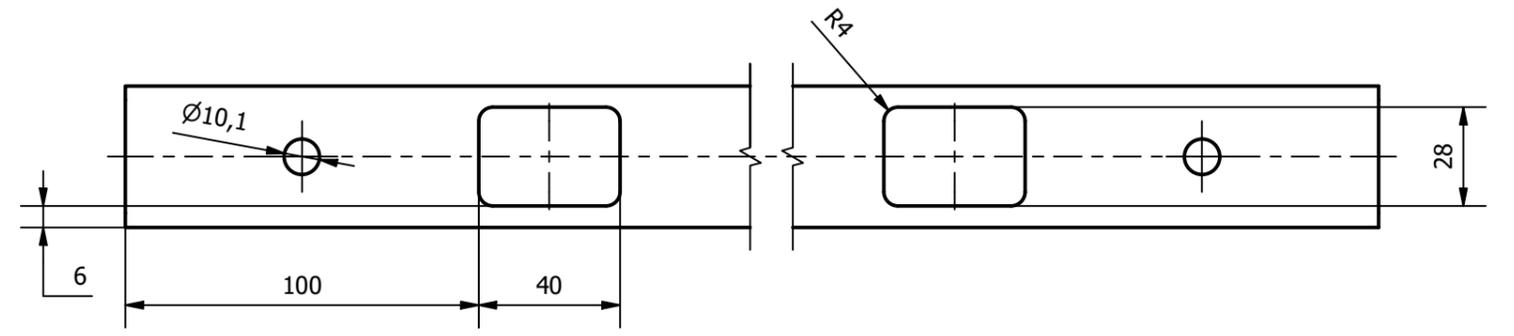
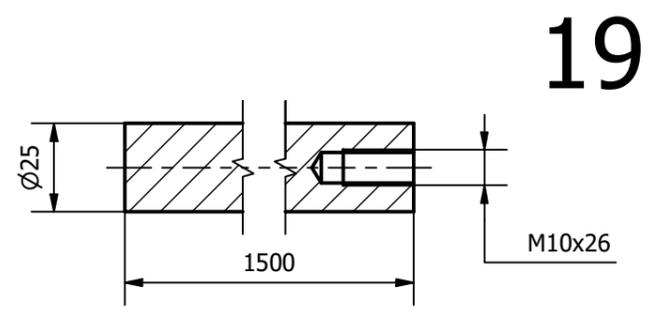
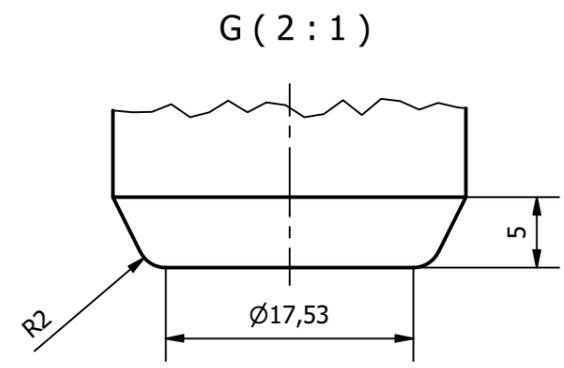
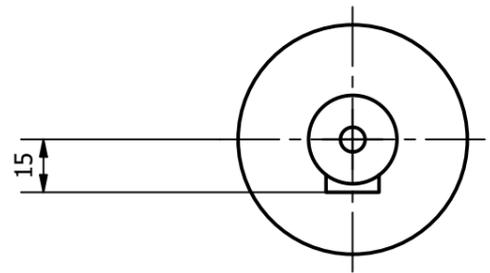
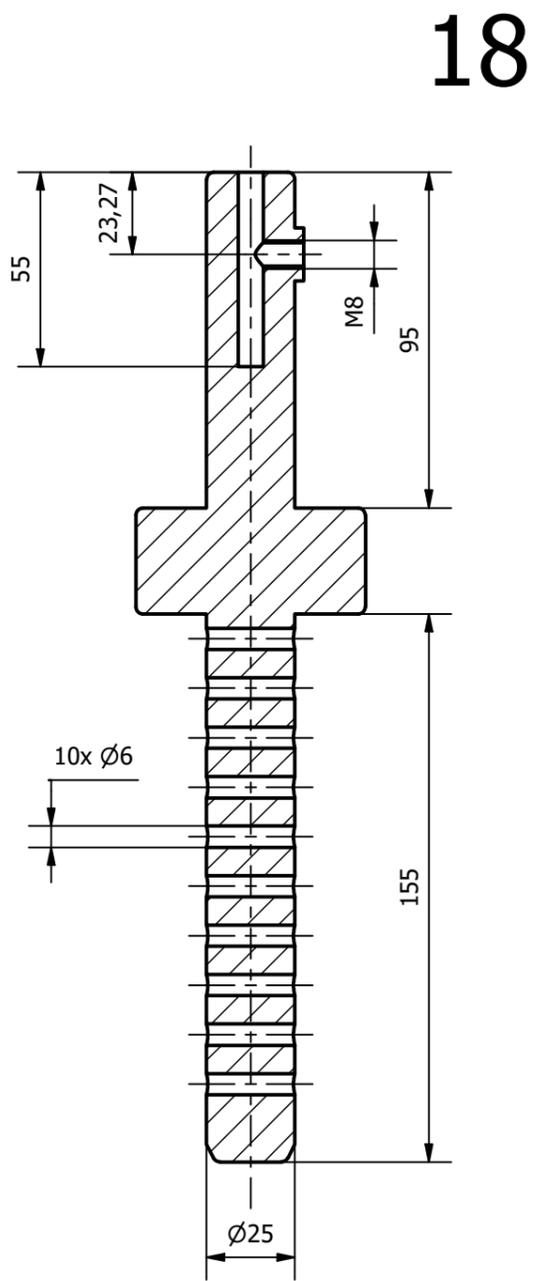
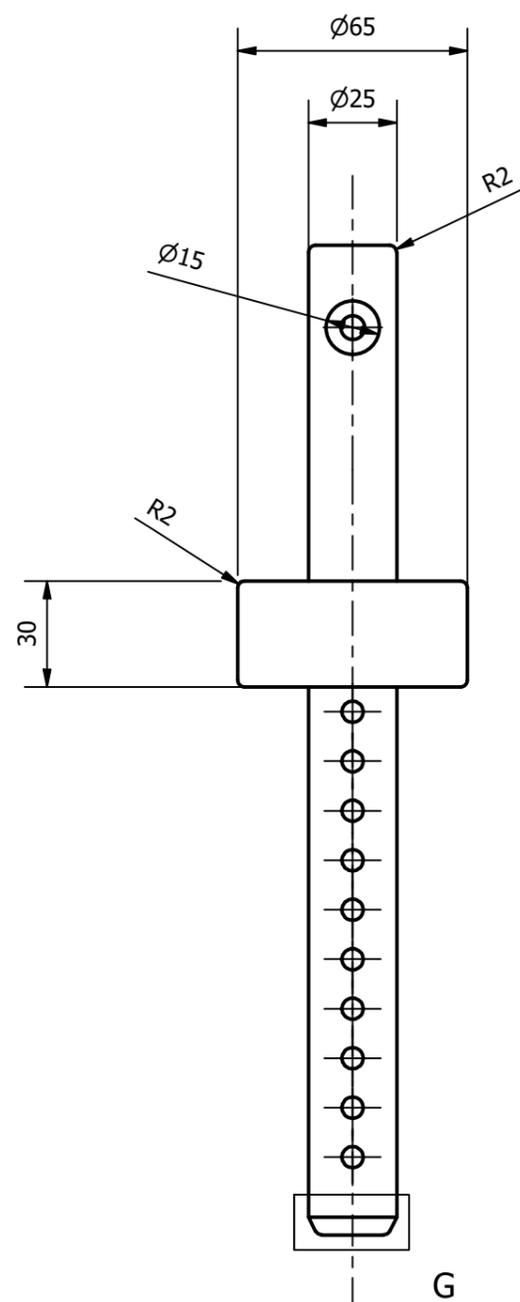
16
Escala: 1:2



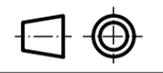
17
Escala: 1:2



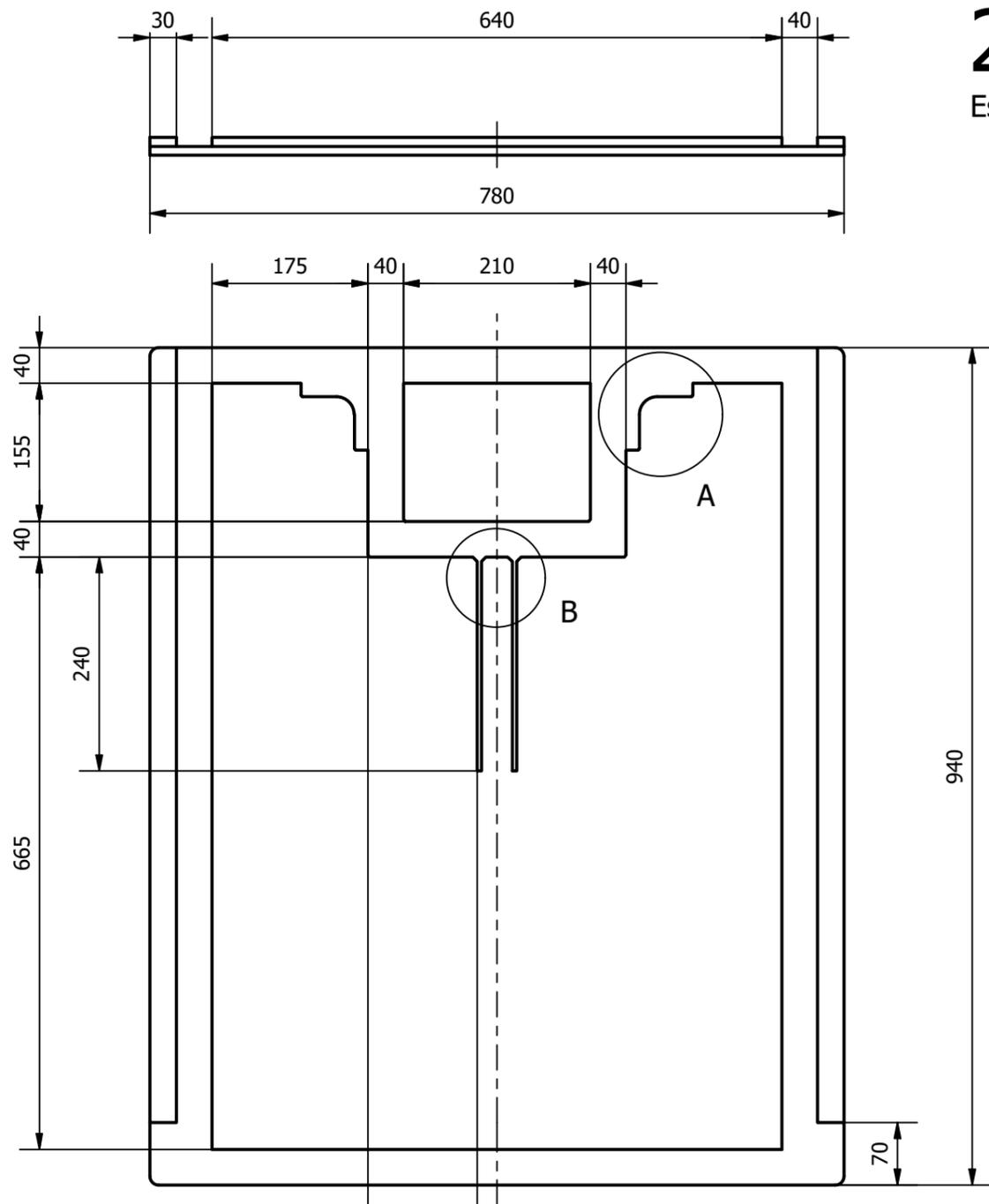
TRABAJO FINAL DE MÁSTER Propietario legal:  UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA		Tipo documento: Plano de detalle Título: Plano detalle piezas 11 a 17 Fecha edición: Fecha de creación: 06/12/2023		Nº identificación: Hoja: 5
Creado / Aprobado por: Andrés Mompó López		Fecha de aprobación:		



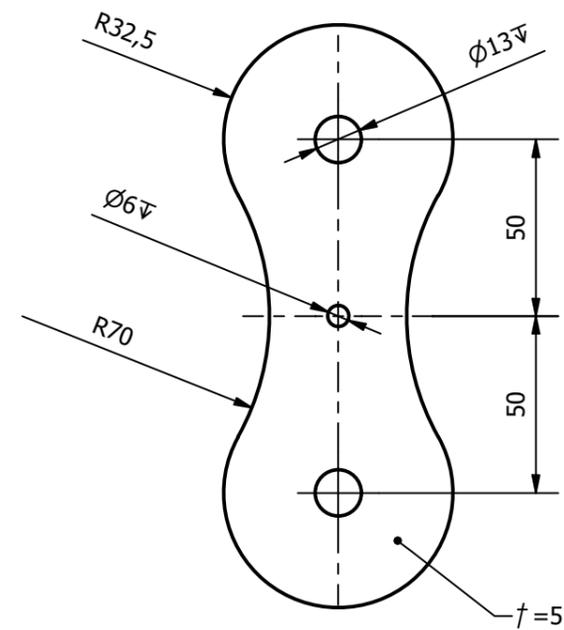
Escala: 1/2



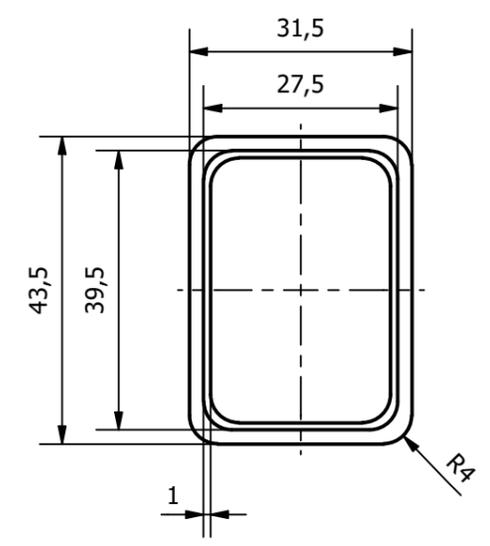
TRABAJO FINAL DE MÁSTER Propietario legal:  UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA		Tipo documento: Plano de detalle Título: Gancho Eje, Guia Pesos y Perfil Superior Fecha edición:		Nº identificación: Hoja:	
Creado / Aprobado por: Andrés Mompó López		Fecha de creación: 06/12/2023		Fecha de aprobación: 6	



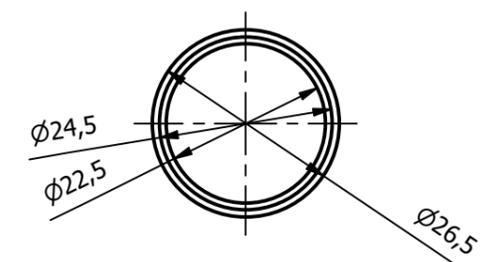
21
Escala: 1:7



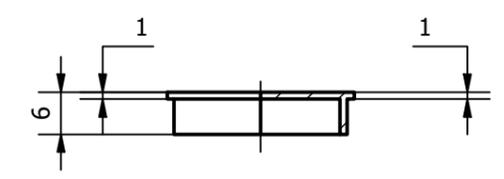
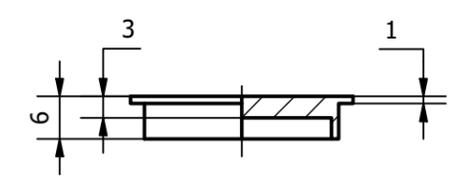
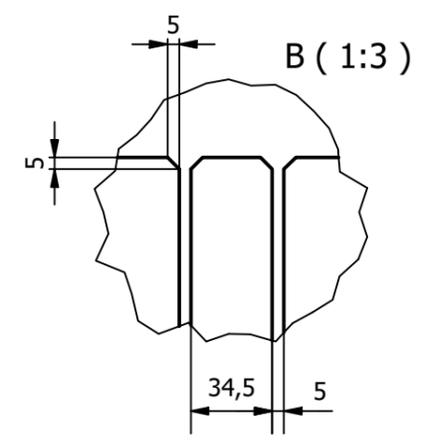
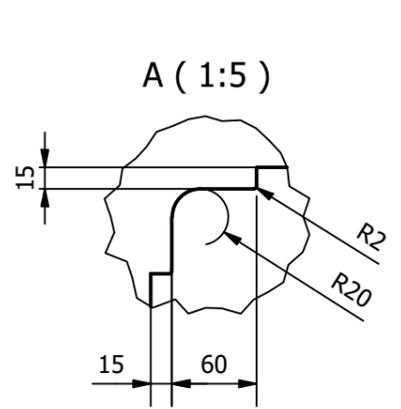
22
Escala: 1:3



23
Escala: 1:1



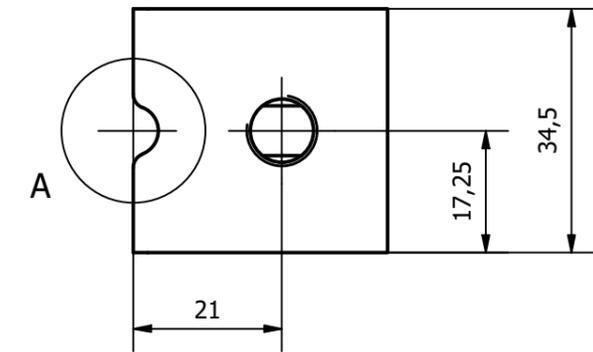
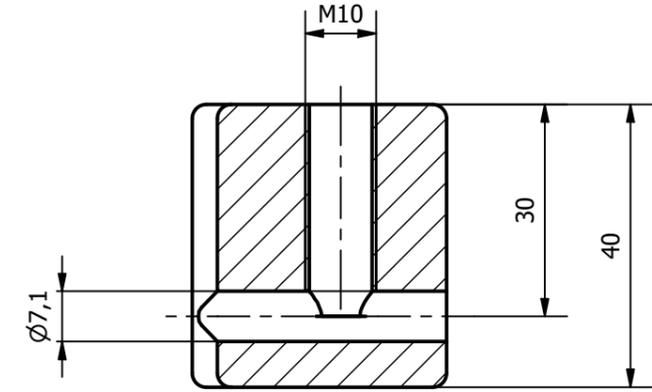
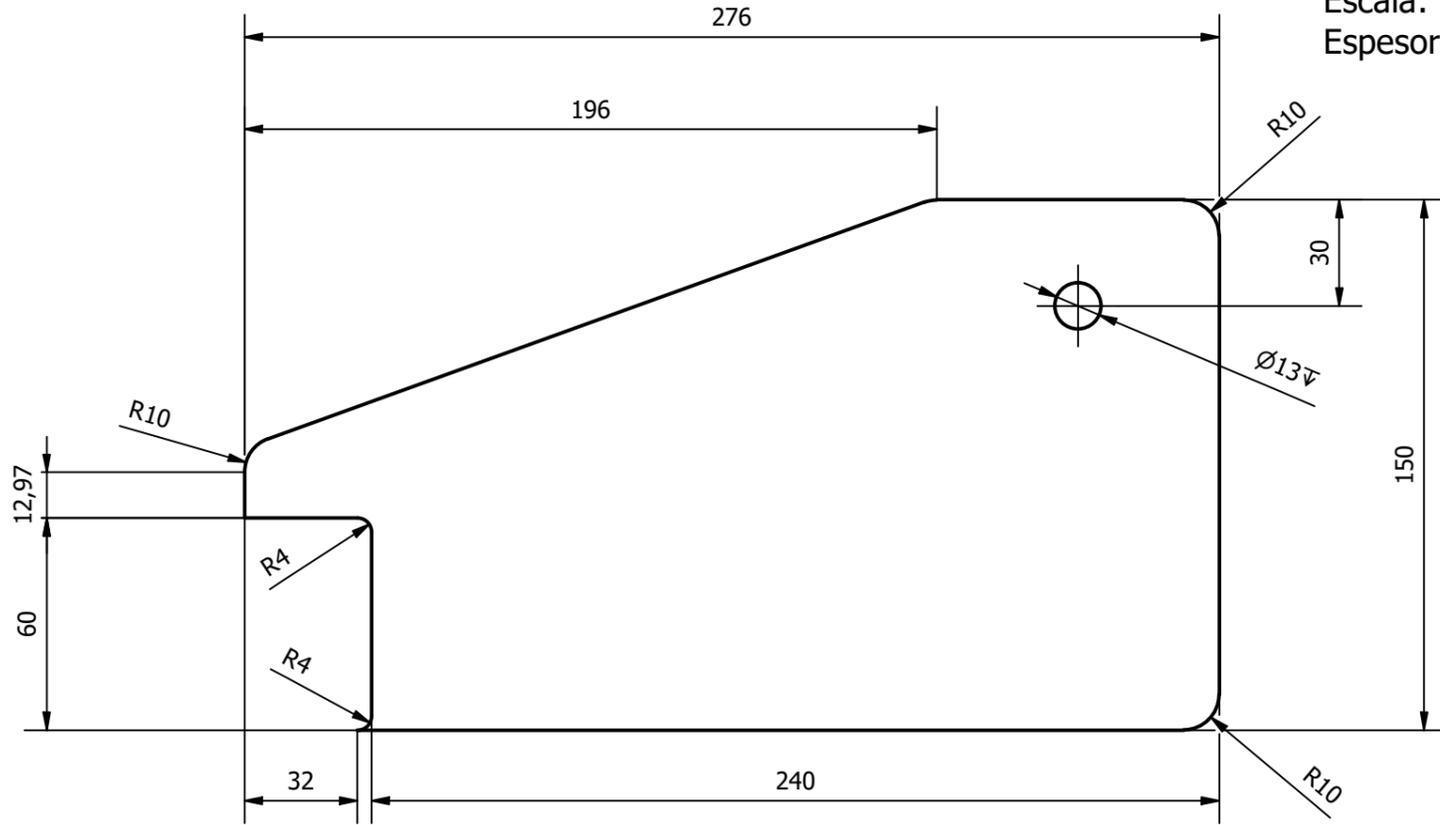
24
Escala: 1:1



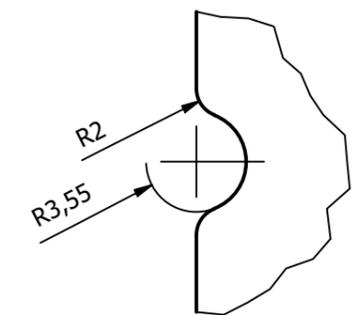
TRABAJO FINAL DE MÁSTER Propietario legal:  UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA		Tipo documento: Plano de detalle Título: Plano detalle piezas 21 a 24 Fecha edición:		Nº identificación: Hoja:	
Creado / Aprobado por: Andrés Mompó López		Fecha de creación: 06/12/2023		Fecha de aprobación: Escala:	
				7	

25

Escala: 1:2
Espesor 5mm



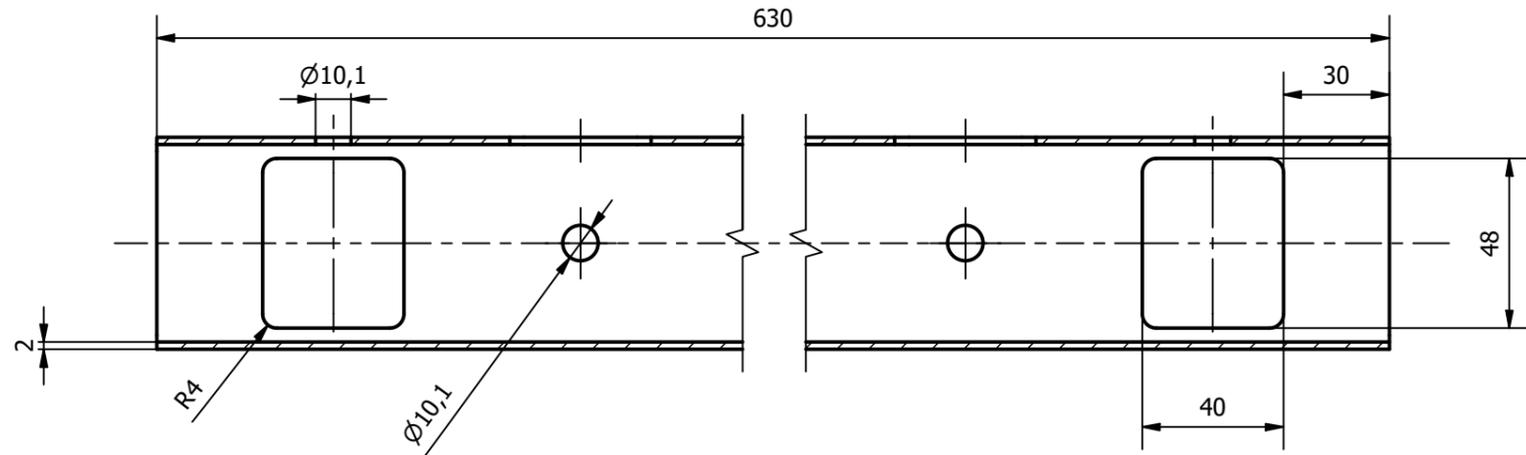
A (2:1)



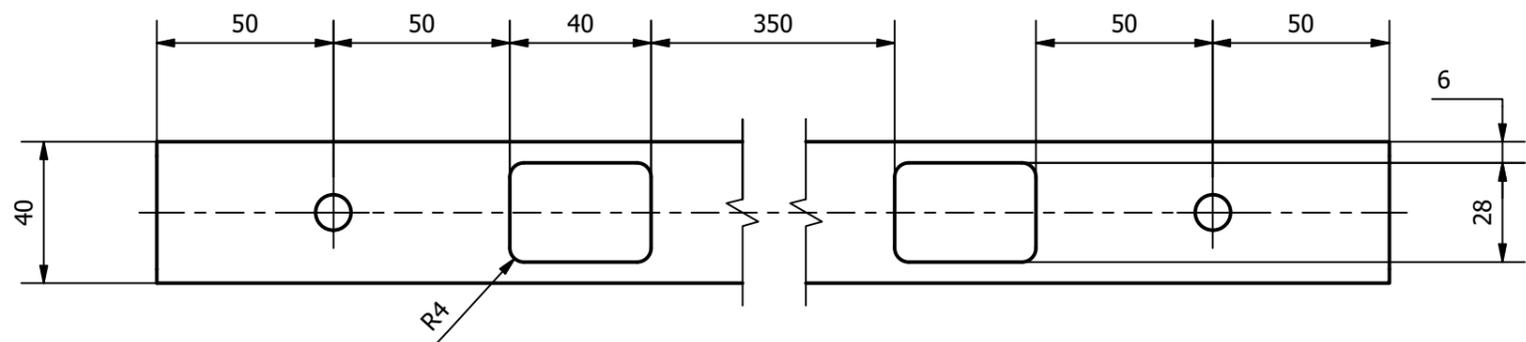
Escala:



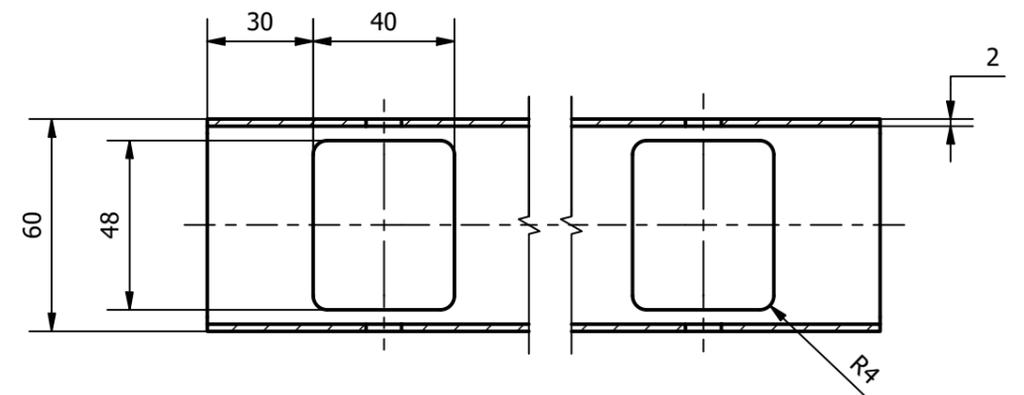
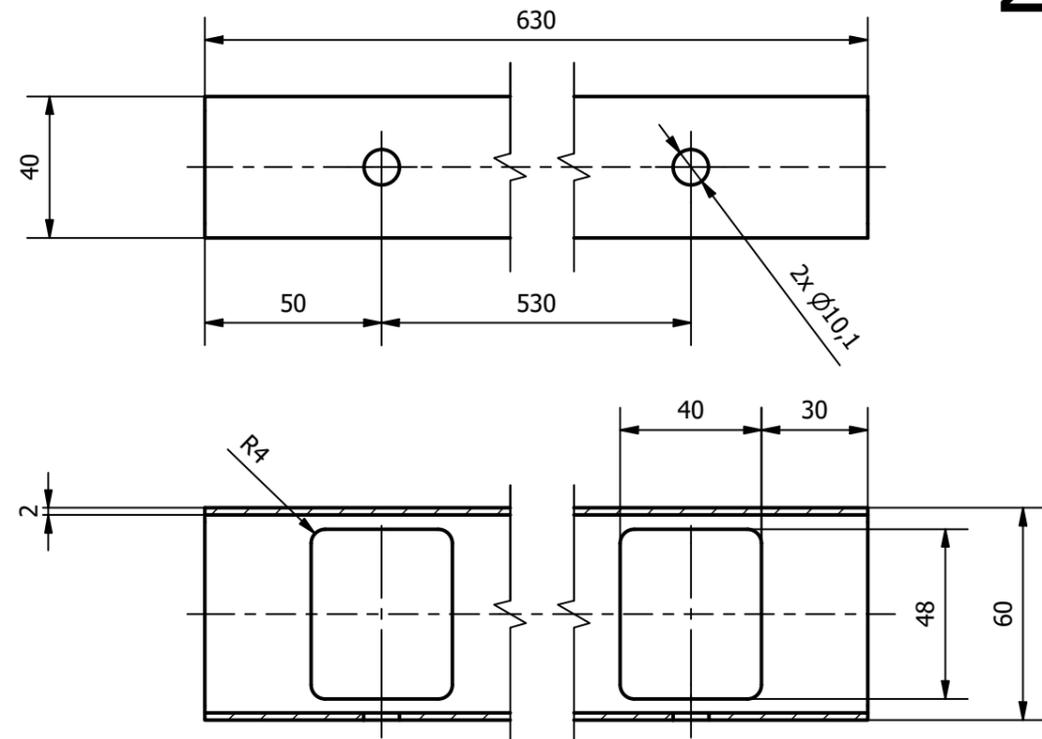
TRABAJO FINAL DE MÁSTER		Tipo documento: Plano de detalle	
Propietario legal:		Título: Estructura Polea Baja	
		Nº identificación:	
Creado / Aprobado por:		Hoja:	
Andrés Mompó López		8	
Fecha edición:		Fecha de creación: 06/12/2023	
Fecha de aprobación:			



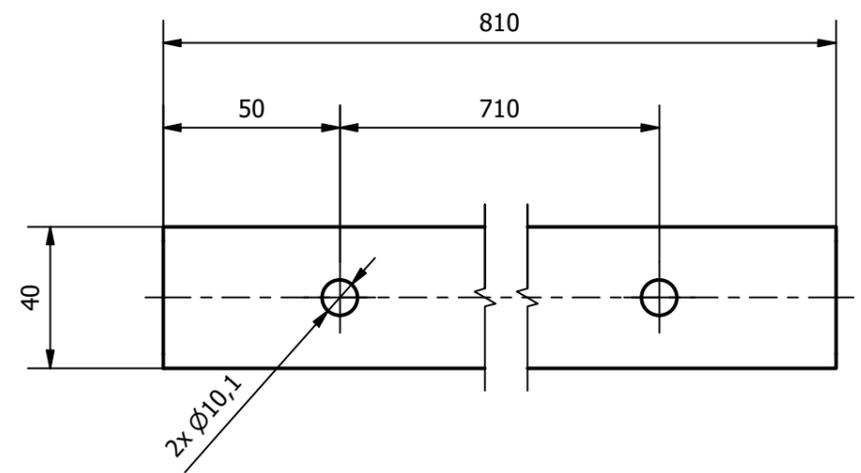
26



27



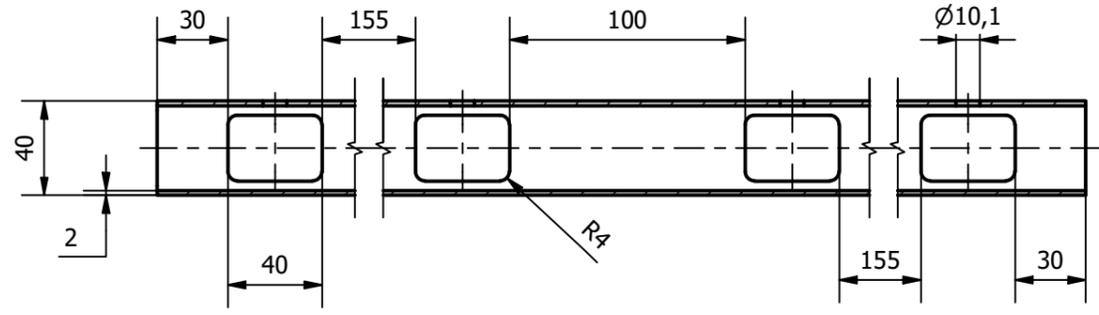
28



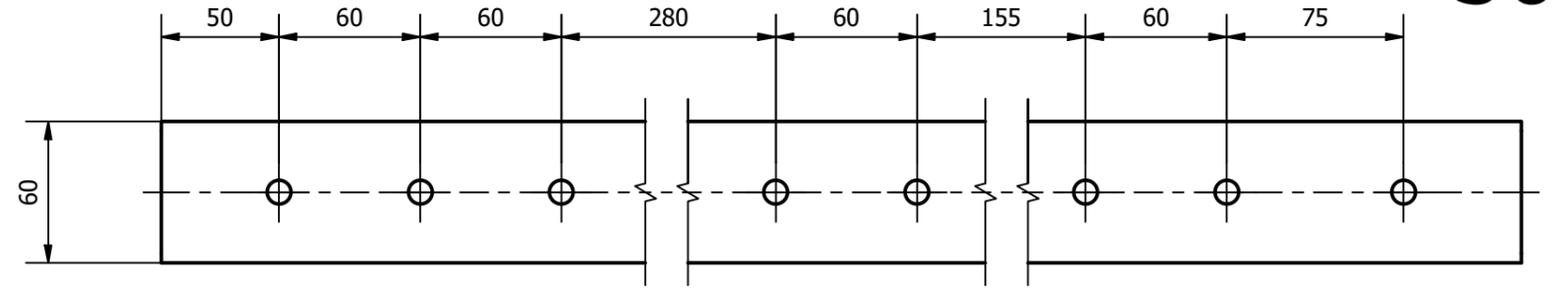
Escala: 1/2



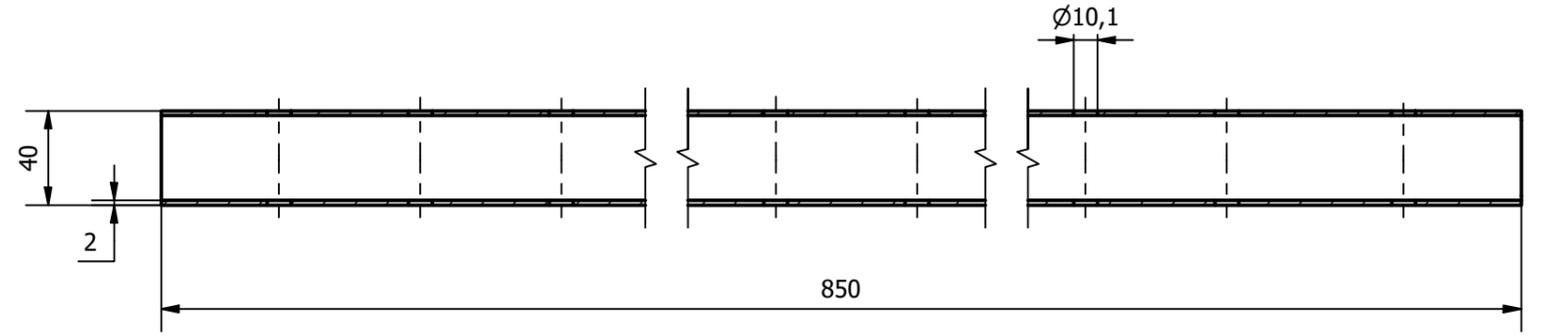
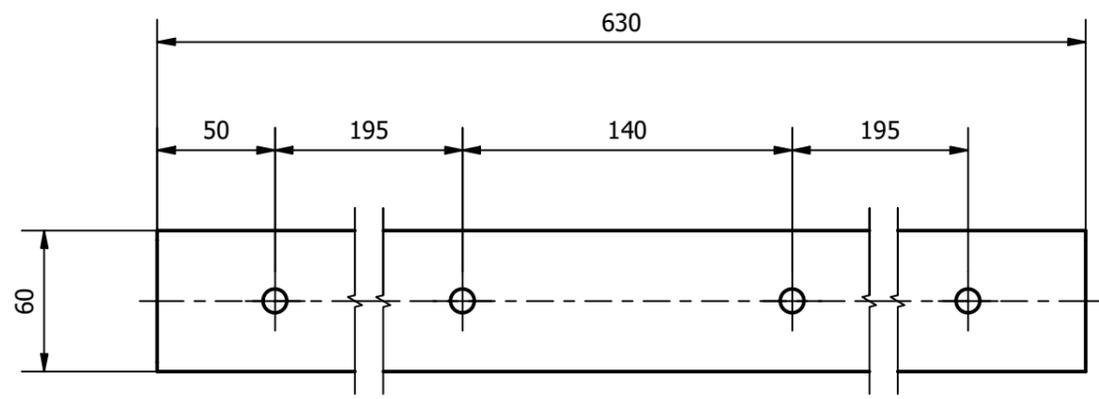
TRABAJO FINAL DE MÁSTER Propietario legal:		Tipo documento: Plano de detalle	
 UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA		 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA	
Creado / Aprobado por: Andrés Mompó López		Título: Perfiles Inferiores y Lateral 60x40x2	Nº identificación:
		Fecha edición:	Hoja:
		Fecha de creación: 06/12/2023	Fecha de aprobación:
		9	



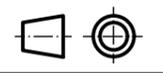
29



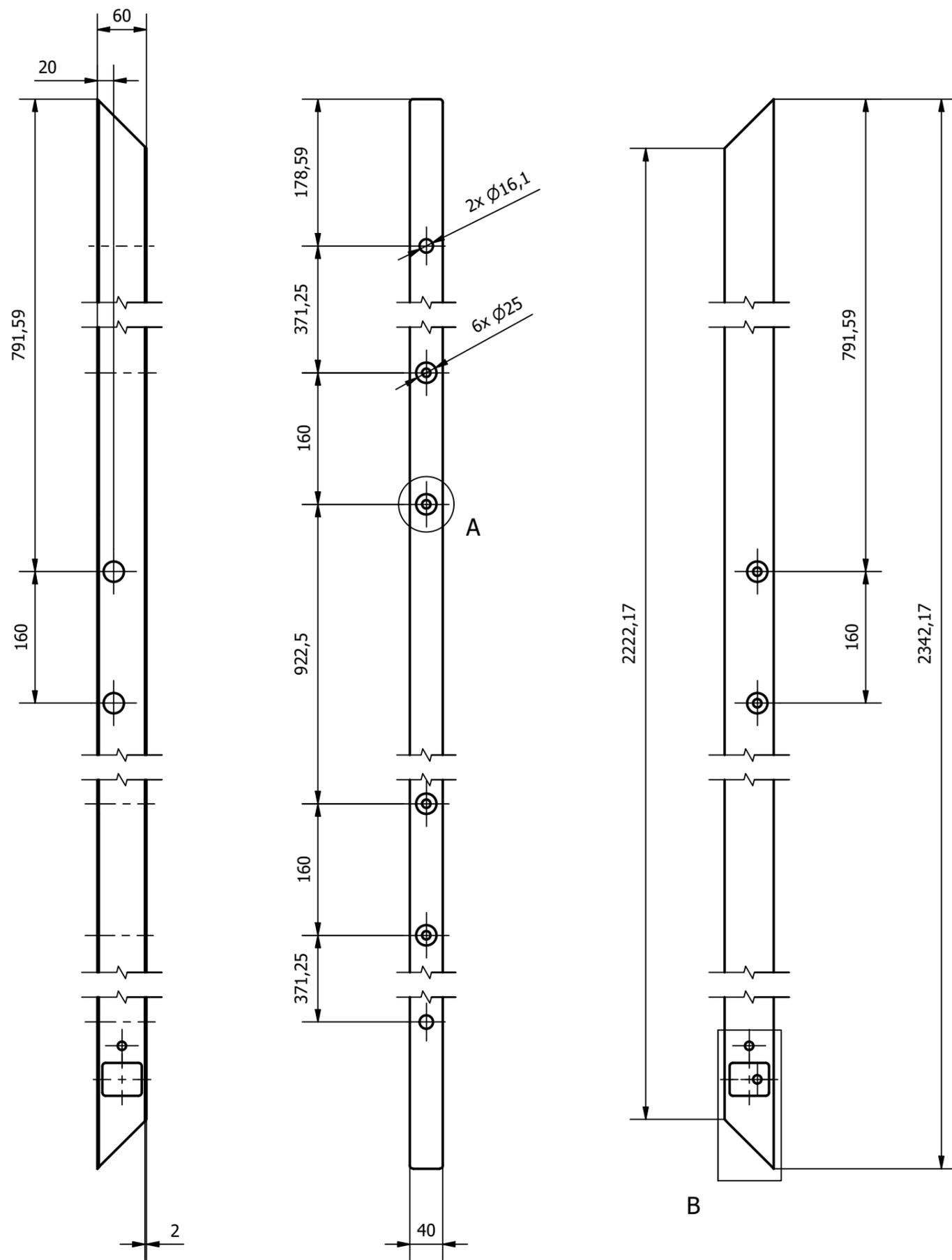
30



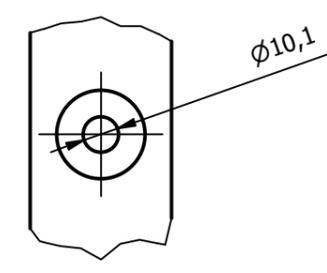
Escala: 1/3



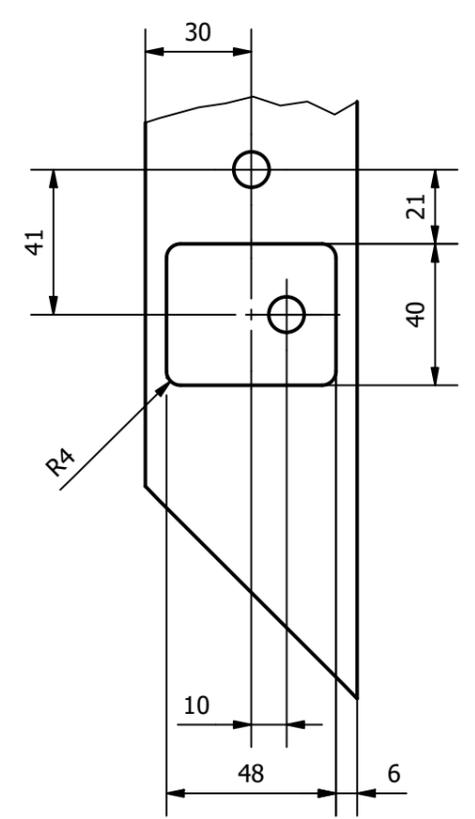
TRABAJO FINAL DE MÁSTER Propietario legal:		Tipo documento: Plano de detalle	
		Título: Perfil Superior y Superior Poleas 60x40x2	Nº identificación:
Creado / Aprobado por: Andrés Mompó López		Fecha edición: 06/12/2023	Hoja: 10
		Fecha de creación: 06/12/2023	Fecha de aprobación:



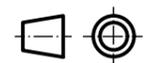
A (1:2)



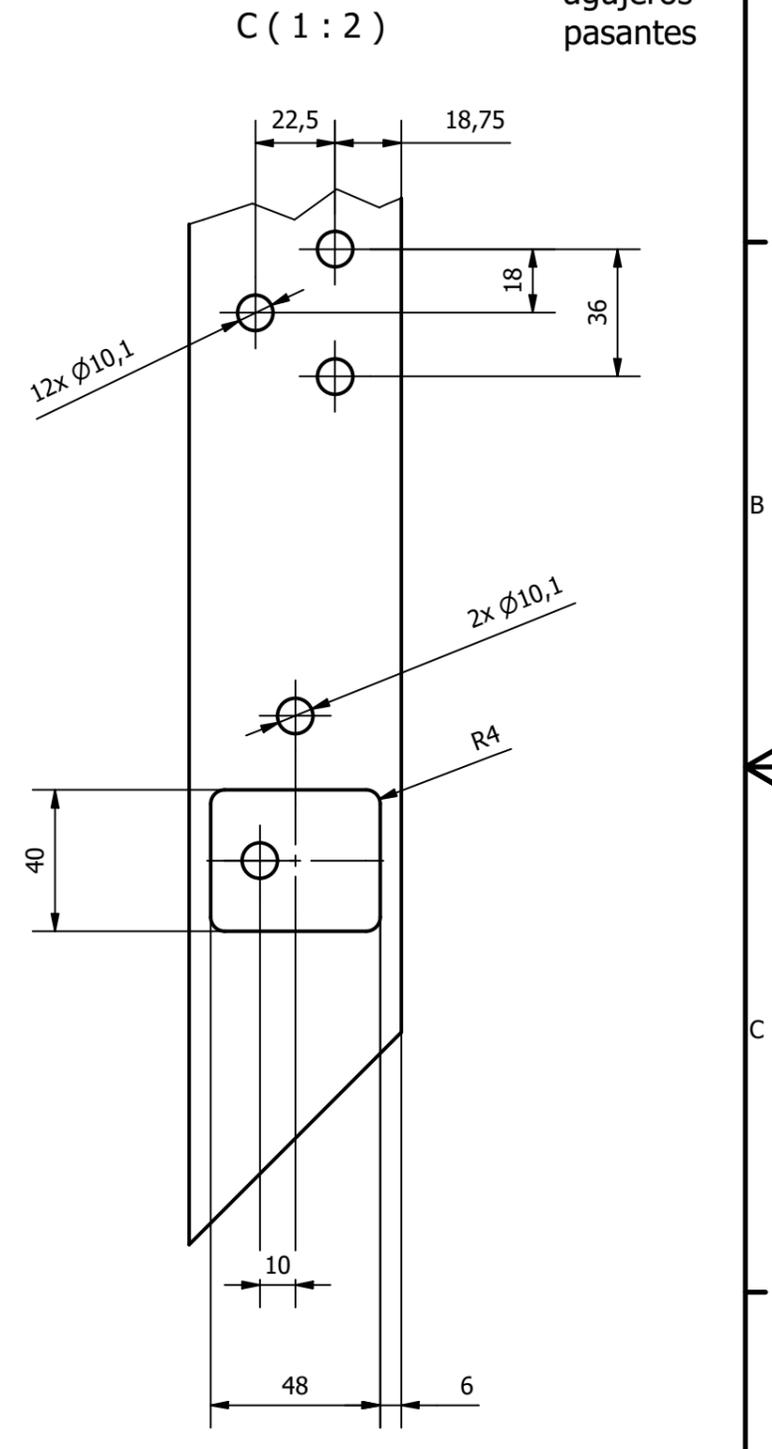
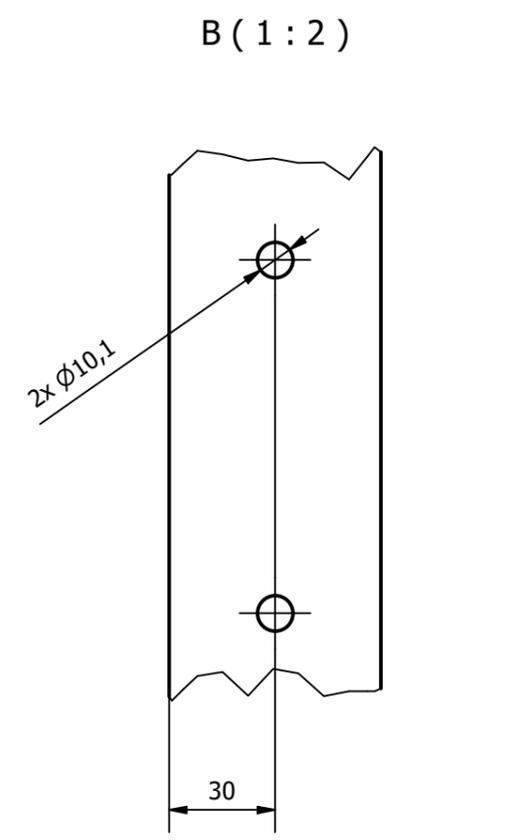
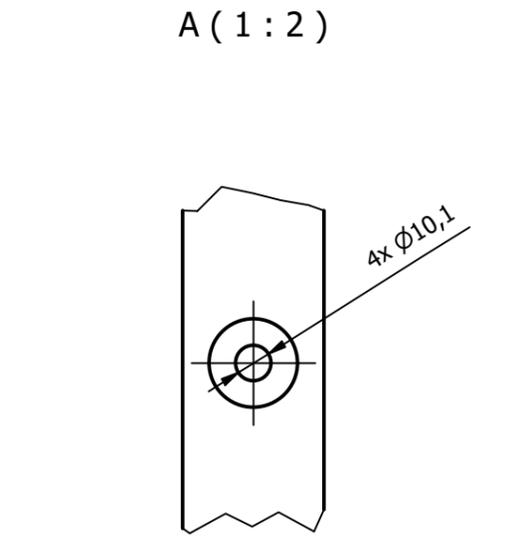
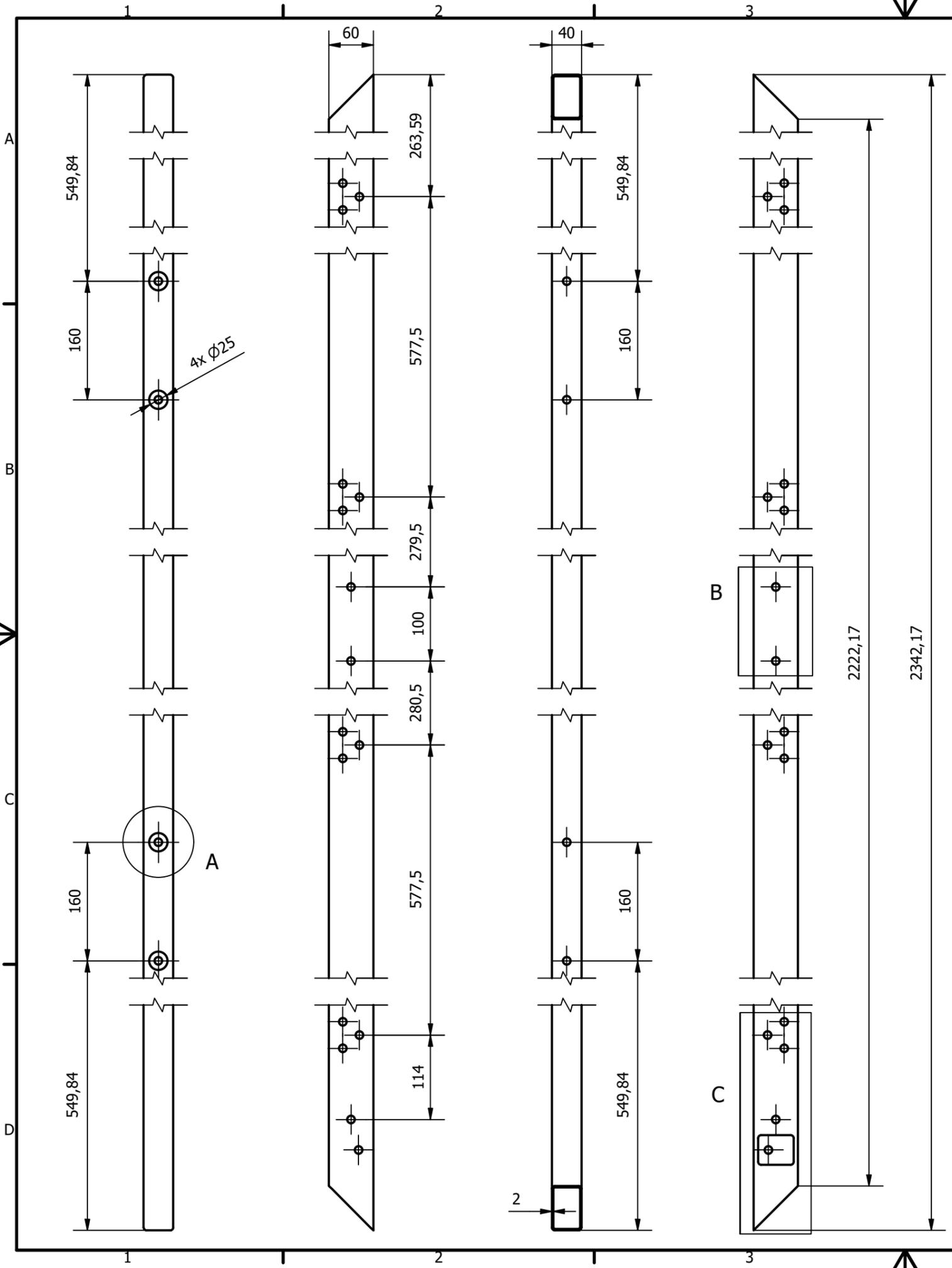
B (1:2)



Escala: 1/6



TRABAJO FINAL DE MÁSTER Propietario legal:		Tipo documento: Plano de detalle	
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA		ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA	
Creado / Aprobado por: Andrés Mompó López		Fecha edición: 06/12/2023	Fecha de creación: 06/12/2023
		Fecha de aprobación:	Nº identificación: Hoja: 11



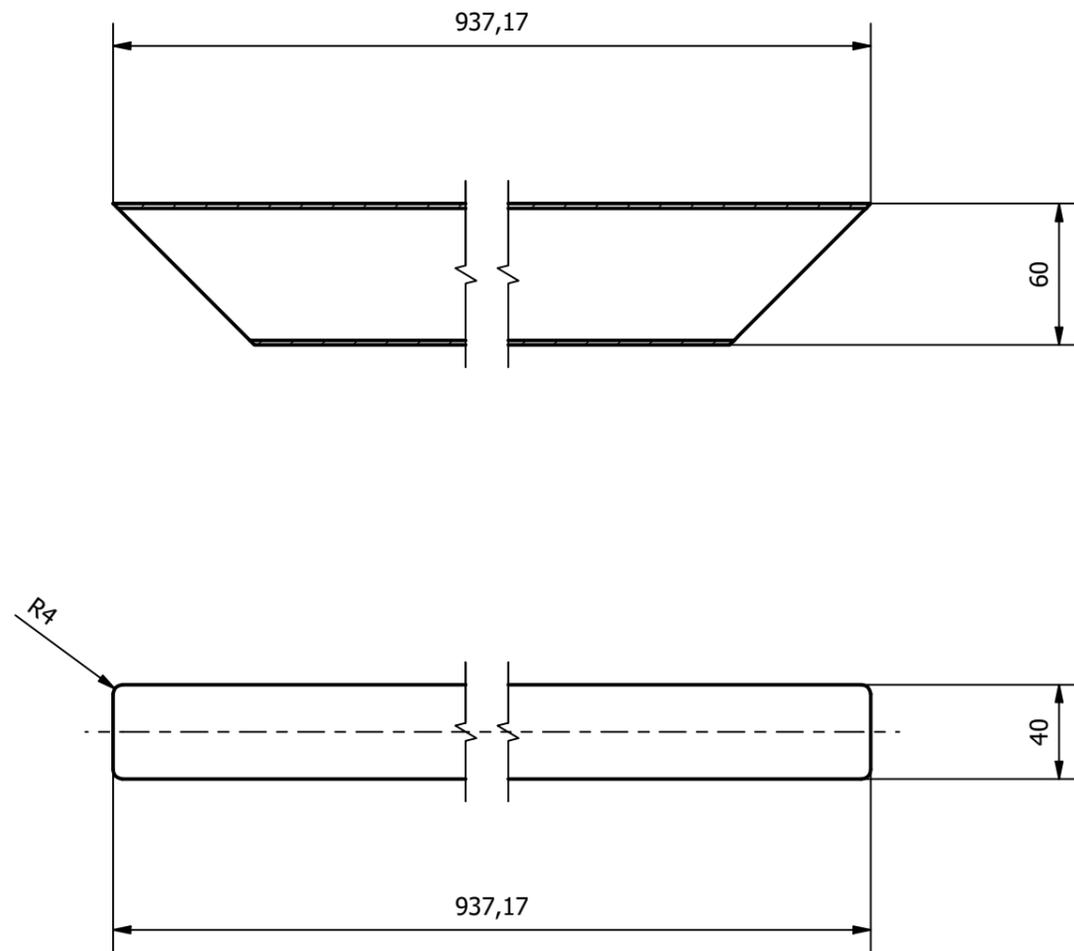
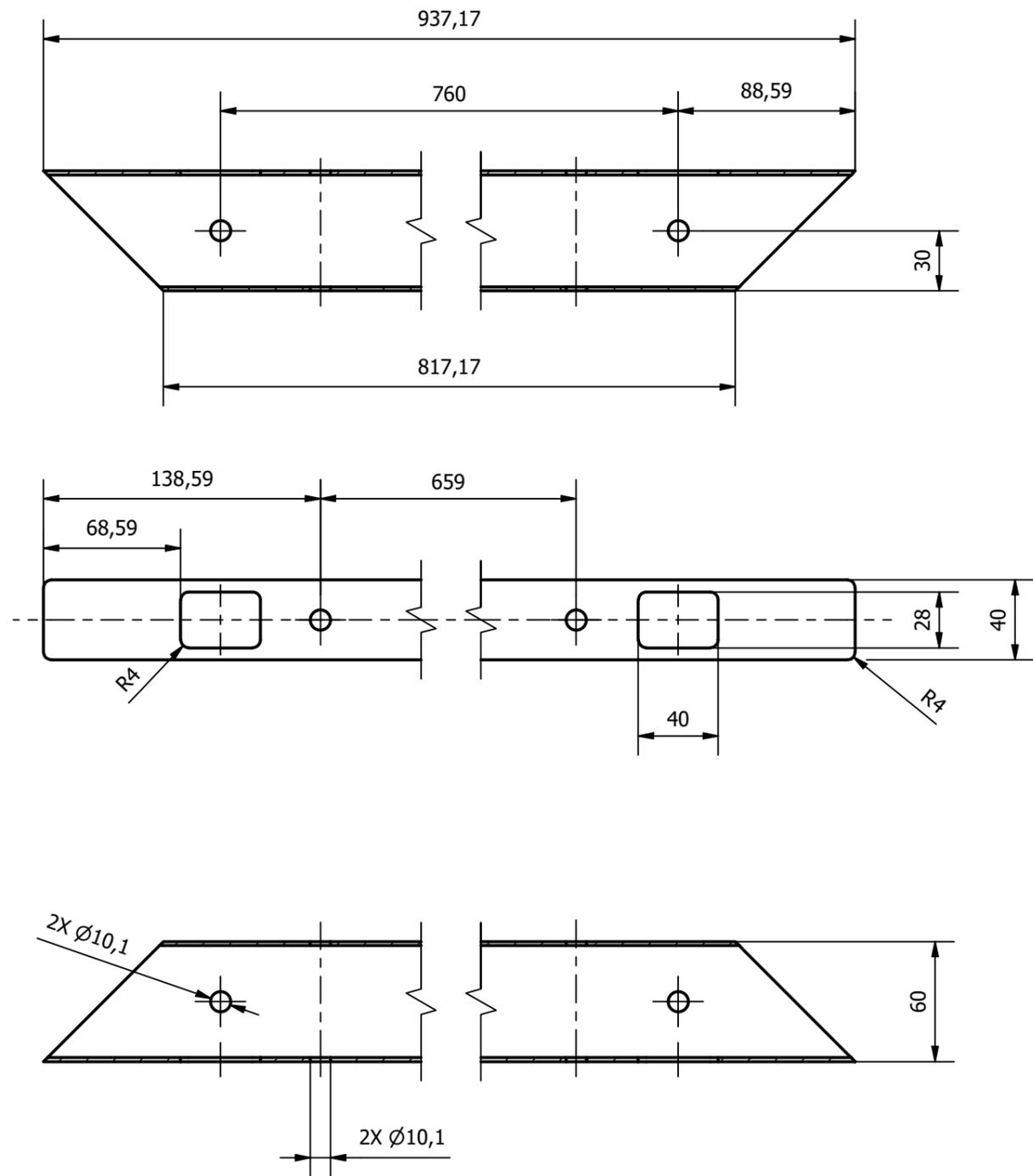
Escala: 1/6



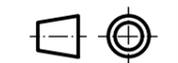
TRABAJO FINAL DE MÁSTER		Tipo documento: Plano de detalle	
Propietario legal:		Título: Lateral Perfil Derecho 60x40x2	
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA		ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA	
Creado / Aprobado por:		Fecha edición:	
Andrés Mompó López		Fecha de creación: 06/12/2023	
		Fecha de aprobación:	
		12	

33

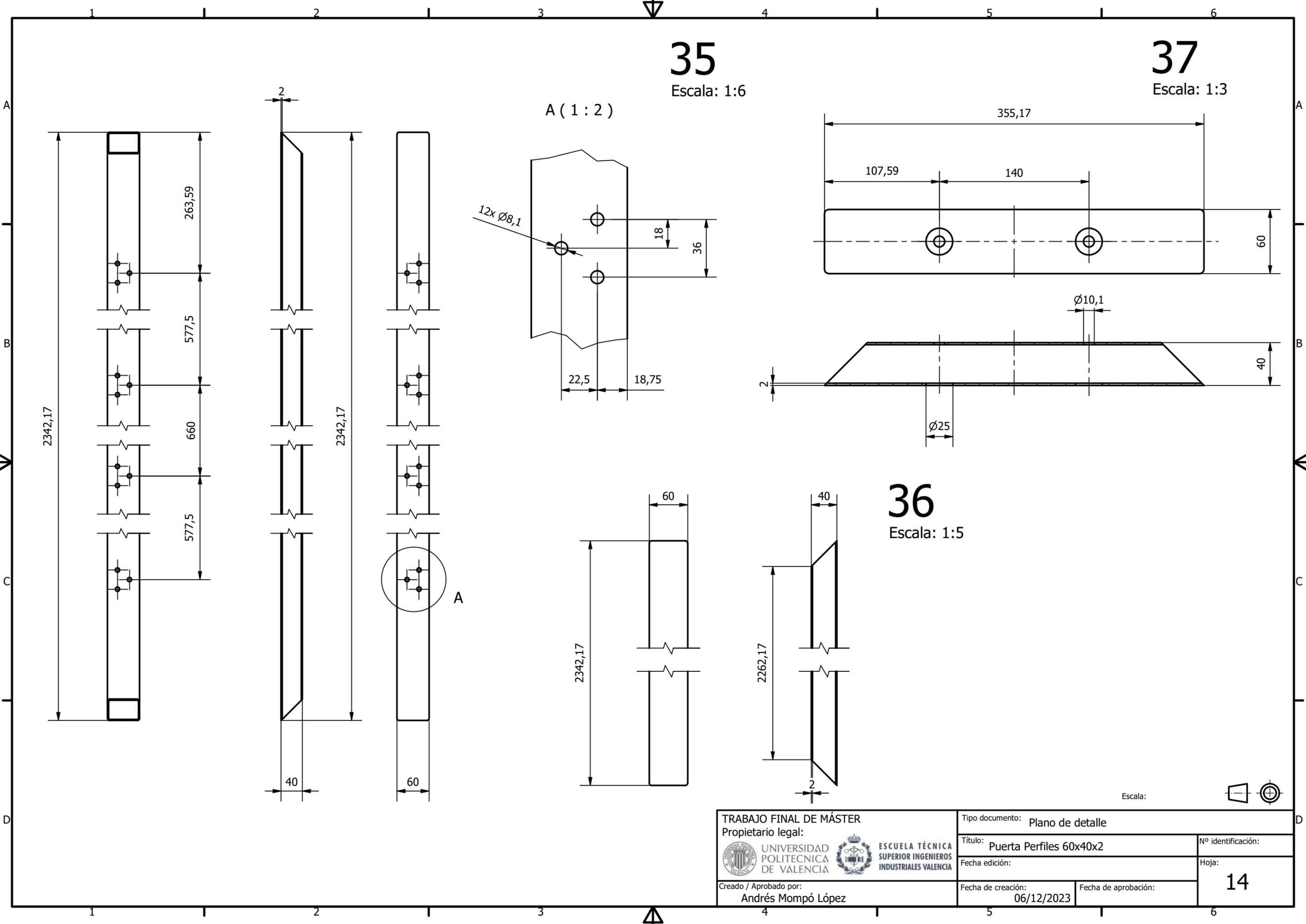
34



Escala: 1/3



TRABAJO FINAL DE MÁSTER		Tipo documento: Plano de detalle	
Propietario legal:		Título: Lateral Perfil Superior e Inferior 60x40x2	Nº identificación:
		Fecha edición:	Hoja:
Creado / Aprobado por: Andrés Mompó López		Fecha de creación: 06/12/2023	Fecha de aprobación:
			13



35

Escala: 1:6

37

Escala: 1:3

A (1:2)

36

Escala: 1:5

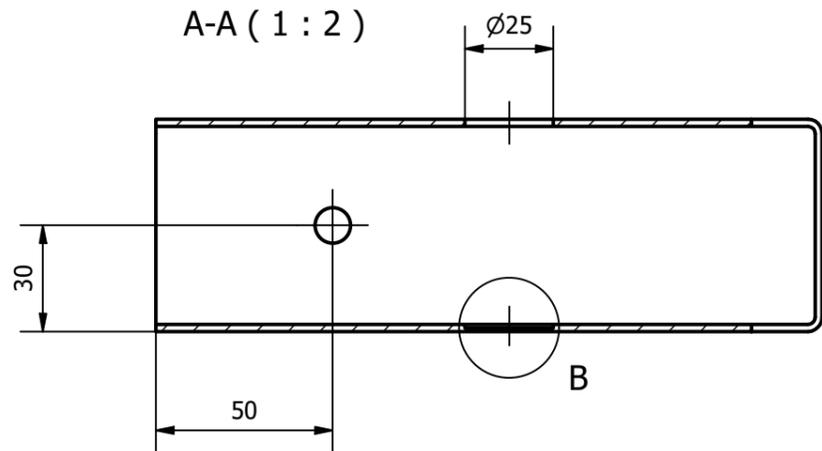
Escala:



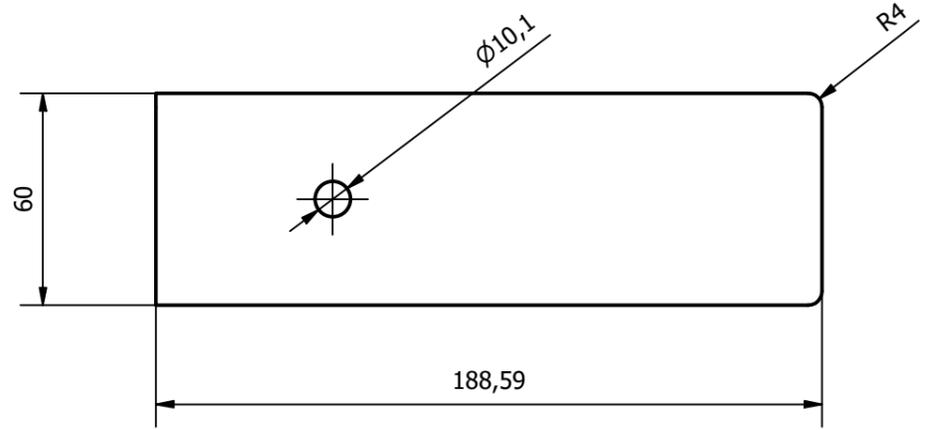
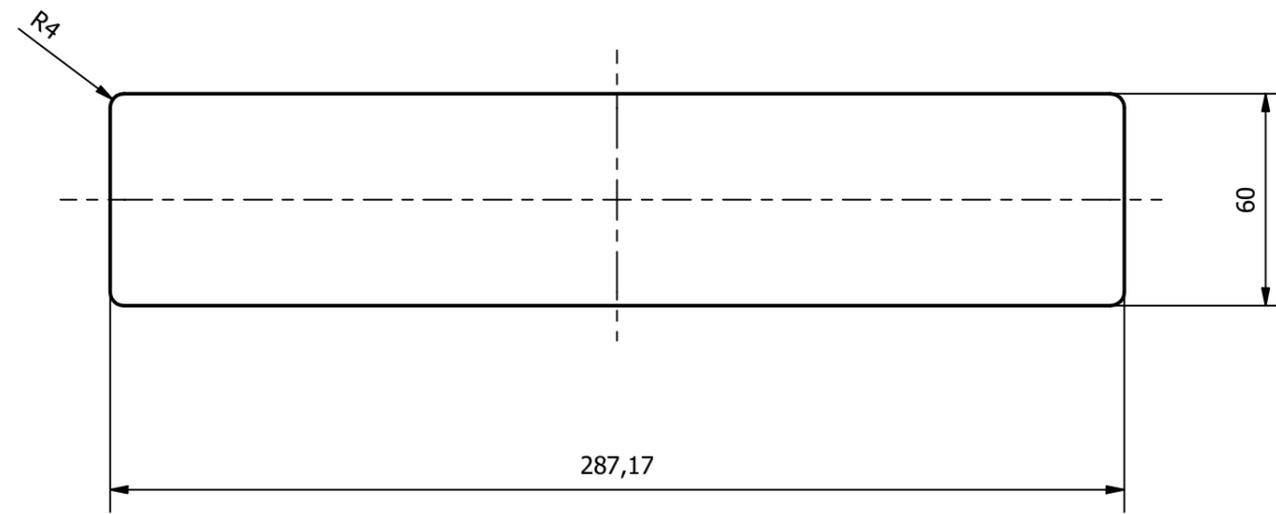
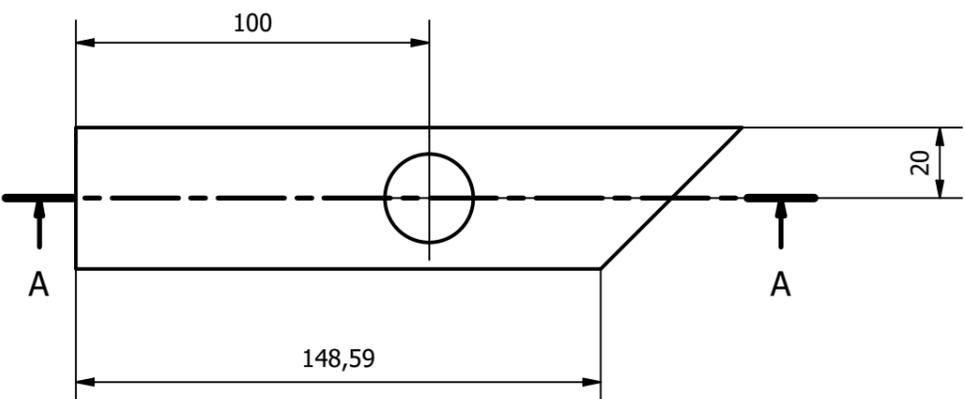
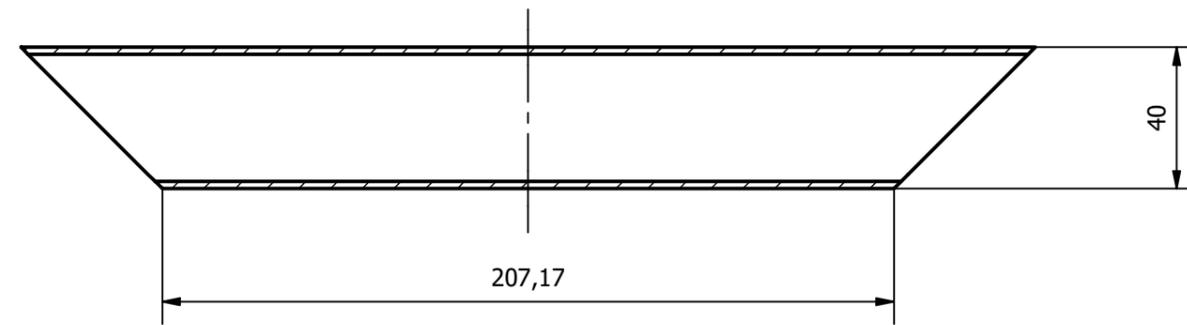
TRABAJO FINAL DE MÁSTER Propietario legal:		Tipo documento: Plano de detalle	
 UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA		 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA	
Creado / Aprobado por: Andrés Mompó López		Fecha edición: 06/12/2023	Fecha de creación: 06/12/2023
		Fecha de aprobación:	Nº identificación: Hoja: 14

38

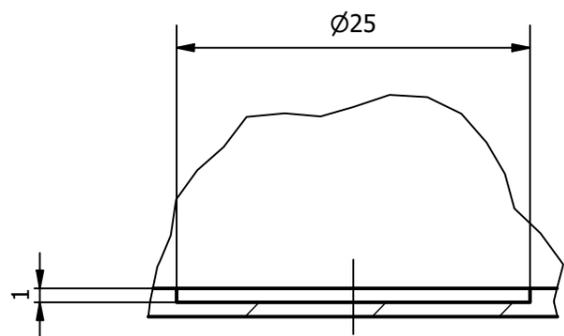
A-A (1 : 2)



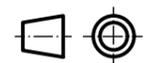
39



B (2 : 1)



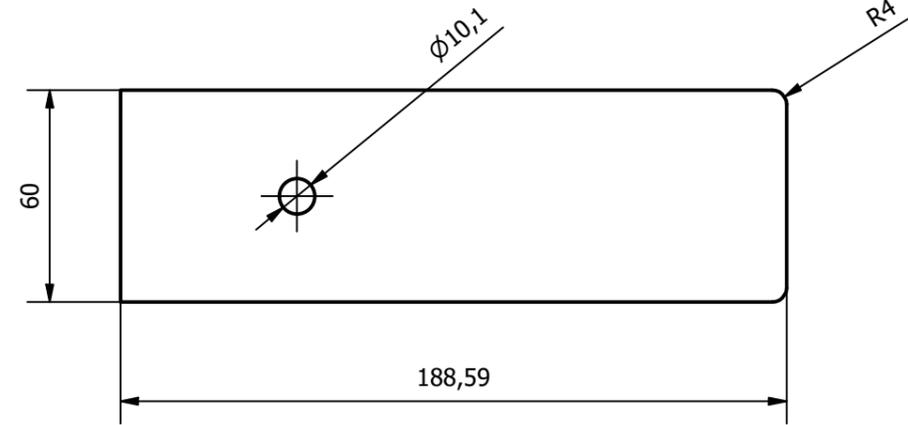
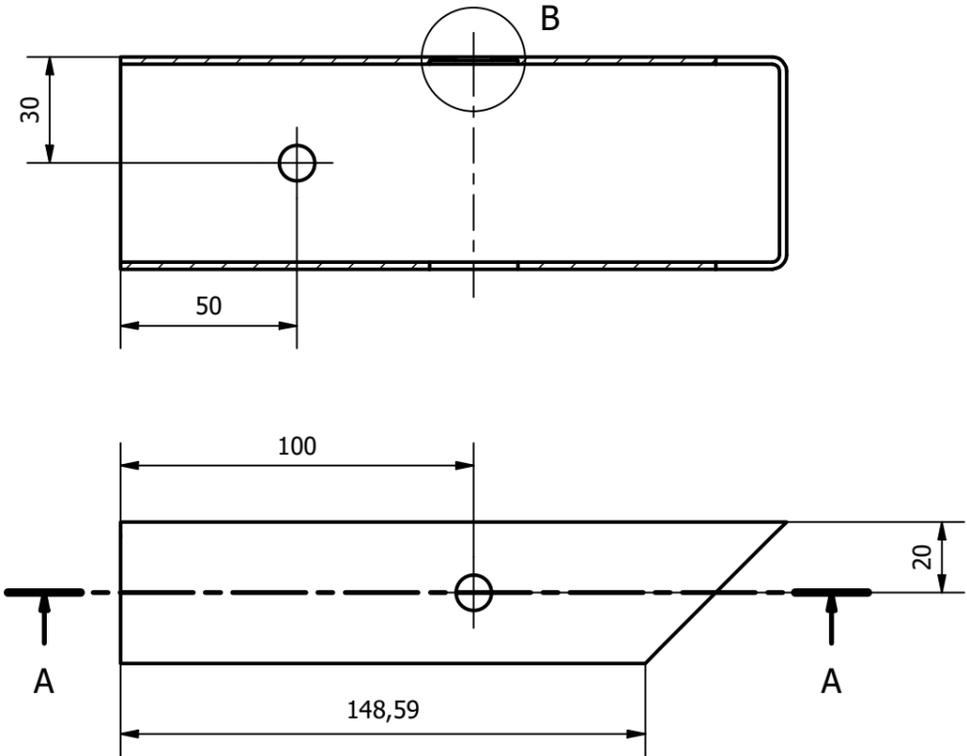
Escala: 1/2



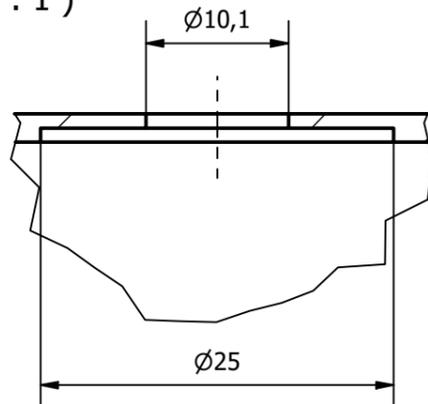
TRABAJO FINAL DE MÁSTER		Tipo documento: Plano de detalle	
Propietario legal:		Título: Estructura Inferior Pesos Perfiles 60x40x2	Nº identificación:
		Fecha edición:	Hoja:
Creado / Aprobado por: Andrés Mompó López		Fecha de creación: 06/12/2023	Fecha de aprobación:
			15

40

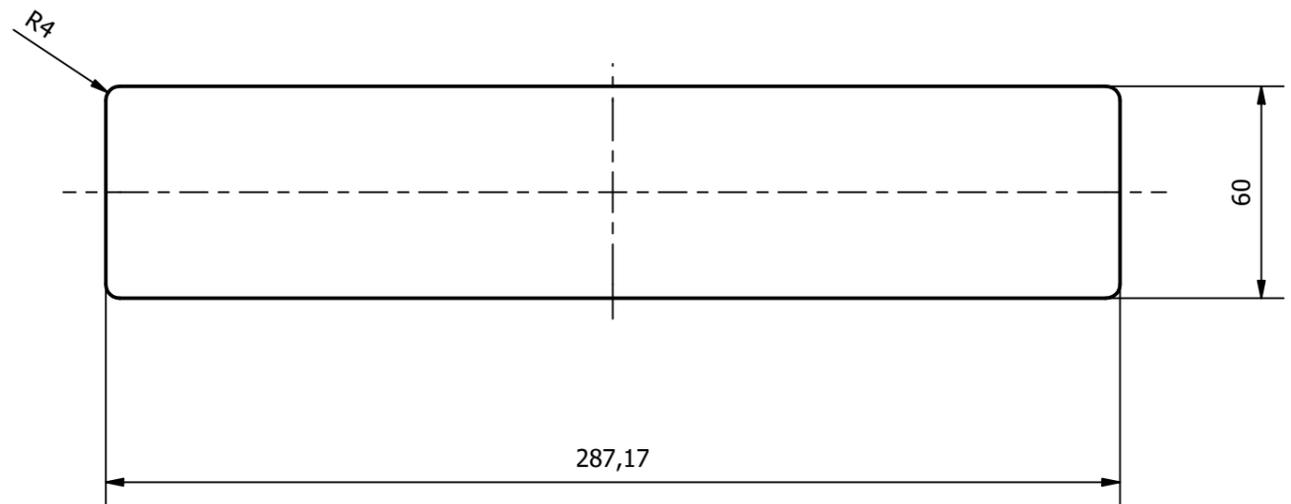
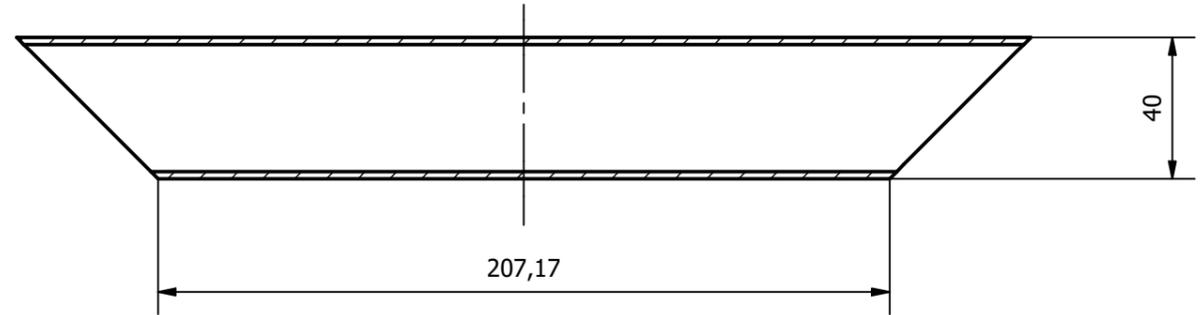
A-A (1:2)



B (2:1)



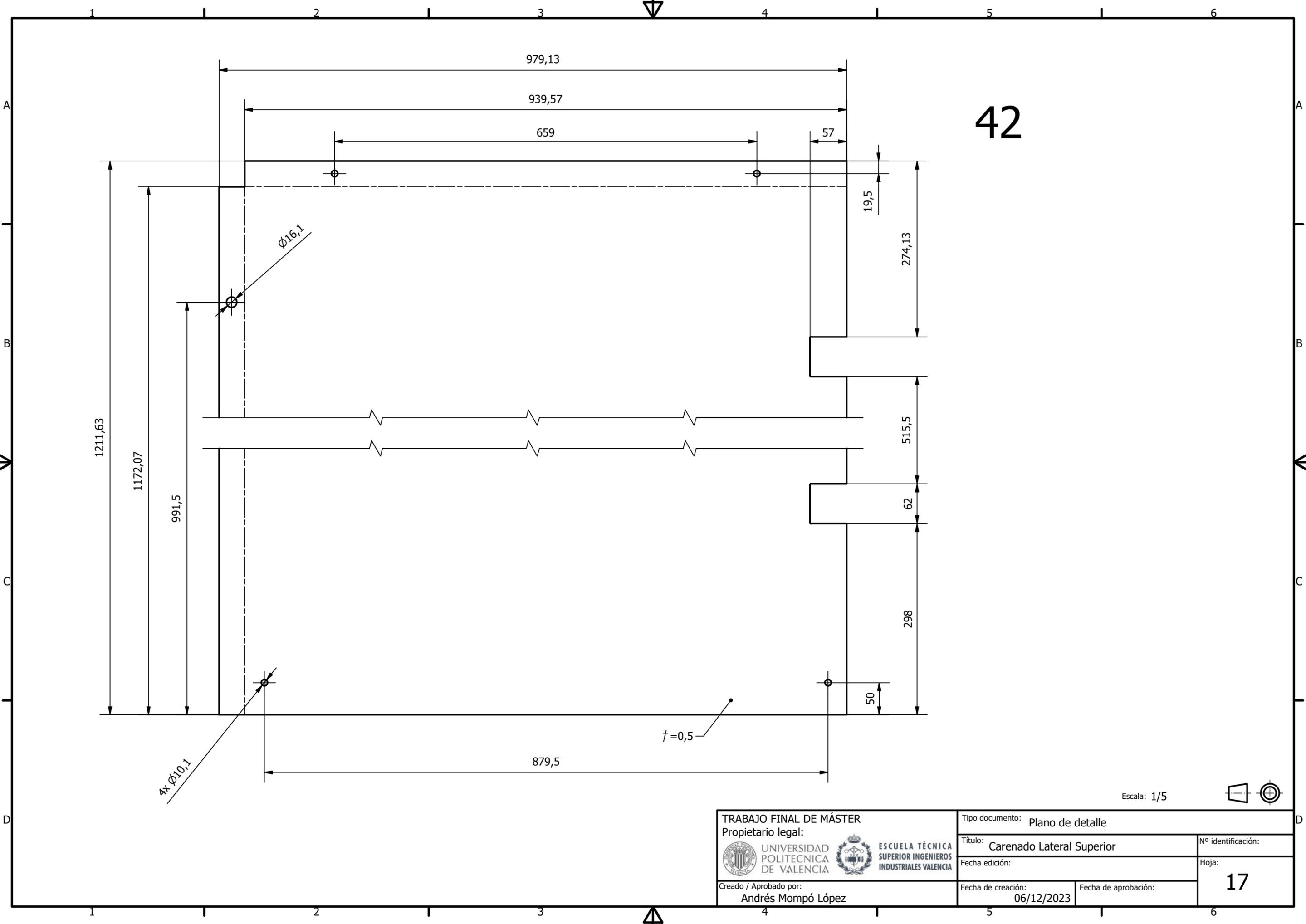
41



Escala: 1/2



TRABAJO FINAL DE MÁSTER		Tipo documento: Plano de detalle	
Propietario legal:		Título: Estructura Superior Pesos perfiles 60x40x2	Nº identificación:
		Fecha edición:	Hoja:
Creado / Aprobado por: Andrés Mompó López		Fecha de creación: 06/12/2023	Fecha de aprobación:
			16



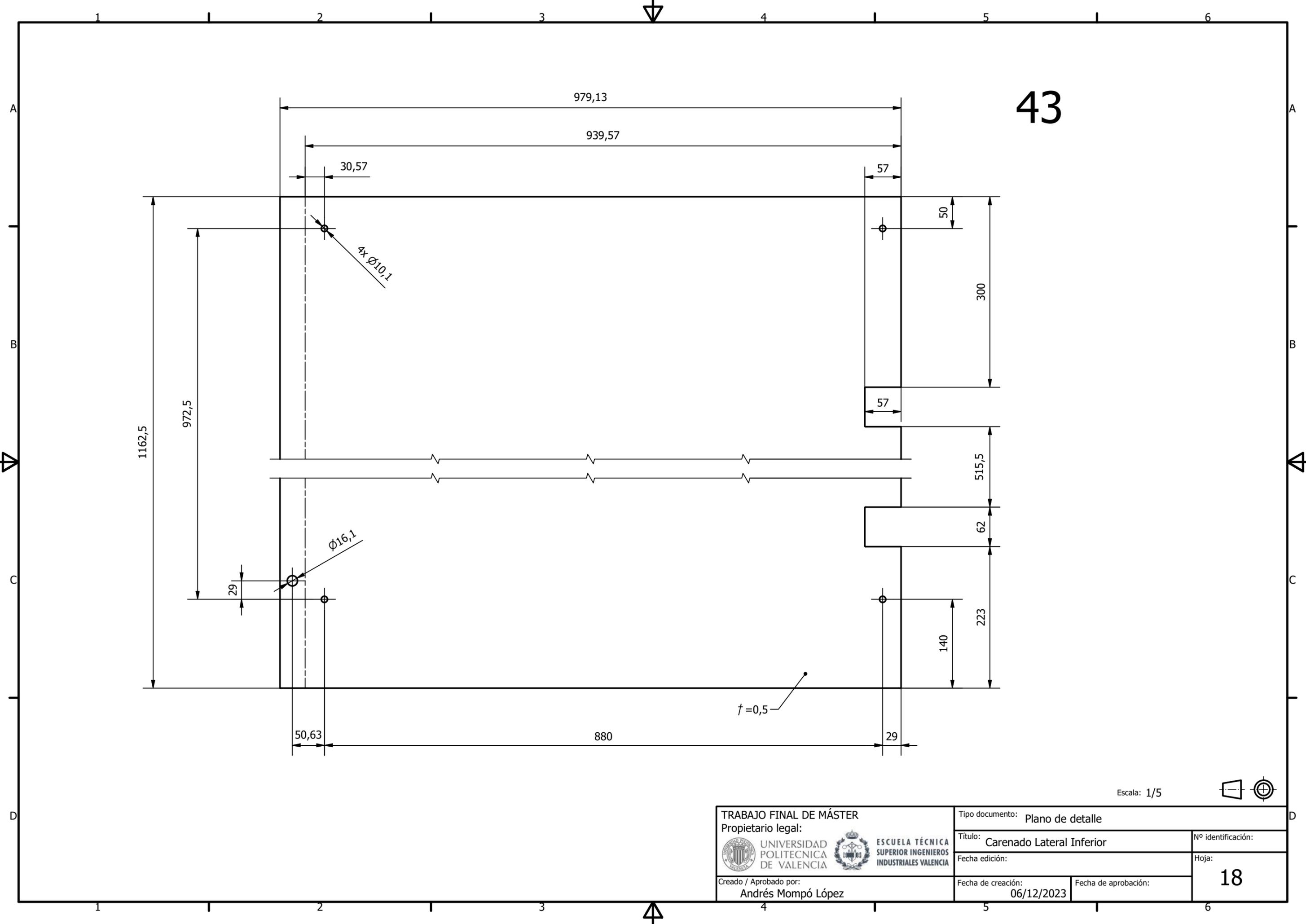
42

Escala: 1/5

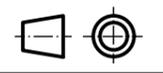


TRABAJO FINAL DE MÁSTER Propietario legal:		Tipo documento: Plano de detalle	
 UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA		Título: Carenado Lateral Superior	Nº identificación:
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA		Fecha edición:	Hoja:
Creado / Aprobado por: Andrés Mompó López		Fecha de creación: 06/12/2023	Fecha de aprobación:
			17

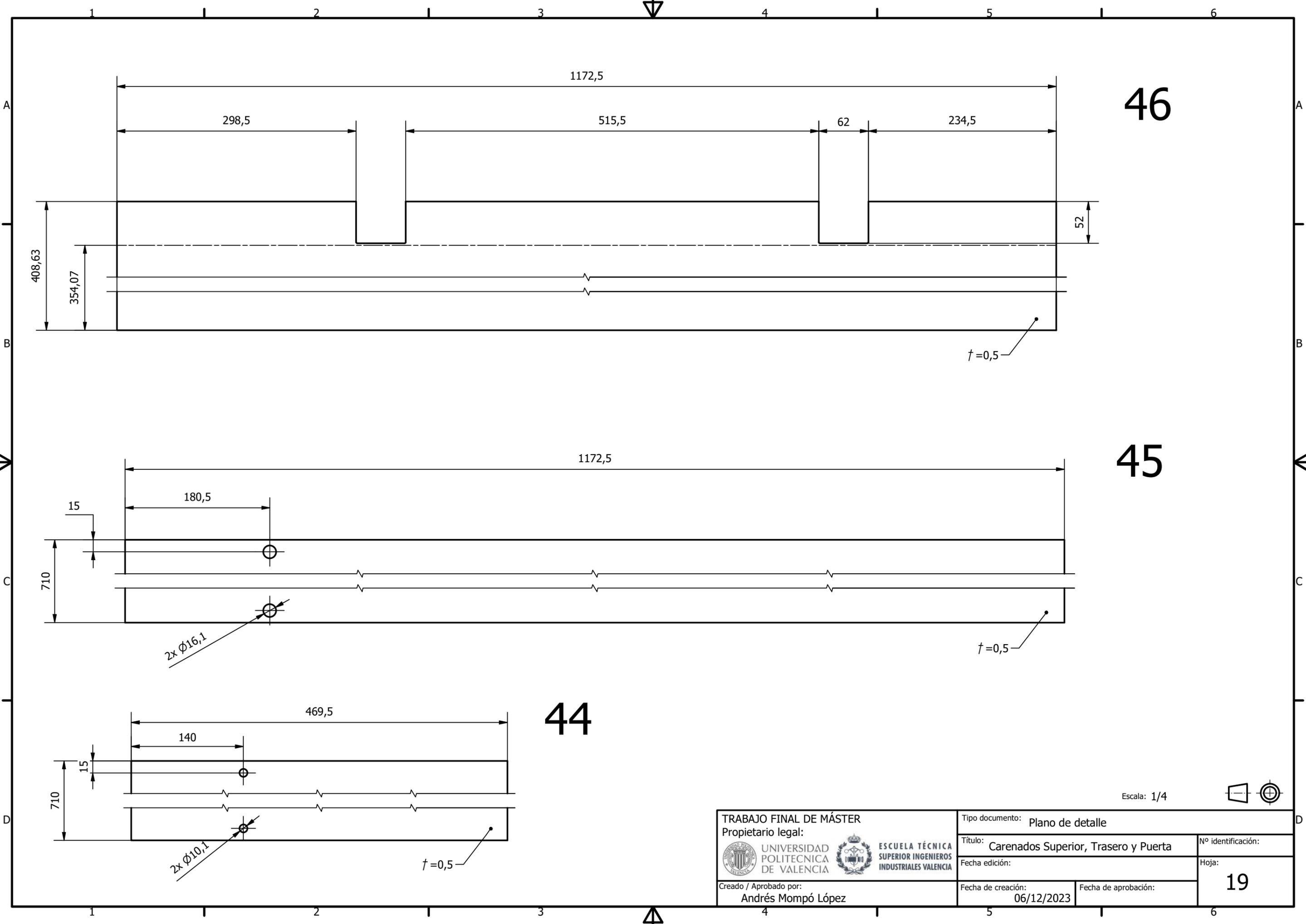
43



Escala: 1/5



TRABAJO FINAL DE MÁSTER		Tipo documento: Plano de detalle	
Propietario legal:		Título: Carenado Lateral Inferior	Nº identificación:
		Fecha edición:	Hoja:
Creado / Aprobado por: Andrés Mompó López		Fecha de creación: 06/12/2023	Fecha de aprobación:
			18

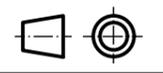


46

45

44

Escala: 1/4



TRABAJO FINAL DE MÁSTER Propietario legal:		Tipo documento: Plano de detalle	
 UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA		 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA	
Creado / Aprobado por: Andrés Mompó López		Fecha edición: 06/12/2023	Fecha de creación: 06/12/2023
		Fecha de aprobación:	Nº identificación: Hoja: 19