

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCUELA POLITÈCNICA SUPERIOR DE ALCOY



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA**

CAMPUS D'ALCOI

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

**“DISEÑO Y DESARROLLO DE UN MÁQUINA DE
ROTOMOLDEO DE LABORATORIO”**

Autor:

D. Jesús Moreno Gómez

Dirigido por:

Dr. Teodomiro Boronat Vitoria

D. Juan Ivorra Martínez

Septiembre 2020

RESUMEN

“Diseño y desarrollo de una máquina de rotomoldeo de laboratorio.”

El siguiente documento presenta el proceso de desarrollo de una máquina de rotomoldeo para uso docente. El proyecto detalla de forma minuciosa las etapas seguidas para la consecución y correcto desempeño de un prototipo funcional que pueda emplearse en laboratorio. Las etapas seguidas para la consecución del proyecto han sido: el diseño básico del equipo, la selección de componentes, el diseño y cálculo de los mecanismos de transmisión de potencia, y un estudio del comportamiento mecánico de los componentes críticos del diseño mediante cálculo con elementos finitos. Finalmente, el proyecto finaliza con la fabricación de prototipo funcional.

SUMMARY

“Desing and development of a laboratory rotomolding machine.”

The following paper presents the development process of a rotational molding machine for teaching purposes. The project describes thoroughly the stages for the achievement and adequate performance of a functional prototype that can be used in laboratory. The stages followed to achieve the project have been the following: basic design of the equipment, selection of the components, design and calculation of the power transmission mechanisms and study of the mechanical behavior of the critical components of the design by calculating with finite elements. Finally, the project ends with the manufacture of a functional prototype.

RESUM

“Disseny i desenvolupament d'una màquina de rotomoldeo de laboratori”

El següent document presenta el procés de desenvolupament d'una màquina de rotomoldeo per a ús docent. El projecte detalla de forma minuciosa les etapes seguides per a la consecució i correcte acompliment d'un prototip funcional que pugui emprar-se en laboratori. Les etapes seguides per a la consecució el projecte han estat: el disseny bàsic de l'equip, la selecció de component, el disseny i càlcul dels mecanismes de transmissió de potència i un estudi de l'comportament mecànic dels components crítics de el disseny mitjançant càlcul amb elements finits. Finalment, el projecte finalitza amb la fabricació de prototip funcional.

Tabla de Contenidos

RESUMEN	3
SUMMARY	5
RESUM.....	7
ABREVIATURAS.....	12
LISTADO DE FIGURAS	13
LISTADO DE TABLAS.....	17
I. INTRODUCCIÓN	19
I.1. PROCESO DE ROTOMOLDEO.	21
I.1.1. Introducción.....	21
I.1.2. Historia y evolución.....	22
I.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ROTOMOLDEO.	25
I.3. TIPOS DE EQUIPOS DE ROTOMOLDEO.	27
I.3.1 Máquina de desplazamiento lineal.....	28
I.3.2 Estación simple.....	29
I.3.3 Giro basculante (Rock and Roll).	30
I.3.4 Carrusel.	31
I.3.5 Máquinas de flama abierta.....	32
I.4. VENTAJAS Y LIMITACIONES DEL PROCESO DE ROTOMOLDEO.	33
I.5. APLICACIONES.....	34
II. OBJETIVOS	35
II.1. OBJETIVO GENERAL.....	37

II.2. OBJETIVOS PARTICULARES.	37
III. DESARROLLO PROYECTO	39
III.1. DEFINIR REQUISITOS Y LIMITACIONES.....	41
III.1.1. Descripción del proceso de rotomoldeo.....	41
III.1.2. Limitaciones en el diseño.	42
III.2. DISEÑAR PRELIMINARMENTE LOS COMPONENTES DE LA MÁQUINA DE ROTOMOLDEO.	43
III.2.1. Marcos móviles.	43
III.2.2. Soportes laterales.....	45
III.2.3. Ejes y elementos transmisores de potencia.	48
III.2.4. Sistema de transmisión de potencia por cadena.	53
III.2.5. Contrapeso.....	54
III.2.6. Molde y soporte.....	56
III.3. SELECCIÓN DE MATERIALES	60
III.3.1. Perfiles y marcos.....	60
III.3.2. Elementos de unión.....	60
III.3.3. Ejes y elementos trasmisores de potencia.	62
III.3.4. Casquillos.	62
III.3.5. Soporte del molde.....	62
III.3.6. Molde.	63
III.3.7. Contrapeso.....	63
III.4. DISEÑO Y CÁLCULO DE LOS MECANISMOS DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA.	64
III.4.1. Cálculo de la transmisión por cadena.	64
III.4.2. Cálculo de la transmisión por engranajes.	68

III.5. CALCULO Y SELECCIÓN EL MOTOR ELECTRICO.....	71
III.5.1. Cálculo potencia teórica.....	71
III.5.2. Selección del motor	74
III.5.3. Selección fuente de alimentación	74
III.5.4. Variador de velocidad	76
III.6. CÁLCULO Y DETERMINACIÓN DE COMPONENTES.....	77
III.6.1. Software empleado.....	77
III.6.2. Determinación de cargas y simulación de elementos.	79
III.7. ESTUDIO ECONÓMICO.....	99
III.8. FABRICACIÓN DE LA MÁQUINA.....	102
IV. APÉNDICES	105
IV.1. REFERENCIAS	107
IV.2. PLANOS ACOTADOS.....	108

ABREVIATURAS

ABS	Acrilonitrilo butadieno estireno.
E	Módulo de Young.
FEA	Método de los elementos finitos.
P	Potencia.
PLA	Ácido poliláctico.
P_R	Potencia real.
P_T	Potencia teórica.
T	Par de giro.
ud	Unidad.
uds.	Unidades.
3D	Tres dimensiones.
...	
ω	Velocidad angular.
η	Rendimiento.

LISTADO DE FIGURAS

Figura I.1. "Continuous Romomolding Machine, McNeil-Akron, 1962". Máquina de rotomoldeo continuo McNeil-Akron, 1962.....	23
Figura I.2. Máquina de rotomoldeo de policarbonato (1973).....	24
Figura I.3. (1) Introducción del material: el material en forma líquida o de polvo se introduce en el molde. (2) El molde se cierra y se le aplica calor, de forma simultáneamente, este rota simultáneamente en sus dos ejes. (3) Tras la fusión del material, la fuente de calor cesa a la vez que se mantiene la rotación del molde. (4) La pieza terminada se extrae del molde.	25
Figura I.4. Tipos de polímeros empleados en la fabricación rotativa y la forma en la que se introducen en el molde.	26
Figura I.5. Carga de material líquido (plastisol) mediante pistola.....	27
Figura I.5. Clasificación de los equipos de rotomoldeo atendiendo a la forma de aplicar calor al molde.....	28
Figura I.6. Máquina de rotomoldeo de desplazamiento lineal.	29
Figura I.7. Estación simple de moldeo rotativo.....	30
Figura I.8. Máquina de giro basculante.....	31
Figura I.9. Máquina de carrusel de tres brazos.	31
Figura I.10. Disposición de los brazos en una máquina de carrusel de tres brazos.....	31
Figura I.10. Disposición de los brazos en una máquina de carrusel de cuatro brazos. ..	32
Figura I.11. Equipos de flama abierta de un solo brazo.....	33
Figura I.12. Distribución de mercado para productos obtenidos mediante rotomoldeo en Estados Unidos.	34
Figura I.13. Productos obtenidos por rotomoldeo.....	34
Figura III.1. Detalle de marcos móviles.....	44
Figura III.3. Representación del entre las escuadras y los perfiles mediante tornillos..	45
Figura III.4. Soportes laterales.	46

Figura III.5. Detalle del soporte del motor.....	47
Figura III.6. Detalle de la fijación.	48
Figura III.7. Detalle eje de conexión entre el motor y el marco exterior.....	48
Figura III.8. Acople de aluminio.	49
Figura III.9. Brida de fijación de aluminio.	49
Figura III.10. Eje que conecta un piñón con uno de los piñones.	50
Figura III.11. Eje que conecta un engranaje con el marco interior.....	51
Figura III.12. Eje cadena. Eje no transmisor de potencia.	52
Figura III.13. Eje interior.....	53
Figura III.14. Cadena montada sobre los piñones.	54
Figura III.15. Representación equilibrio de fuerzas.....	55
Figura III.16. Modelo en tres dimensiones para la fabricación del molde.	57
Figura III.17. Representación del interior del molde.....	58
Figura III.18. Fijación del molde al soporte.	58
Figura III.19. Representación del molde unido al marco interior.....	59
Figura III.20. (a) Perfil cuadrado hueco 20x20. (b) Perfil estructural 20x20.	60
Grafica III.1. Comparativa entre ABS (a) ¹ y PLA (b) ²	61
Figura III.20. (a) Piñón RS PRO 13 dientes. (b) Piñón RS PRO 25 dientes.....	65
Figura III.21. Interfaz de selección de datos de KISSsys.....	67
Figura III.22. Resultados cálculo de transmisión por cadena.	67
Figura III.22. Engranaje cónico RS PRO, 20 dientes. <i>RS Pro Datasheet</i>	68
Figura III.23. Resultados cálculo de engranajes poliméricos.	69
Figura III.24. Engranaje cónico RS PRO, 25 dientes. <i>RS Pro Datasheet</i>	70
Figura III.25. Resultados cálculo de engranajes poliméricos.	71

Figura III.26. Representación de los marcos móviles junto con su centro de gravedad y la distancia de este al eje de giro.	73
Figura III.27. Motorreductor DC con escobillas RS PRO.	74
Figura III.28. Conexión de fuente de alimentación RS PRO.	75
Figura III.29. Conector hembra DC, Montaje en panel recto 12 V.	75
Figura III.30. Variador de velocidad para motor de corriente continua.	76
Figura III.31. Comparación diagrama tensión deformación entre distintas impresiones 3D en función del ángulo de alineación de las fibras con respecto a la fuerza aplicada.	78
Figura III.32. Tabla de propiedades físicas de SolidWorks.	80
Figura III.32. Escuadra sobre la que se realizará el análisis estático.	81
Figura III.33. Tensión equivalente von-Mises (MPa).	82
Figura III.34. Deformación total (mm).	83
Figura III.35. Ambos soportes cojinete.	83
Figura III.36. Tensión equivalente von-Mises (MPa).	84
Figura III.37. Deformación total (mm).	85
Figura III.38. Parte central.	86
Figura III.39. Cálculo de fuerza necesaria (F_2) para el equilibrio de momentos.	86
Figura III. 40. Representación de fuerzas engranajes cónicos.	87
Figura III.41. Tensión equivalente von-Mises (MPa).	88
Figura III.42. Deformación total (mm).	89
Figura III.43. Escuadra eje engranaje.	90
Figura III.43. Tensión equivalente von-Mises (MPa).	91
Figura III.44. Deformación total (mm).	91
Figura III.45. Soporte lateral cadena.	92

Figura III.46. Tensión equivalente von-Mises (MPa).	93
Figura III.47. Deformación total (mm).....	94
Figura III.48. Soporte lateral motor.....	95
Figura III.49. Tensión equivalente von-Mises (MPa).	96
Figura III.50. Deformación total (mm).....	96
Figura III.51. Base del motor.....	97
Figura III.52. Tensión equivalente von-Mises (MPa).	98
Figura III.53. Deformación total (mm).....	98
Figura III.54. Impresión 3D de componentes para máquina.....	102
Figura III.55. Prototipo de la máquina de rotomoldeo.	103

LISTADO DE TABLAS

Tabla III.1. Características y dimensiones de los piñones seleccionado. <i>RS Pro Datasheet</i>	66
Tabla III.2. Tabla de dimensiones y características cadena seleccionada. <i>RS Pro Datasheet</i>	67
Tabla III.3. Tabla de dimensiones y características engranaje cónico RS PRO. <i>RS Pro Datasheet</i>	69
Tabla III.4. Tabla de dimensiones y características engranaje cónico RS PRO. <i>RS Pro Datasheet</i>	71
Tabla III.5. Parámetros físicos del PLA para el cálculo resistente.	78
Tabla III.6. Tabla de masas de los distintas partes de la máquina. Todos los cálculos de masas han sido realizados por SolidWorks.	80
Tabla III.7. Masa de las piezas y subensambles que soportará la pieza. Todos los cálculos de masas han sido realizados por SolidWorks.	93
Tabla III.8. Masa de las piezas y subensambles que soportará la pieza. Todos los cálculos de masas han sido realizados por SolidWorks.	95

I. INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

I.1. PROCESO DE ROTOMOLDEO.

I.1.1. Introducción.

El rotomoldeo o moldeo rotacional es un proceso de conformado de materiales poliméricos empleado en la producción de piezas huecas. Para este proceso, el material plástico en forma de granza o polvo se vierten dentro de un molde que seguidamente se cierra y hace girar simultáneamente en sus dos ejes mientras se realiza un aporte de calor al molde. El polímero en el interior del molde pasa de estado sólido a líquido a la vez que se distribuye uniformemente y se adhiere a toda la superficie interna del molde. Finalmente, el molde se enfría a temperatura ambiente o mediante refrigeración forzada y se extrae una pieza terminada. En las últimas décadas, el proceso de rotomoldeo ha sufrido un gran auge en la industria debido a sus cualidades. Hoy en día, el rotomoldeo es un proceso maduro a nivel de equipo, materiales y técnicas de control.

Una de las grandes ventajas de este proceso es la gran libertad de diseño que ofrece, pudiéndose fabricar objetos con formas complejas y tamaños muy dispares que oscilan entre unos pocos centímetros hasta piezas de tres o cuatro metros de altura.

En la fabricación de algunas piezas huecas, con geometría de curva compleja, pared uniforme y "contrasalías", el moldeo rotativo se posiciona como una alternativa de menor coste que el moldeo por soplado. Como ventaja añadida, debido a las bajas presiones utilizadas en el rotomoldeo, se producen piezas cuyas tensiones internas son internas mínimas, las cuales exhiben un buen comportamiento mecánico debido a su mayor solidez en comparación con las piezas producidas por inyección o soplado. Los niveles de producción del proceso pueden variar desde tiradas cortas de pocas piezas hasta cientos o miles de artículos. También es adecuado para producción a pequeña escala con el fin de obtener prototipos. Además, el bajo coste del proceso permite la implementación de diversos materiales y experimentación con el espesor de pared o con el acabado de las piezas.

Las aplicaciones del rotomoldeo van desde pequeñas piezas como juguetes, donde el moldeo rotacional lleva años posicionado como líder a nivel industrial, hasta artículos con grandes dimensiones y altos requerimientos mecánicos como depósitos o contenedores.

Los materiales más empleados en este proceso de conformado son: polietileno de alta densidad, poliamida y polivinilo clorado (plastisol). La introducción de los materiales en forma de polvo agiliza el proceso permitiendo que el calor pase de las paredes del molde al material de una forma más rápida y mejora la calidad final del proceso disminuyendo la probabilidad de poros o grumos que podrían poner en riesgo la integridad de la pieza.

Los espesores de pared generalmente son constantes y oscilan entre un milímetro hasta el grosor que requiera la pieza, siendo el límite de este en que permita una correcta polimerización del material.

I.1.2. Historia y evolución.

El proceso de moldeo rotativo tal y como se conoce actualmente se puede datar de 1855 cuando R. Peters, un ingeniero británico, documentó un proceso de conformado aditivo basado en la rotación de dos ejes coaxiales para crear proyectiles de artillería fabricados de metal.

En la década del 1900, la compañía estadounidense FA Voelke comenzó a emplear este método en la fabricación de objetos de cera. Tras la introducción del nuevo método en Estados Unidos, varias empresas lo adoptaron y lo emplearon en con distintos materiales y para diversas aplicaciones, desde la producción de huevos de chocolate (SG de Baker's y GW Perks's) hasta adornos y figuras de yeso (RJ Powell).

La segunda guerra mundial supuso un gran avance en la industria química y en la creación de materiales poliméricos. El proceso de rotomoldeo de materiales poliméricos tal y como se conoce hoy en día surge en la década de 1950 en Estados Unidos y su principal impulsor fue la industria juguetera con la fabricación de cabezas de muñecas.

El proceso se fue popularizando en las siguientes décadas con junto con la creciente demanda mundial de productos. Durante la década de 1960 se desarrolló en Europa el proceso “Engel” que permitió la creación de grandes recipientes huecos de polietileno.



Figura I.1. “Continuous Rotomolding Machine, McNeil-Akron, 1962”. Máquina de rotomoldeo continuo McNeil-Akron, 1962.

En 1976 se creó en Chicago la “Association of Rotational Moulders” (ARM). El objetivo de esta organización a nivel mundial es el de aumentar el conocimiento de la tecnología del proceso de rotomoldeo.

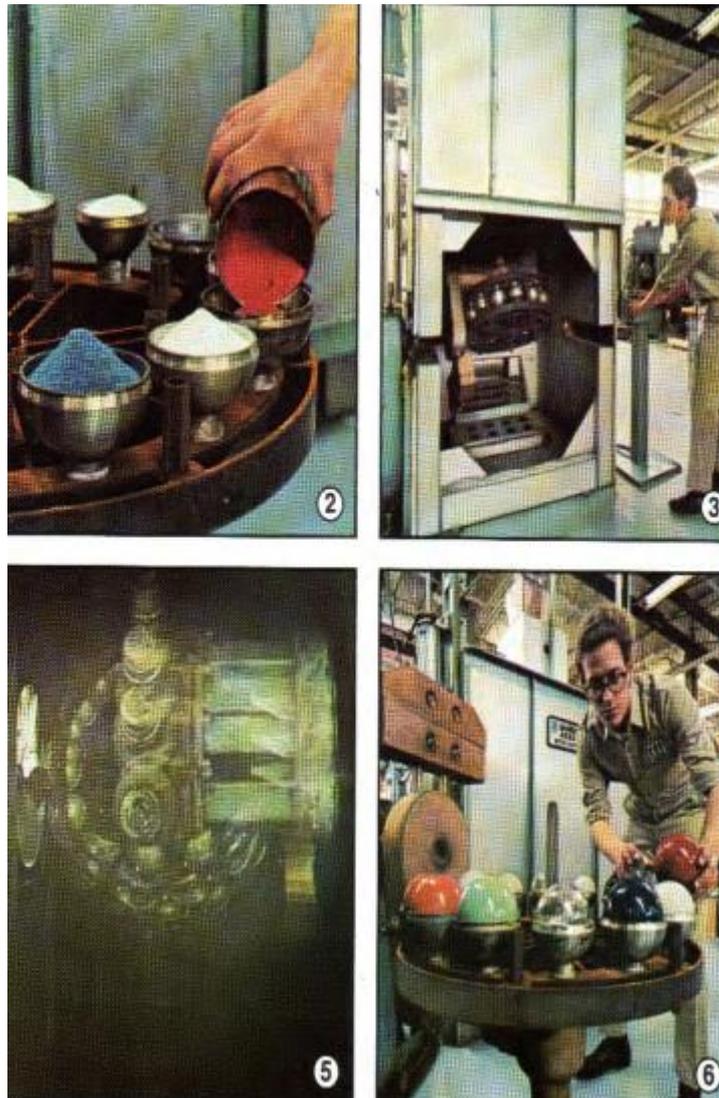


Figura I.2. Máquina de rotomoldeo de policarbonato (1973).

Las décadas de 1980 y 1990 fueron décadas de experimentación donde se añadieron nuevos materiales como el policarbonato, el nylon y el poliéster.

Ya entrada la década del 2000 los avances en tecnología de materiales permitieron el uso de polímeros más especializados como el PBT y el Pibifles Elastomeric, materiales altamente especializados para usos concretos.

I.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ROTOMOLDEO.

El proceso de rotomoldeo se clasifica como un proceso de conformado de materiales poliméricos a alta temperatura y presión atmosférica que emplea el calor y la rotación biaxial para producir piezas huecas con un espesor de pared uniforme. Según el tiempo de ciclo este método puede catalogarse como de ciclo largo (tiempos de ciclo generalmente superiores a una hora).

El proceso se divide en cuatro etapas tal y como se aprecia en la imagen (Figura.I.3.).

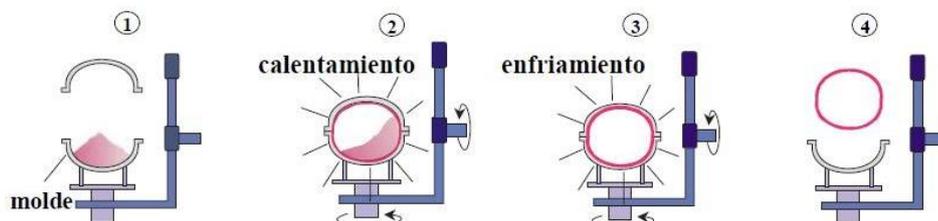


Figura I.3. (1) Introducción del material: el material en forma líquida o de polvo se introduce en el molde. (2) El molde se cierra y se le aplica calor, de forma simultáneamente, este rota simultáneamente en sus dos ejes. (3) Tras la fusión del material, la fuente de calor cesa a la vez que se mantiene la rotación del molde. (4) La pieza terminada se extrae del molde.

Como se ha dicho, dependiendo del tipo de materia prima esta puede introducirse en el molde en forma de polvo o líquido. El tamaño de las partículas de polvo empleadas en rotomoldeo oscila entre los 100 y 500 micrómetros dependiendo del polímero empleado.

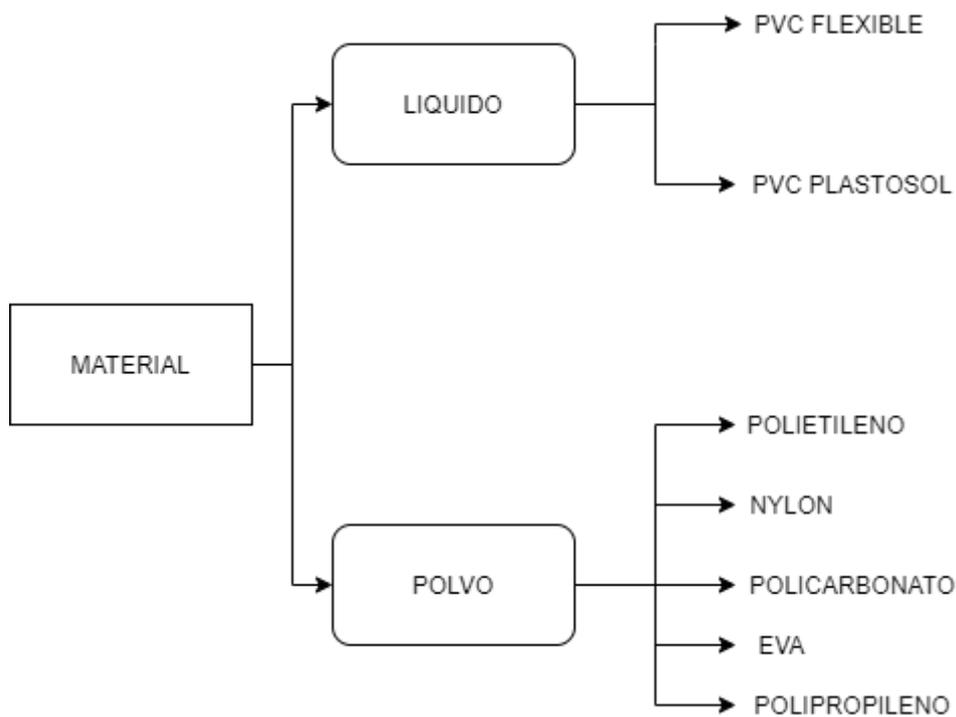


Figura I.4. Tipos de polímeros empleados en la fabricación rotativa y la forma en la que se introducen en el molde.

Según del tipo de materia prima que se emplee se en el conformado dependerá los tiempos de calentamiento, así como la velocidad de rotación del molde. De la misma forma el material y el tipo de molde determinan el tiempo de enfriamiento.



Figura I.5. Carga de material líquido (plastisol) mediante pistola.

I.3. TIPOS DE EQUIPOS DE ROTOMOLDEO.

Existe una gran variedad de formas y tamaños dentro de las máquinas de fabricación rotativa. Comparada con otros procesos de conformado de materiales poliméricos, los equipos empleados son mucho más simples y económicos.

Las máquinas se pueden clasificar según la forma de calentar el material.



Figura I.5. Clasificación de los equipos de rotomoldeo atendiendo a la forma de aplicar calor al molde.

I.3.1 Máquina de desplazamiento lineal.

En este tipo de equipos, los moldes son introducidos en el horno alternativamente en un eje lineal. De este modo se consigue que mientras que uno se encuentra en etapa de calentamiento el otro se encuentre en etapa de enfriamiento y desmolde, lo que reduce tiempos y aumenta la productividad.



Figura I.6. Máquina de rotomoldeo de desplazamiento lineal.

I.3.2 Estación simple.

A este equipo se le conoce como “estación concha de almeja”. Se trata de un equipo con un único brazo y un solo molde que se introduce en un horno.



Figura I.7. Estación simple de moldeo rotativo.

I.3.3 Giro basculante (Rock and Roll).

En este tipo de equipos el molde rota en el eje vertical en un giro de 360 grados a la vez que se balancea alrededor del eje horizontal sin llegar a completar una vuelta completa.



Figura I.8. Máquina de giro basculante.

I.3.4 Carrusel.

Este tipo de estaciones constan de varios brazos (generalmente entre tres y cuatro) a los que están acoplados varios moldes. Cada uno de los brazos gira a sus moldes biaxialmente y, dependiendo del número de brazos, siempre hay un brazo en cada una de las fases del proceso (calentamiento, enfriamiento o desmoldado).

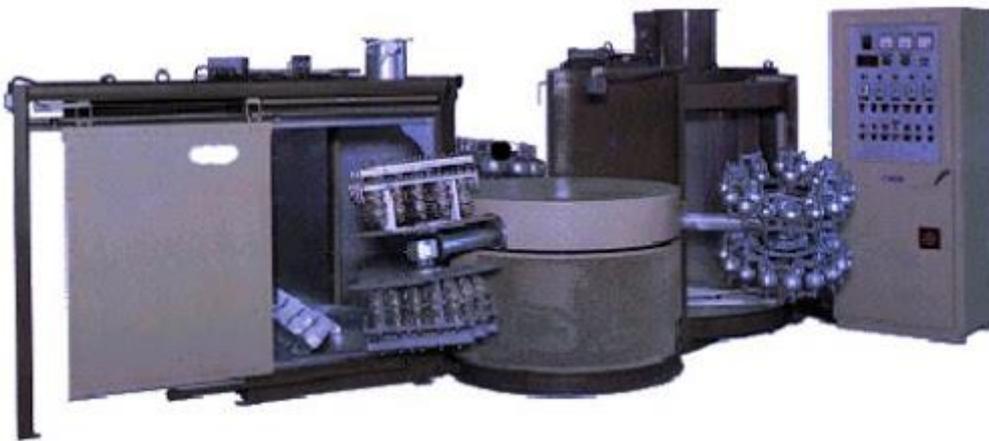


Figura I.9. Máquina de carrusel de tres brazos.

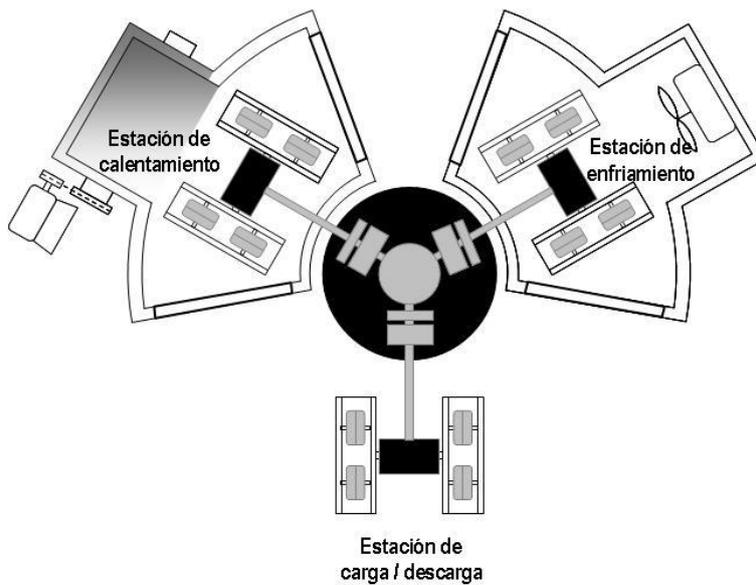


Figura I.10. Disposición de los brazos en una máquina de carrusel de tres brazos.

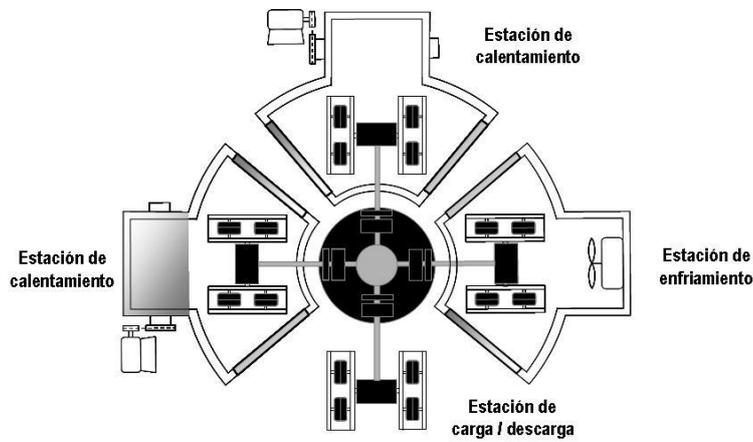


Figura I.10. Disposición de los brazos en una máquina de carrusel de cuatro brazos.

I.3.5 Máquinas de flama abierta.

Este tipo de equipos resultan los más simples y económicos de adquirir y mantener. Como su nombre indica, la forma de calentar el molde es mediante una flama originada de la quema de un gas derivado del petróleo (generalmente gas natural o propano).



Figura I.11. Equipos de flama abierta de un solo brazo.

I.4. VENTAJAS Y LIMITACIONES DEL PROCESO DE ROTOMOLDEO.

Son diversas las ventajas del moldeo rotativo con respecto a otras técnicas de conformado de materiales poliméricos. Algunas de estas son:

- Gran flexibilidad en la geometría, diseño y dimensiones de las piezas a fabricar
- Permite la obtención de formas complicadas.
- Buenos acabados superficiales sin necesidad de postproceso.
- Se pueden fabricar piezas con insertos metálicos y otros tipos de refuerzos
- Productos de una sola pieza sin soldaduras que puedan afectar a la integridad estructural de estos.,
- Bajo coste de equipos y mano de obra poco cualificada.

Del mismo modo que el rotomoldeo tiene múltiples ventajas también se ha de tener en cuenta sus limitaciones. Estas son:

- Diseños limitados a piezas basadas en geometrías de revolución.
- Proceso lento. Tiempos de procesado altos comparados con otros procesos de conformado de materiales poliméricos.
- El costo de la materia prima se encarece por la necesidad de procesarla en forma de polvo.

I.5. APLICACIONES.

El rotomoldeo comprende un gran campo de aplicación en diversos sectores como son la industria juguetera, el sector automovilístico y del transporte, la fabricación de equipos agrónomos etc.

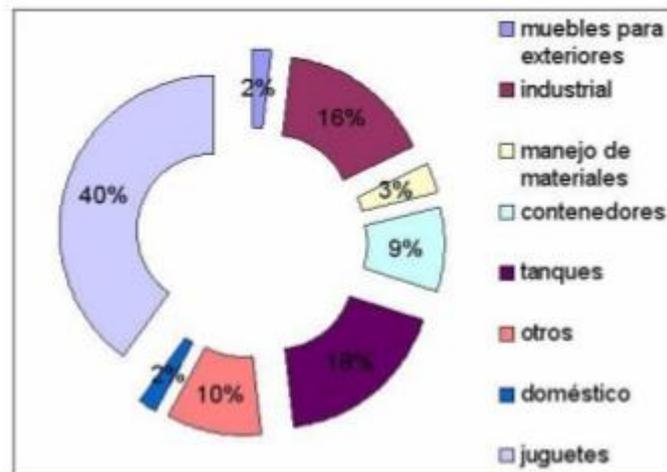


Figura I.12. Distribución de mercado para productos obtenidos mediante rotomoldeo en Estados Unidos.



Figura I.13. Productos obtenidos por rotomoldeo.

II. OBJETIVOS

OBJETIVOS

II. Objetivos

II.1. OBJETIVO GENERAL.

El objeto de este proyecto es el diseño y desarrollo de una máquina de rotomoldeo para la fabricación de productos poliméricos huecos de pequeñas dimensiones en el laboratorio CBL1. Los equipos de procesado por rotomoldeo son equipos de grandes dimensiones que no tienen cabida en un entorno educacional. El proyecto consiste en el diseño y fabricación de un prototipo funcional de máquina de rotomoldeo de pequeñas dimensiones para la realización de prácticas de laboratorio. Se trata de un proyecto multidisciplinar que incluye muchas competencias del Grado en Ingeniería Mecánica tales como, pre-diseño, estudio de hipótesis de carga, análisis estructural, cálculo de mecanismos, fabricación aditiva, valoración de costes y desarrollo funcional de un prototipo.

II.2. OBJETIVOS PARTICULARES.

Después de listar los diferentes objetivos, se puede resumir todo el trabajo en un diagrama de flujo donde se muestren claramente todas las etapas desarrolladas y su vinculación con los objetivos.

1.- Definir requisitos y limitaciones. Se abordarán de modo general cuáles serán los requerimientos y limitaciones con las que a de contar la máquina de rotomoldeo.

2.- Diseñar preliminarmente los componentes de la máquina de rotomoldeo. Se establecerán las distintas partes que compondrán la máquina, así como sus dimensiones y funcionamiento.

3.- Seleccionar materiales de cada componente. Se llevará a cabo una selección justificada del material con el que estará fabricado cada uno de los componentes

II. Objetivos

- 4.- **Diseño y calculó los mecanismos de transmisión de potencia.** Se llevará a cabo la selección de los componentes encargados de transmitir potencia, así como el cálculo mecánico que garantice su correcto desempeño.
- 5.- **Calcular y seleccionar el motor eléctrico.** Determinación de los requerimientos de par, potencia y velocidad de rotación del equipo y posterior selección de un motor que se adapte a dichos requerimientos.
- 6.- **Calcular y determinar lo componentes.** Análisis mediante FEM (análisis por elementos finitos) de diversos componentes del equipo.
- 7.- **Analizar económicamente del producto desarrollado.** Presupuesto detallado de cada uno de los componentes.
- 8.- **Fabricar de la máquina.** El objetivo final del proyecto es la fabricación de un prototipo funcional de una máquina de rotomoldeo.

III. DESARROLLO PROYECTO

**DESARROLLO
PROYECTO**

III.1. DEFINIR REQUISITOS Y LIMITACIONES.

III.1.1. Descripción del proceso de rotomoldeo.

El proceso de rotomoldeo o moldeo rotacional es proceso de conformado de materiales poliméricos que se basa en la fuerza centrífuga para que el polímero se adhiera a las paredes de un molde cerrado y conseguir de esta forma una pieza hueca con un espesor de pared uniforme. Este proceso permite gran libertad de diseño pues es posible la realización de artículos con diferentes tamaños y formas a bajo costo y con una inversión inicial relativamente baja comparada con otros procesos de conformado de materiales poliméricos.

La variedad de formas y tamaños de los artículos conformados por esta técnica es muy grande. Desde juguetes y pelotas de plástico de pocos centímetros de diámetro hasta grandes contenedores y depósitos de varios metros de altura. El espesor de las paredes es constante y varía desde un milímetro hasta varios centímetros dependiendo del cometido de la pieza.

Lo componentes básicos de toda máquina de rotomoldeo:

Marco o chasis biaxial: Se trata de un soporte donde va montado el molde. Este soporte permite el giro del molde en dos ejes simultáneamente.

Molde cerrado: El diseño y tamaño del molde varían mucho dependiendo de la pieza. Generalmente se trata de moldes compuestos por dos partes independientes entre sí que se separan para el desmoldeo de la pieza. Los materiales más comunes son acero o aluminio.

III.1.2. Limitaciones en el diseño.

Los principales criterios en los que se basa el diseño de la máquina son funcionalidad, simplicidad, portabilidad y economicidad.

Se pretende que la máquina tenga un tamaño compacto pero suficiente para poder moldear una pieza de geometría esférica de un máximo de 40 mm de diámetro.

La máquina debe rotar en dos ejes de rotación de forma simultánea pero la velocidad de rotación en ellos no debe ser la misma ya que, de esa manera, la geometría producida sería una esfera y la distribución del polímero no sería la correcta. basándose en la documentación actual y en el diseño de máquinas industriales, se buscará una relación de giro de los ejes de en torno a 2:1.

Para la determinación de la velocidad de rotación se usará como referencia los diferentes modelos existentes a nivel industrial considerándose esta con un valor máximo de 6 rpm.

Ante el reto técnico y el aumento en términos económicos que supondría la incorporación de una fuente de calor para el molde o la capacidad de introducir la máquina en un horno para así poder realizar el moldeo de materiales termoestables, se opta porque el molde trabaje únicamente con resinas termoestables que solidifiquen a temperatura ambiente.

III.2. DISEÑAR PRELIMINARMENTE LOS COMPONENTES DE LA MÁQUINA DE ROTOMOLDEO.

En este apartado se describen los diferentes componentes de la máquina, así como la justificación de su elección.

III.2.1. Marcos móviles.

Como se ha comentado en el apartado 1, la máquina debe contar con un chasis biaxial capaz de llevar la rotación del molde en dos ejes de forma simultánea.

La solución por la que se opta es la de dos marcos concéntricos, uno interior y otro exterior tal i como se muestra en la figura III.1. Sobre el marco interior irá montado el molde que contendrá el polímero que conformará la pieza.

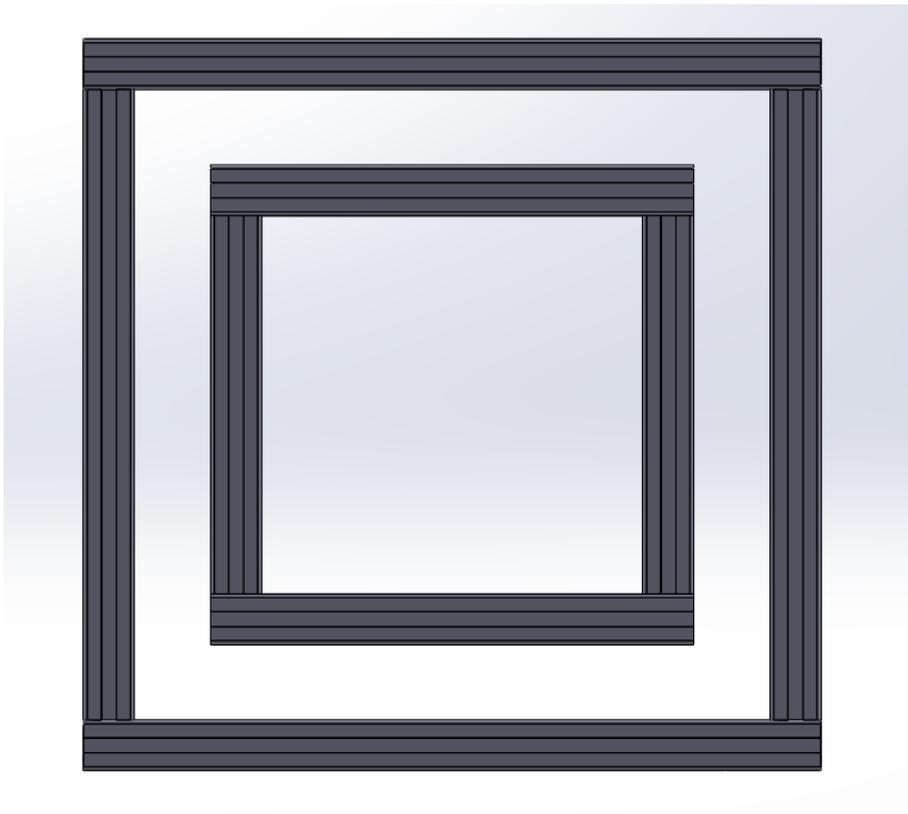


Figura III.1. Detalle de marcos móviles

Estos marcos estarán formados por perfiles de aluminio de 20 x 20 mm fijados entre sí mediante escuadras de impresas en 3D fijadas a los perfiles mediante uniones con tornillos.

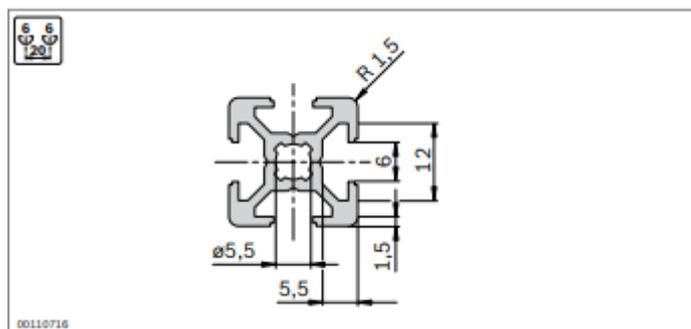


Figura III.2. Perfil de aluminio seleccionado.

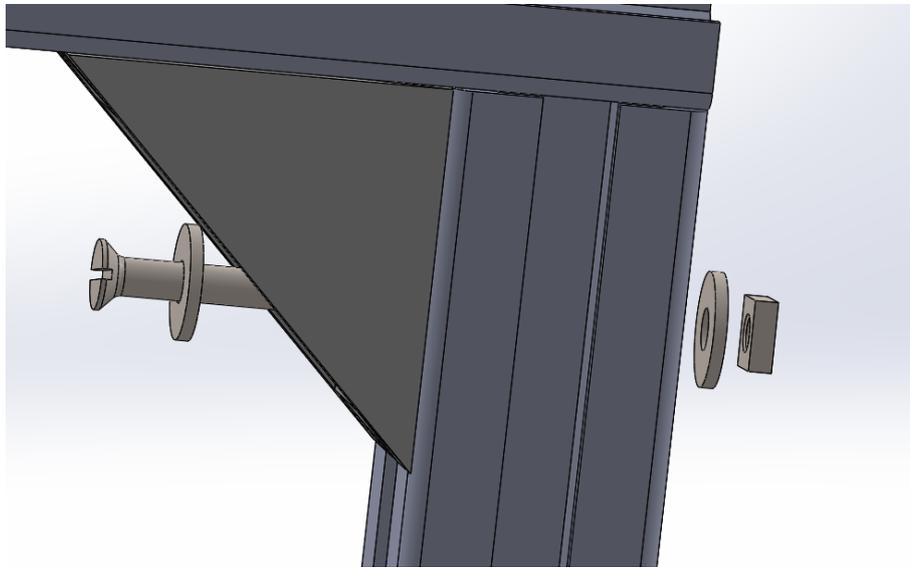


Figura III.3. Representación del entre las escuadras y los perfiles mediante tornillos.

III.2.2. Soportes laterales.

El marco exterior estará unido a la base por medio de dos soportes laterales. Estos soportes laterales estarán formados por perfiles de aluminio unidos entre sí mediante escuadras fijadas por tornillos y otra pieza que hará la función de sujetar el eje. Los soportes laterales se encargan de sujetar los marcos móviles interiores y fijarlos a la base.



Figura III.4. Soportes laterales.

Uno de los dos soportes laterales contará con una sujeción para el motor de la máquina.

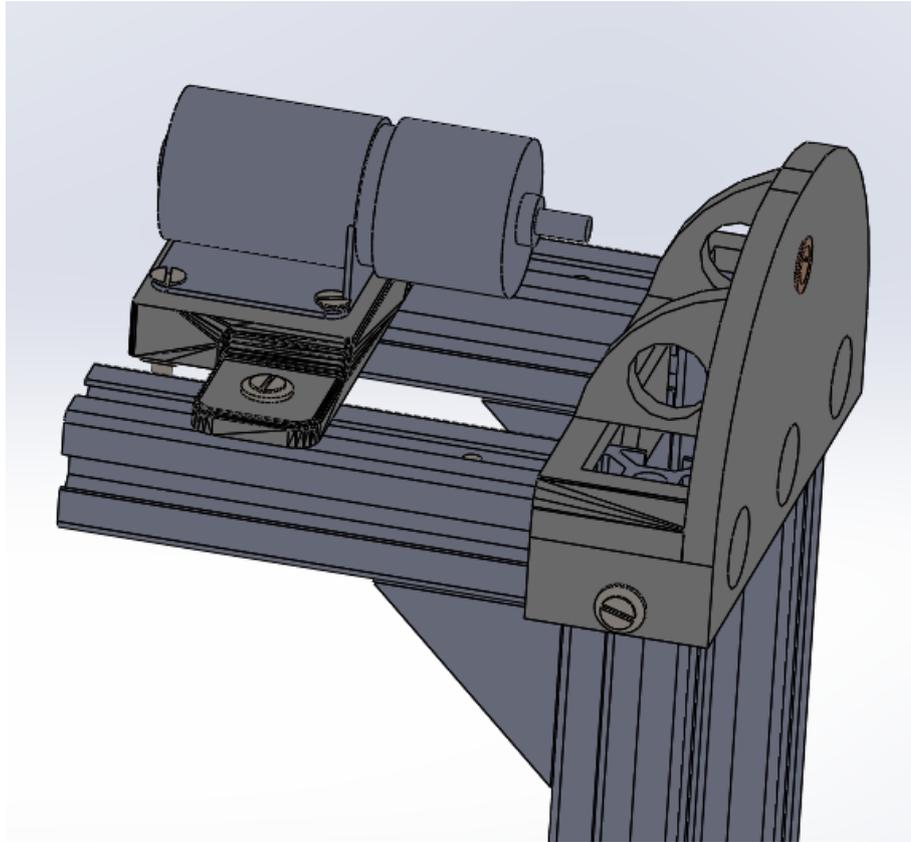


Figura III.5. Detalle del soporte del motor.

A su vez, estas patas van fijadas a una base de madera por medio de unas piezas que irán fijadas por tirafondos.

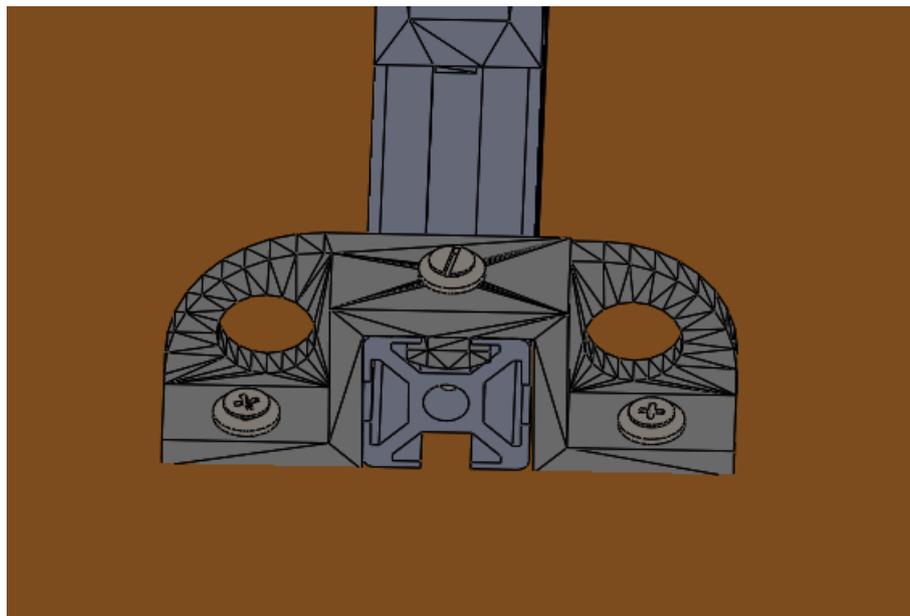


Figura III.6. Detalle de la fijación.

III.2.3. Ejes y elementos transmisores de potencia.

Dentro de este apartado se pueden diferenciar dos tipos de ejes, los encargados de transmitir potencia y los que no.

III.2.3.1 Ejes transmisores de potencia.

En primer lugar, se tiene el eje encargado de transmitir la potencia desde el motor hasta el marco exterior. Este será el responsable del giro del molde alrededor del eje X.

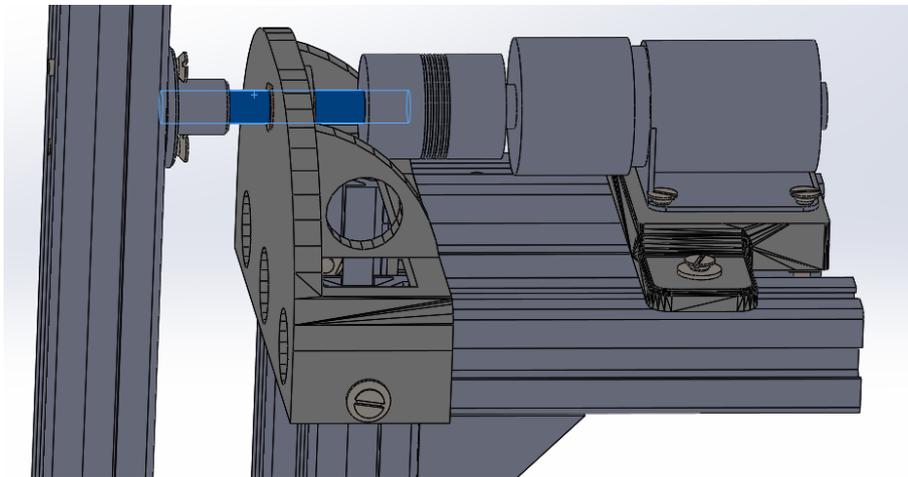


Figura III.7. Detalle eje de conexión entre el motor y el marco exterior.

La transmisión de potencia a del motor al eje se llevará a cabo a través de un acoplamiento de aluminio. Este acople une el eje y el motor mediante ocho espárragos roscados que los fijan mediante presión.



Figura III.8. Acople de aluminio.

El eje transmitirá la potencia hasta un acoplamiento fijado al marco exterior mediante dos tornillos. La fijación de eje se realiza mediante presión por medio de dos espárragos roscados.



Figura III.9. Brida de fijación de aluminio.

En la parte superior de la máquina se sitúa otro eje de encargado de transmitir la potencia de la cadena a los engranajes. La fijación con estos elementos se realiza mediante espárragos roscados que unen los elementos mediante presión.



Figura III.10. Eje que conecta un piñón con uno de los piñones.

El eje se apoya sobre dos casquillos y la potencia se transmite por unos espárragos roscados que fijan piñón y engranaje al aje.

El último eje transmisor de potencia se encarga de hacer girar el marco interior en el eje Y, completando así el movimiento de la máquina.

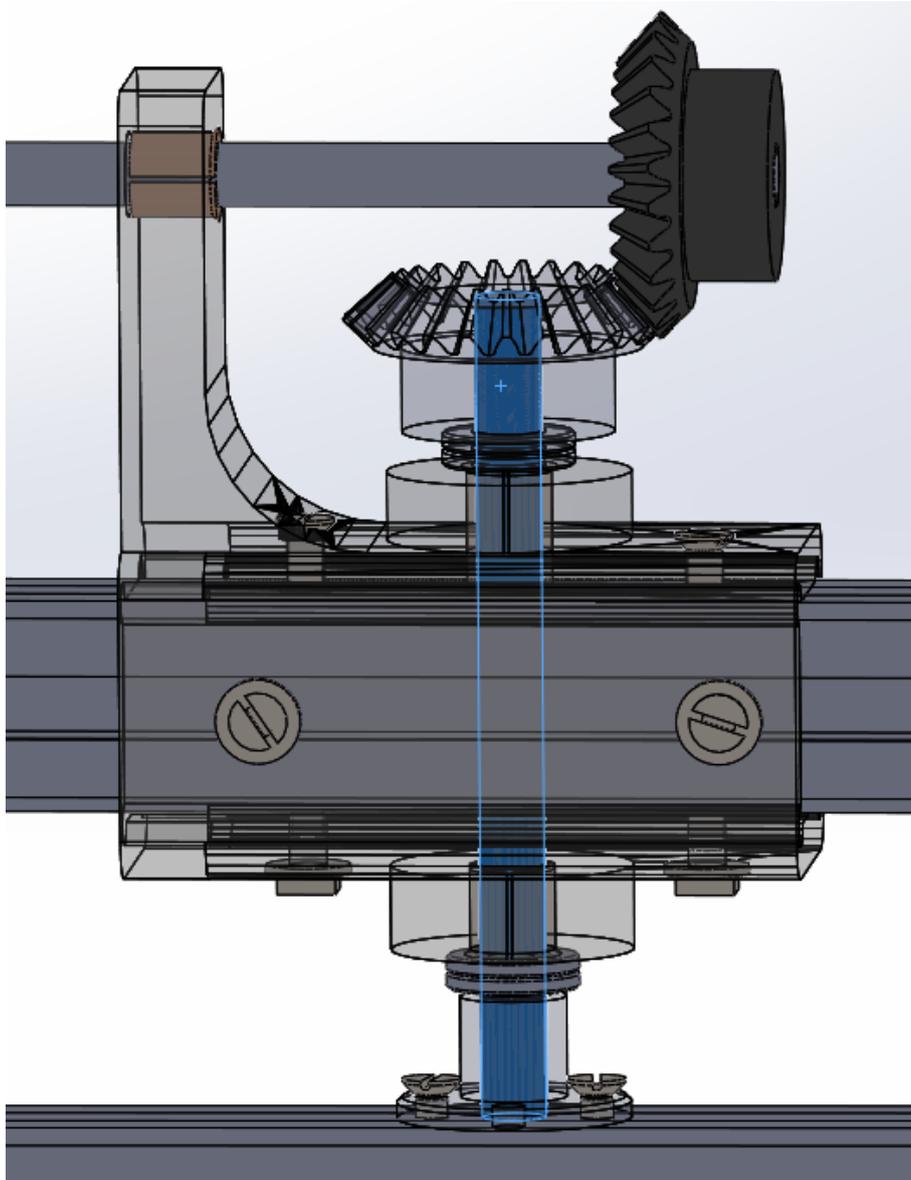


Figura III.11. Eje que conecta un engranaje con el marco interior.

El eje está fijado al engranaje por espárragos roscados y al marco interior por un acople idéntico al mencionado anteriormente. Para evitar la fricción entre componentes plásticos y metálico se optó por poner dos arandelas.

III.2.3.2. Ejes sin transmisión de potencia.

En el lado opuesto del marco exterior se sitúa otro eje que gira libremente sobre un casquillo. Este eje está fijado al marco exterior y gira libremente sobre un casquillo de latón situado en el soporte lateral.

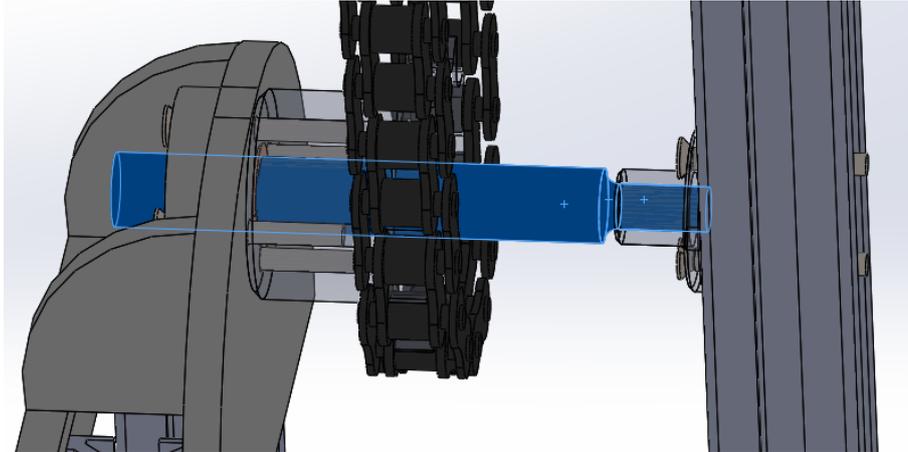


Figura III.12. Eje cadena. Eje no transmisor de potencia.

Por último, la fijación de marco interior en el eje Y se consigue mediante un pequeño eje situado entre dos piezas de PLA. El eje se apoya sobre dos casquillos de latón montados a su vez sobre dos acoples fijados sobre los marcos interior y exterior.

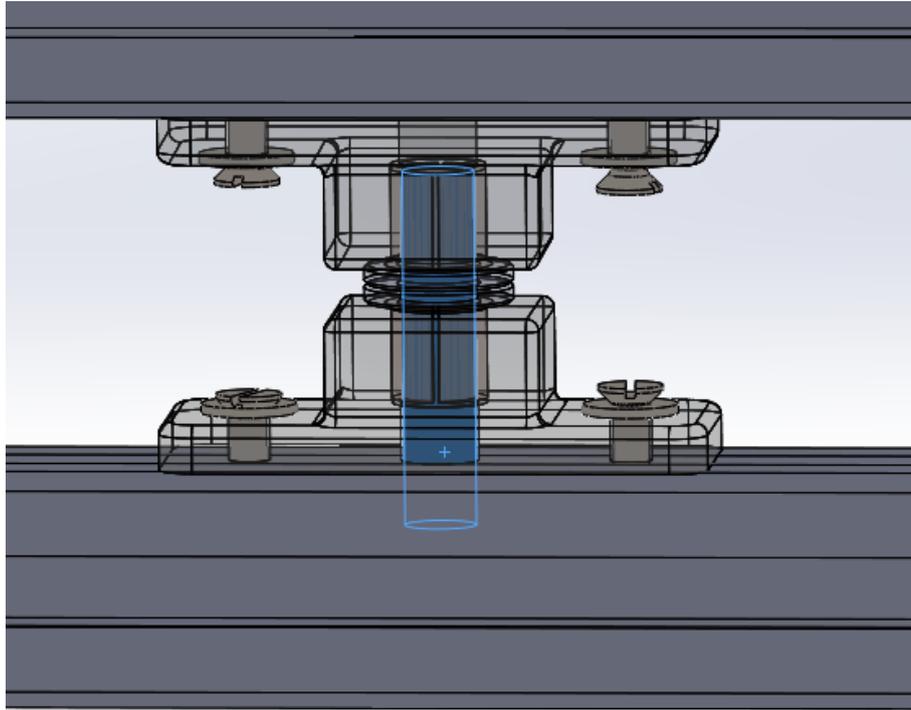


Figura III.13. Eje interior.

III.2.4. Sistema de transmisión de potencia por cadena.

Para la transmisión de potencia desde un eje a otro se barajaron dos posibles soluciones. La primera opción a considerar fue la de una transmisión por correa. Esta opción se descartó debido a la poca disponibilidad de correas de las dimensiones requeridas para la máquina y al mayor estrés mecánico y fatiga al que se verían sometidos los componentes de PLA debido a la tensión que requiere la polea para funcionar.

En cambio, una cadena ofrece la opción de poderse cortar y adaptarse a la distancia entre ejes que se desee. Además, dado que las potencias a transmitir son bajas no es requiere tensor para que funcione correctamente liberando así de ese estrés a los componentes de PLA. Por estos motivos se optó por la transmisión por cadena.

El funcionamiento de esta cadena se basa en un piñón fijo mediante tornillos a un lateral de la máquina. Al girar el marco exterior debido al motor que lleva acoplado el piñón pequeño quedará fijo, de esta forma, al girar el marco exterior, ese movimiento relativo del marco con respecto al piñón hace que el piñón superior gire haciendo girar a su vez el eje que lleva acoplado.

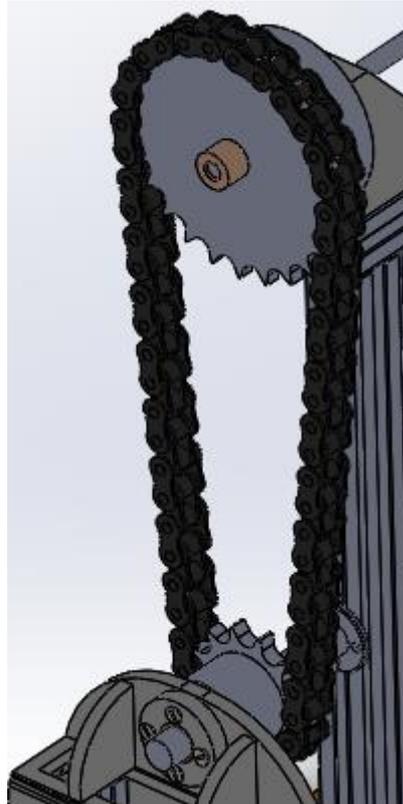


Figura III.14. Cadena montada sobre los piñones.

III.2.5. Contrapeso.

Como era de esperar el peso de los piñones y engranajes desequilibra el marco exterior. Debido a esto el par que tiene que proporcionar el motor es muy alto lo que llevaría a usar un motor mucho más potente.

La solución por la que se optó fue la de instalar un contrapeso de acero con el fin de reducir la potencia del motor, así como de dotar a la máquina de un giro más estable y fluido.

Para el dimensionamiento de este se hizo redujo el sistema a una igualdad de momentos. Se cuantificó la carga en uno de los extremos del marco y se procedió igualarla por medio del contrapeso.

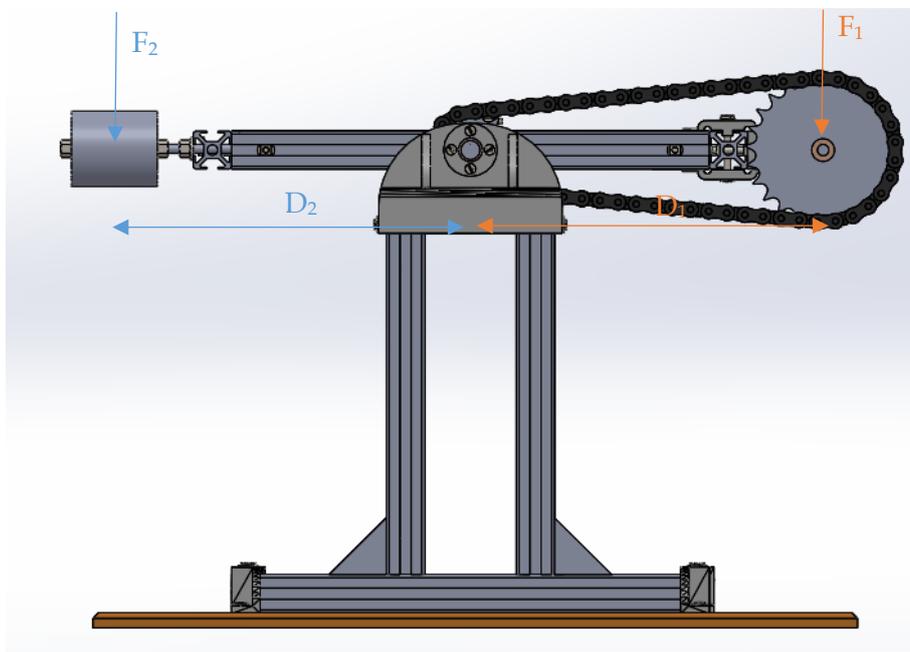


Figura III.15. Representación equilibrio de fuerzas.

Una vez conocida F_2 y considerando una densidad del acero de 7.850 kg/m^3 se puede determinar el volumen del contrapeso.

Se fija un diámetro de 40 mm. Con este diámetro, la altura obtenida es de 45 mm.

El contrapeso se encuentra unido al marco exterior mediante una varilla roscada y cuatro tuercas.

III.2.6. Molde y soporte.

III.2.6.1. Diseño del molde.

Para el diseño del molde se busca un método que permita una fijación simple, pero a su vez estable y fiable para soportar el movimiento rotativo y las vibraciones provocadas por el propio funcionamiento de la máquina.

Como es lógico el diseño del soporte viene en consonancia con el del molde, por tanto, el primer paso es su dimensionado. Al ser una máquina de uso didáctico el volumen de las piezas a fabricar debe ser reducido con el fin de reducir el material empleado.

En el laboratorio de materiales se cuenta con el equipo necesario para la fabricación de moldes de silicona. Se trata de equipos para la fabricación de moldes de los llamados "moldes de taco", un tipo de molde de silicona simple y rápido de fabricar. En el laboratorio se cuenta con cajas de distintos tamaños, se elige una con unas dimensiones de 100x100x50 mm.

Una vez determinado el volumen del molde se debe seleccionar cual será el modelo o pieza a fabricar. En la web se pueden encontrar modelos para impresión 3D que se pueden descargar de forma gratuita.

En la web <https://www.yeggi.com/> se selecciona un modelo que se considera apropiado para este método de fabricación.

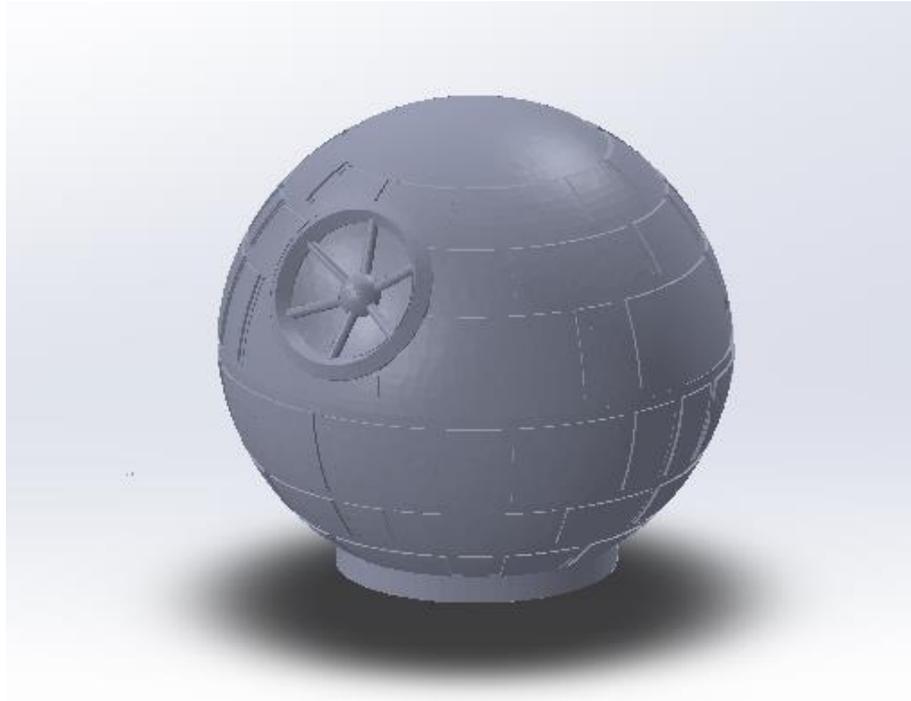


Figura III.16. Modelo en tres dimensiones para la fabricación del molde.

El rotomoldeo es un proceso empleado en sólidos de revolución por lo que esta pieza, al ser esférica y contar con una superficie con mucho detalle es una buena representación de este método de fabricación.

Previamente a la fabricación del molde se imprimirá el modelo mediante impresión 3D, posteriormente se procederá a la realización del molde.

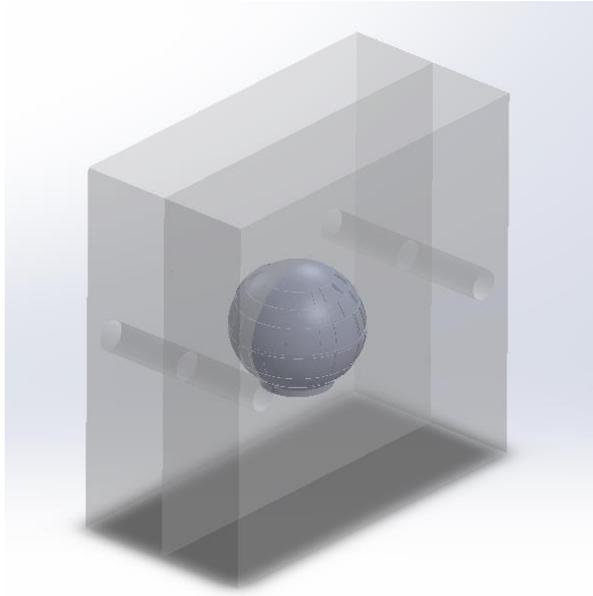


Figura III.17. Representación del interior del molde.

III.2.6.2. Diseño del soporte.

Para la sujeción del molde se optó por un sistema que combina una sujeción mecánica por pivotes con una sujeción por presión.

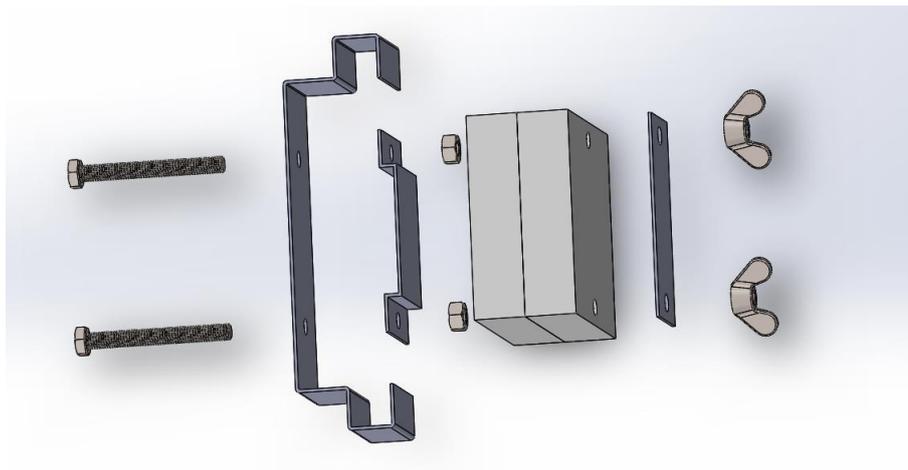


Figura III.18. Fijación del molde al soporte.

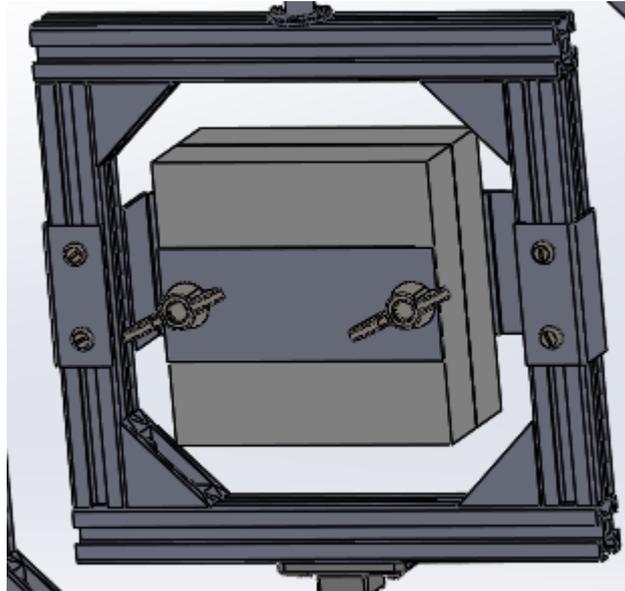


Figura III.19. Representación del molde unido al marco interior..

Como se puede ver en las imágenes, el soporte consta de dos chapas unidas entre sí mediante dos tornillos y estos a su vez sujetan el molde y otra chapa que hace la función de presionar el molde. La fijación del conjunto se hará mediante dos tuercas de mariposa para un fácil montaje del molde. Finalmente, el soporte irá fijado al marco interior mediante cuatro tornillos.

III.3. SELECCIÓN DE MATERIALES .

III.3.1. Perfiles y marcos.

En cuanto a la selección de materiales se seguirá los criterios de la ligereza, economicidad, disponibilidad y facilidad de mecanizado o fabricación.

Para la estructura, y soportes se optó por perfiles de perfil de aluminio, perfil de 20 x 20 mm. El aluminio otorga una buena resistencia mecánica con un fácil mecanizado. En adición a esto, este tipo de perfil otorga a una mayor rigidez y ligereza a los componentes de la máquina.

Para la selección del tipo de perfil se consideraron los perfiles cuadrados huecos. Sin embargo, esta idea se descartó ante la mayor rigidez de los perfiles estructurales, la geometría de estos a la que permite ocultar las tuercas y su mayor economicidad respecto al perfil cuadrado hueco.

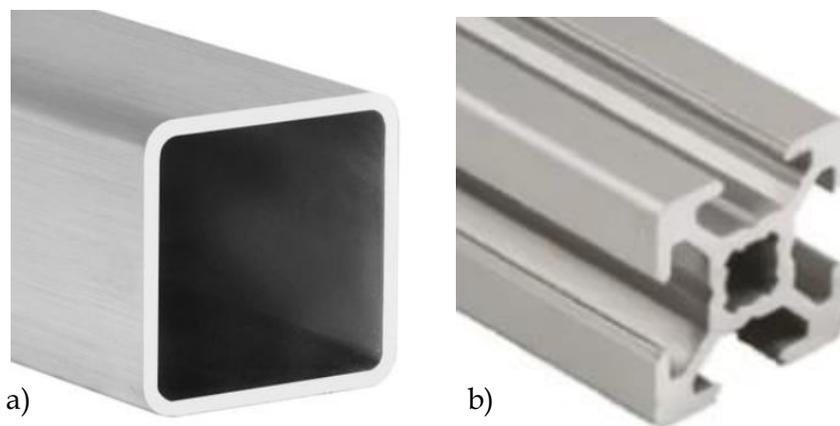
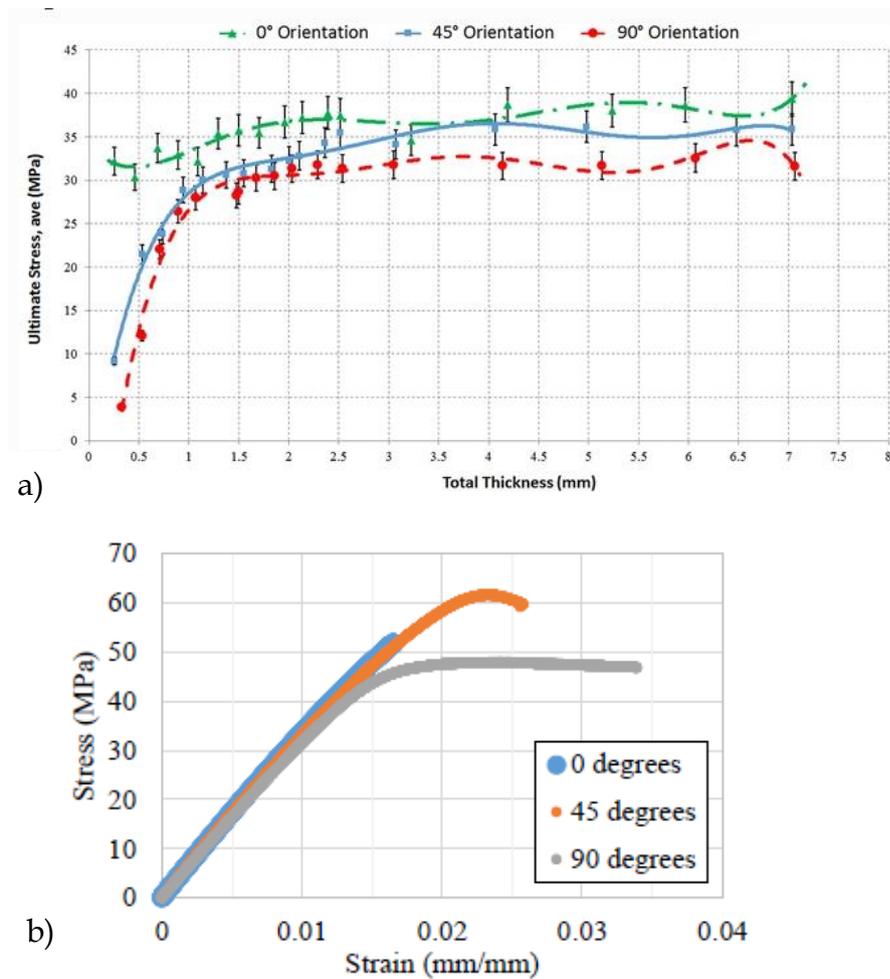


Figura III.20. (a) Perfil cuadrado hueco 20x20. (b) Perfil estructural 20x20.

III.3.2. Elementos de unión.

Para los elementos de unión de los perfiles y demás soportes estáticos se optó por modelar los elementos en 3D e imprimirlos por medio de una impresora 3D. Los materiales disponibles eran PLA y ABS. En la siguiente tabla podemos ver una comparativa de las características mecánicas de ambos materiales. En ambos casos se trata de probetas obtenidas mediante impresión 3D.



Grafica III.1. Comparativa entre ABS (a)¹ y PLA (b)².

Ante la mayor resistencia mecánica, rigidez y facilidad de impresión se optó por la impresión de uniones y piezas en PLA.

III.3.3. Ejes y elementos trasmisores de potencia.

Ante la imposibilidad de los elementos trasmisores de potencia (piñones y engranajes) en el taller, se optó por adquirirlos prefabricados. La determinación del material se detallará el apartado "*Diseño y cálculo de los mecanismos para la transmisión de potencia*".

En cuanto a los ejes, además de la resistencia mecánica se debe tener en cuenta que estos están sometidos a un desgaste por fricción. Por estas consideraciones se optó por la utilización de varillas de acero para el diseño de los ejes.

III.3.4. Casquillos.

Para la protección ante el desgaste, en especial de las piezas impresas en PLA, se implementó en el diseño la inserción de casquillos de latón. Este componente también tiene como fin de reducir las pérdidas por fricción.

III.3.5. Soporte del molde.

La máquina cuenta con un diseño que permite una rápida y sencilla. La chapa a la que van fijados los tornillos será de acero de 1,5 mm. La predilección del acero sobre el aluminio es debido a su mayor rigidez y capacidad de soportar esfuerzos sin sufrir deformación.

III.3.6. Molde.

Como se ha explicado en el apartado “1.2 Limitaciones del diseño” la máquina ha sido diseñada para trabajar con resinas termoestables que no requieren de aporte de calor para su solidificación. El departamento de materiales facilitó el equipo para la fabricación de moldes de silicona mediante un proceso relativamente sencillo.

Se barajaron las posibilidades de realizar moldes de otros materiales como yeso o cera descartándose en favor de la silicona por su mayor ligereza, facilidad de fabricación y mejor acabado superficial que las otras dos opciones.

III.3.7. Contrapeso.

Para el contrapeso se optó de nuevo por el acero debido principalmente a la disponibilidad de este en el taller y a la facilidad de trabajo con él. Mediante el torneado se pudo ajustar perfectamente las dimensiones.

Este contrapeso va montado sobre una varilla roscada que permite ajustar perfectamente la separación de este con respecto al marco logrando el máximo equilibrio.

III.4. DISEÑO Y CÁLCULO DE LOS MECANISMOS DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA.

En el diseño del mecanismo de transmisión se incluye una transmisión por cadena y una transmisión por engranajes cónicos a 90°. Para el cálculo se ha empleado el software “*KISSsys 2020*” especializado en ejes y mecanismos de transmisión de potencia.

La selección de los elementos de transmisión de potencia (piñones, cadena y engranajes) se realizó de forma manual a través del catálogo de *es.rs-online.com* basándose en los principios de disponibilidad y economicidad.

III.4.1. Cálculo de la transmisión por cadena.

La transmisión por cadena requiere, además de la transmisión de potencia, reducir la velocidad de giro en una proporción aproximada de 2:1.

A la hora de seleccionar los componentes en el catálogo de RS la selección de ruedas dentadas compatibles con menor número de dientes era la de un piñón de 13 dientes y otro de 25 dientes. Con esta selección se obtenía una relación de 1,92 suficiente cercana a 2 para que cumpla los requerimientos.

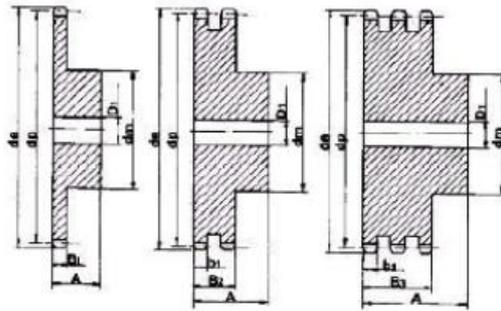
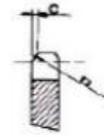


Figura III.20. (a) Piñón RS PRO 13 dientes. (b) Piñón RS PRO 25 dientes.

En la siguiente tabla extraída del catálogo de RS se muestran las características de ambas ruedas dentadas.

No. Teeth	Outside Diam.	Pitch Diam.	Simplex		Duplex		Triplex				
			Dm	d1	A	Dm	d1	A	Dm	d1	A
8	28.0	24.89	15	6	22	15	6	22	15	6	32
9	31.0	27.85	18	8	22	18	8	22	18	8	32
10	34.0	30.82	20	8	22	20	8	22	20	10	32
11	37.0	33.80	22	8	25	22	10	25	22	10	35
12	40.0	36.80	25	8	25	25	10	25	25	10	35
13	43.0	39.79	28	10	25	28	10	25	28	10	35
14	46.3	42.80	31	10	25	31	10	25	31	12	35
15	49.3	45.81	34	10	25	34	10	25	34	12	35
16	52.3	48.82	37	10	28	37	12	30	37	12	35
17	55.3	51.83	40	10	28	40	12	30	40	12	35
18	58.3	54.85	43	10	28	43	12	30	43	12	35
19	61.3	57.87	45	10	28	46	12	30	46	12	35
20	64.3	60.89	46	10	28	49	12	30	49	12	35
21	68.0	63.91	48	12	28	52	12	30	52	14	40
22	71.0	66.93	50	12	28	55	12	30	55	14	40
23	73.5	69.95	52	12	28	58	12	30	58	14	40
24	77.0	72.97	54	12	28	61	12	30	61	14	40
25	80.0	76.00	57	12	28	64	12	30	64	14	40
26	83.0	79.02	60	12	28	67	12	30	67	14	40
27	86.0	82.05	60	12	28	70	12	30	70	14	40
28	89.0	85.07	60	12	28	73	12	30	73	14	40
29	92.0	88.09	60	12	28	76	12	30	76	14	40
30	94.7	91.12	60	12	30	79	12	30	79	14	40
31	98.3	94.15	65	14	30	80	16	30	80	16	40
32	101.3	97.17	65	14	30	80	16	30	80	16	40
33	104.3	100.20	65	14	30	80	16	30	80	16	40
34	107.3	103.23	65	14	30	80	16	30	85	16	40
35	110.4	106.26	65	14	30	80	16	30	85	16	40
36	113.4	109.29	70	16	30	90	16	30	90	16	40
37	116.4	112.32	70	16	30	90	16	30	90	16	40
38	119.5	115.35	70	16	30	90	16	30	90	16	40
39	122.5	118.37	70	16	30	90	16	30	90	16	40
40	125.5	121.40	70	16	30	90	16	30	90	16	40
50	155.7	151.69	70	16	30						
57	176.9	172.91	70	16	30	80	16	30			
76	234.9	230.49	80	20	30						

**Sprockets
British Standard
Pilot Bore
3/8" x 7/32"
Steel C45, UNI7845**



Stock sizes
Available on short delivery
Tooth Radius $r_s = 10$

Radius size C = 1.0

Tooth width $B_1 = 5.3$
Tooth width $b_1 = 5.2$
Tooth width $B_2 = 15.4$
Tooth width $B_3 = 25.6$

All dimensions in mm

Tabla III.1. Características y dimensiones de los piñones seleccionado. RS Pro Datasheet.

La cadena seleccionada es una cadena de rodillos 06B-1 compatible con los piñones. En la siguiente imagen extraída del catálogo de RS se muestran sus características.

Chain Ref.	Technical Details (mm)													Connecting Links				
Ransid Chain No.	ISO Ref.	Pitch (inch)	Pitch (mm)	Inside Width	Roller Diam.	Plate Height	Plate Width Inner	Plate Width Outer	Pin Diam.	Pin Length	Conn. Link Extension	Transverse Pitch	ISO06 Tensile Strength (NEWTONS)	Weight (kg/m)				
		MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	NOM	MIN					
European (BS) Standard - Simplex																		
SD05B-1	05B-1	-	8.000	3.00	5.00	7.11	0.75	0.75	2.31	8.0	8.9	-	4400	0.20	4	107	26	30
SD06B-1	06B-1	0.375	9.525	5.72	6.35	8.20	1.25	1.00	3.28	13.2	14.2	-	8900	0.41	4	107	26	30

Tabla III.2. Tabla de dimensiones y características cadena seleccionada. *RS Pro Datasheet*.

Con los componentes seleccionados se procede a introducir los datos en KISSsys para verificar el cumplimiento de los parámetros. La potencia nomina corresponde a la potencia máxima suministrada por el motor, la selección del motor se encuentra en el apartado 5.2 *Selección del motor*.

Denominación	Tipo	p [mm]	ns
DIN ISO 606:2012 05B-1	05B	8.0000	1
DIN ISO 606:2012 05B-2	05B	8.0000	2
DIN ISO 606:2012 05B-3	05B	8.0000	3
DIN ISO 606:2012 06B-1	06B	9.5250	1
DIN ISO 606:2012 06B-2	06B	9.5250	2
DIN ISO 606:2012 06B-3	06B	9.5250	3
DIN ISO 606:2012 08A-1	08A	12.7000	1
DIN ISO 606:2012 08A-2	08A	12.7000	2

Other parameters: Número de eslabones (Ni) = 58, Distancia entre centros (a) = 184.5000 mm, Transmisión (i) = 1.9231, Número de dientes (z1) = 13, Número de dientes (z2) = 25.

Figura III.21. Interfaz de selección de datos de KISSsys.

La base de datos del programa permite seleccionar el modelo específico de cadena.

El resultado del cálculo es satisfactorio por lo que la selección de los componentes es adecuada. La siguiente tabla exponen los resultados de KISSsys, en ella el software prevé una utilización del 21% por lo que la fiabilidad está asegurada.

Resultados			
Potencia de servicio	P_{max}	0.0026	kW
Potencia admisible	P_{zul}	0.0121	kW
Velocidad de cadena	v	0.0124	m/s
Utilización	A	21.1252	%

Figura III.22. Resultados cálculo de transmisión por cadena.

III.4.2. Cálculo de la transmisión por engranajes.

III.4.2.1. Opción 1: Engranajes de copolímero acetal

Para la transmisión por engranajes se consideró la opción de usar engranajes de material polimérico (White HOSTASFORM C).



Figura III.22. Engranaje cónico RS PRO, 20 dientes. *RS Pro Datasheet.*

En la siguiente tabla se muestran las características del engranaje extraídas del catálogo de RS.

20° pressure angle
 Bore tolerance -0.02 / -0.04
 Gear quality AGMA 7

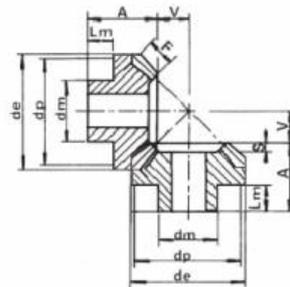
Max. recommended working temperature 80°C

Intermediate sizes & Special mitres to drawing (Tooling charges may apply)

All dimensions in mm.

Shaft axes to intersect within +/- 0.025mm
 Angular accuracy between shafts +/- 5mins
 Mounting distance tolerance +/- 0.05mm

Standard tolerances, unless otherwise stated ±0.25 mm.



Code	Pitch Module	No teeth	Bore	dp	de	F	A+V	dm	Lm	S	A
DBM05/20	0.5	20	3	10	10.71	2.5	11	8	4	0.97	7.97
DBM08/20	0.8	20	5	16	17.13	3.5	16	12	5	0.8	10.83
DBM10/20	1	20	6	20	21.61	4.5	21	16	7	1.62	14.62
DBM15/20	1.5	20	8	30	32.12	7	30	20	10	1.8	20.59

Tabla III.3. Tabla de dimensiones y características engranaje cónico RS PRO. RS Pro Datasheet.

En esta tabla se muestran los resultados del cálculo:

Relaciones de contacto		1.551 / 0.000 / 1.551	
[$\epsilon_{om}/\epsilon_p/\epsilon_{ym}$]			
		Rueda 1	Rueda 2
Circunferencia exterior efectiva (mm)	[da_e]	33.000	33.000
Seguridad del pie del diente	[S_p]	0.091	0.091
Seguridad del flanco	[S_{α}]	0.210	0.210
Seguridad contra desgaste	[S_{VD}]	0.116	0.116
Seguridad flexión del diente	[S_g]		0.023

Figura III.23. Resultados cálculo de engranajes poliméricos.

Como se aprecia en los resultados las seguridades están muy por debajo de lo necesario. Por lo tanto, esta opción se descarta.

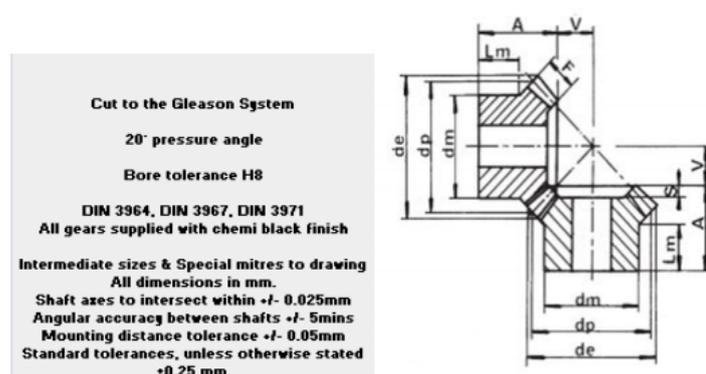
III.4.2.2. Opción 2: Engranajes de acero.

La siguiente opción es la de usar engranajes de acero. Los engranajes seleccionados son los más pequeños y económicos del catálogo de RS.



Figura III.24. Engranaje cónico RS PRO, 25 dientes. RS Pro Datasheet.

En la siguiente tabla se muestran las características del engranaje extraídas del catálogo de RS.



RS Article no.	Code	Pitch Module	No. Teeth	dp	V+A	dm	Bore H8	F	A	de	Lm	S
5215780	SBM08/16	0.8	16	12.8	11	11	4	3.4	7	13.9	3.7	0
5215803	SBM08/24	0.8	24	19.2	16	15	5	5	10.05	20.3	4.3	1.1
5215819	SBM10/25	1	25	25	23	20	6	6	15.16	26.41	8	1.16
5215825	SBM10/30	1	30	30	28	24	8	6	17.71	31.41	10	1.71

Tabla III.4. Tabla de dimensiones y características engranaje cónico RS PRO. *RS Pro Datasheet.*

Conocidos los datos se procede al cálculo. Estos son los resultados dados por KYSSsys:

General			
Relación de contacto aparente	[ca]	1.689	
Coefficiente de recubrimiento	[cb]	0.000	
Componentes		rueda 1	rueda 2
Diámetro de la circunferencia de cabeza al exterior (mm)			
	[dae]	30.897	30.897
Seguridad del pie del diente	[SF]	1.711	1.711
Seguridad del flanco	[SH]	0.648	0.648

Figura III.25. Resultados cálculo de engranajes poliméricos.

KYSSsys tiene una ligera limitación en cuanto al cálculo de engranajes. La opción de funcionamiento sin lubricación no está contemplada por lo que intentar simular esta situación genera errores en el cálculo. Esto es a lo que se debe que el factor de seguridad en el flanco sea tan bajo, sin embargo, la seguridad en el pie del diente confirma que estos engranajes son aptos.

III.5. CALCULO Y SELECCIÓN EL MOTOR ELECTRICO.

III.5.1. Cálculo potencia teórica

Una vez planteado el diseño básico del equipo se procederá a la descripción detallada de los requerimientos de potencia y par del equipo para la posterior selección de un motor que cumpla dichos requerimientos.

La potencia nominal se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$P = T \omega$$

Siendo ω la velocidad angular y T el par calculado mediante la siguiente expresión:

$$T = M u_y$$

Siendo M la masa conjunta del subensamblaje y u_y la distancia del centro de gravedad al eje de giro de los marcos en el eje y y u_x la distancia del centro de masas al eje de giro tal y como se muestra en la figura:

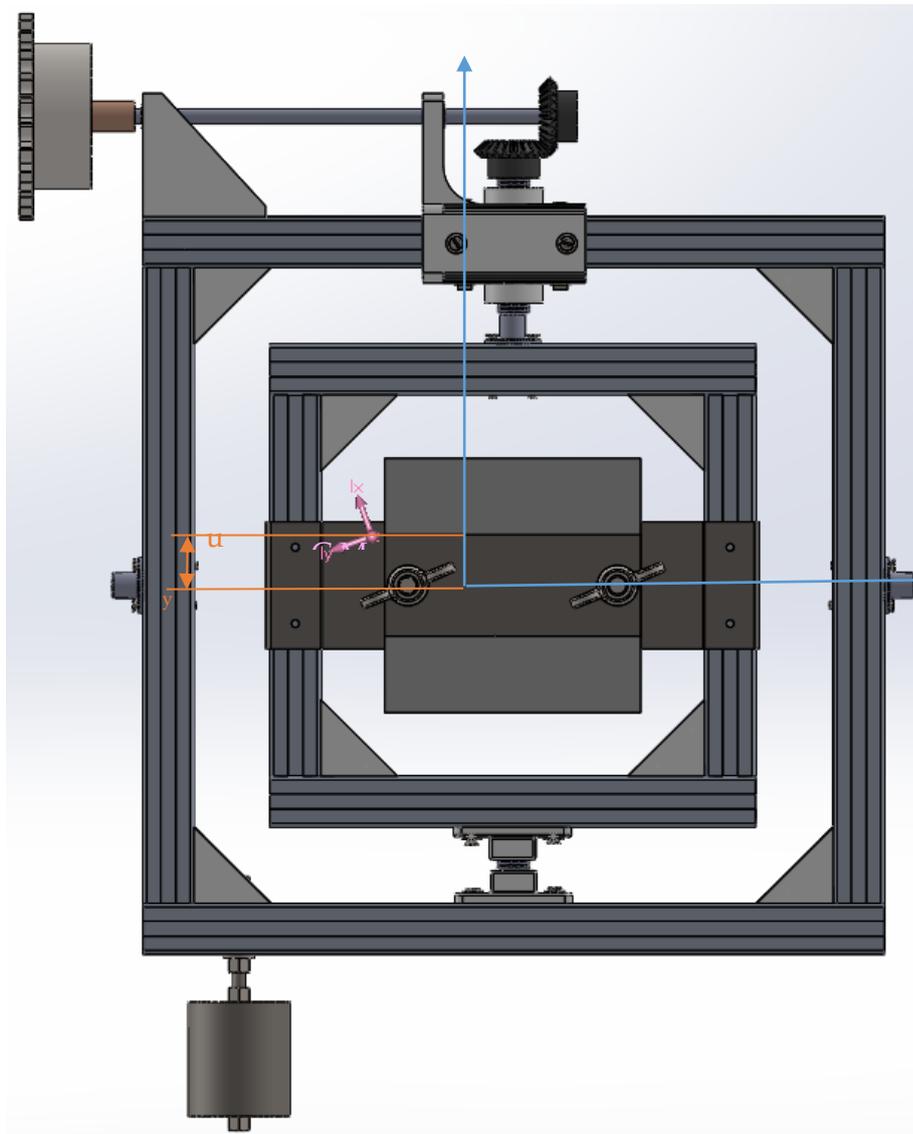


Figura III.26. Representación de los marcos móviles junto con su centro de gravedad y la distancia de este al eje de giro.

$$T = M u_y = 3,02kg \cdot g \cdot 0,02mm = 0,59 Nm$$

$$P = T \omega = 0,59 Nm \cdot \frac{6}{60/2\pi} \text{ rad/s} = 0,37 W$$

Considerando un rendimiento de los elementos de transmisión de potencia de 0,8 y despreciando los rozamientos entre los componentes se calcula la potencia mínima requerida.

$$P_R = P_T \eta = 0,37 W \cdot 0,8^2 = 0,58 W$$

III.5.2. Selección del motor

Con los datos calculados se dispone a la selección del motor a partir del catálogo de RS.

El motor seleccionado es *“Motorreductor DC con escobillas RS PRO, 1500 gcm, 7 rpm, 3 V dc, 1,71 W”*, se trata de un motor eléctrico con una caja reductora integrada que cumple los requerimientos necesarios para el correcto funcionamiento del equipo.



Figura III.27. Motorreductor DC con escobillas RS PRO.

III.5.3. Selección fuente de alimentación

El motor seleccionado tiene un requerimiento de 3 V en CC (corriente continua). Para la alimentación se selecciona una fuente de alimentación variable 3-12 V del catálogo de RS.



Figura III.28. Conexión de fuente de alimentación RS PRO.

La conexión al motor se hará mediante un adaptador hembra de 2,1 mm.



Figura III.29. Conector hembra DC, Montaje en panel recto 12 V.

III.5.4. Variador de velocidad

Para una mayor versatilidad del equipo se incorporará un variador de velocidad de giro al motor.

Este componente reduce la velocidad de giro del motor mediante la entrega interválica del voltaje reduciendo así el voltaje medio entregado al motor y por tanto su velocidad.



Figura III.30. Variador de velocidad para motor de corriente continua.

III.6. CÁLCULO Y DETERMINACIÓN DE COMPONENTES.

III.6.1. Software empleado

Para el cálculo de los componentes se empleará el software de cálculo por elementos finitos “ANSYS 2020 R1”. Este software permite la identificación de las tensiones y deformaciones máximas de cada uno de los componentes.

III.6.1.1. Determinación de los componentes para el calculo

En la fabricación de la máquina conviven elementos de PLA, perfiles de aluminio y elementos de acero como tornillos y ejes. Debido a la baja magnitud de las cargas que se manejan en este caso en particular se ha decidido prescindir del cálculo mecánico de los elementos de acero y los perfiles de aluminio al considerar que las cargas son demasiado bajas para tener un impacto real sobre la integridad de estos componentes. Por tanto, los elementos a analizar serán los componentes impresos en PLA.

III.6.1.2. Limitaciones del software

Como se ha explicado en los apartados anteriores el proceso de fabricación de los componentes de PLA será mediante impresión 3D. La impresión 3D es un proceso de composición aditiva de material en forma de hilos, esto provoca que las propiedades mecánicas de las piezas no sean uniformes y dependan de la dirección en la que estén alineados los hilos con respecto a las fuerzas.

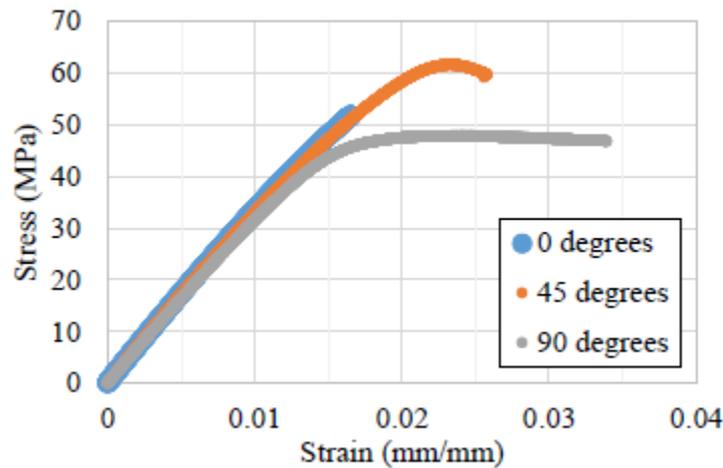


Figura III.31. Comparación diagrama tensión deformación entre distintas impresiones 3D en función del ángulo de alineación de las fibras con respecto a la fuerza aplicada.

Esta característica es imposible simularla en el software por lo que se ha optado por realizar la simulación con la situación más desfavorable, las fibras alineadas a 90° con respecto a la fuerza.

III.6.1.3. Parámetros introducidos para el cálculo mecánico

ANSYS tiene una gran biblioteca de materiales, pero entre ellos no se encuentra el PLA. Por tanto, se han introducido de forma manual los siguientes parámetros

Módulo de Young (MPa)	3507
Coefficiente de Poisson	0,37
Tensión máxima de rotura (MPa)	54

Tabla III.5. Parámetros físicos del PLA para el cálculo resistente.

III.6.2. Determinación de cargas y simulación de elementos.

La máquina consta con un total de siete modelos de componentes impresos en PLA. En los siguientes apartados se detalla cuáles han sido la estimación de las cargas que soportará cada elemento. Debido a que los componentes se enfrentan a vibraciones y cargas dinámicas se le aplicará a cada carga un factor de seguridad de tres.

III.6.2.1. Estimación del peso de los distintos subensamblajes de la máquina.

SolidWorks cuenta con una herramienta de determinación de magnitudes físicas mediante una extensa base de datos de distintos materiales. Esta herramienta permite una estimación suficientemente precisa de la masa de cada subensamblaje.

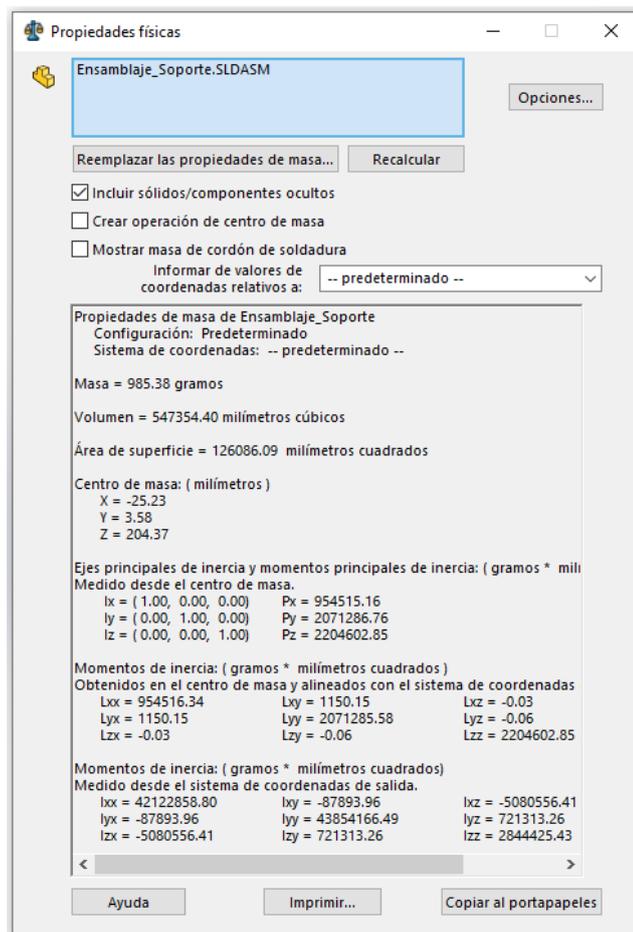


Figura III.32. Tabla de propiedades físicas de SolidWorks.

SolidWorks simula la masa de una pieza o un ensamblaje en función del volumen y la densidad del material que se le ha especificado.

En la siguiente tabla aparecen los distintos subensamblajes junto con su masa.

Subensamblaje	Masa (kg)
Molde y soporte	0,985
Marco interior	0,373
Marco exterior	1,916
Pata piñón	0,522
Pata engranaje	0,712

Tabla III.6. Tabla de masas de los distintas partes de la máquina.

III.6.2.2. Escuadras.

La máquina consta de un total de 14 escuadras idénticas encargadas de unir los perfiles de aluminio por medio de tornillos. De entre estas, la escuadra señalada en la imagen es la que se somete a un mayor estrés mecánico al tener que soportar la carga de los marcos interior y exterior sumado al peso del piñón y el contrapeso.

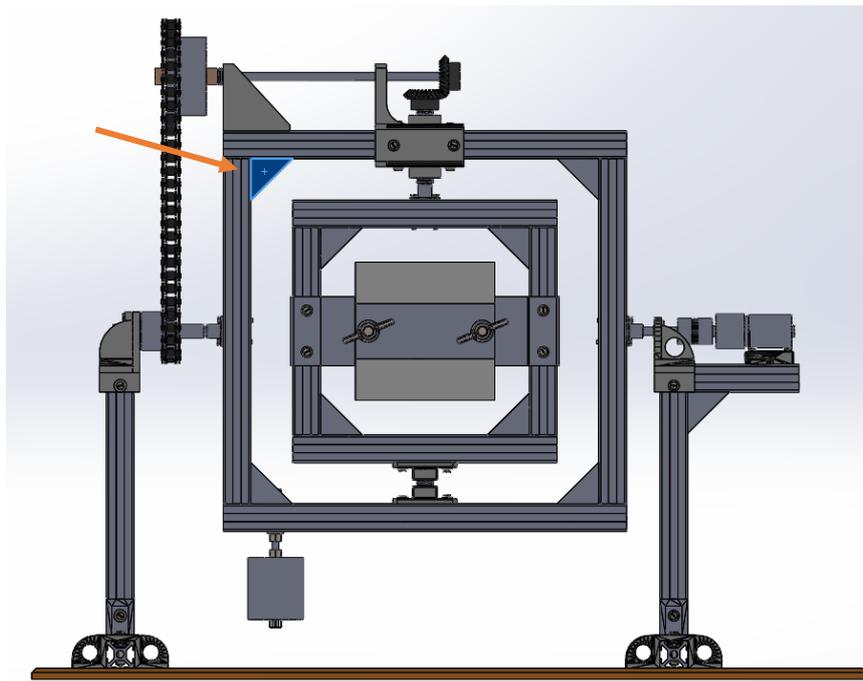


Figura III.32. Escuadra sobre la que se realizará el análisis estático.

Por tanto, la determinación de cargas se realizará en esa escuadra en particular dando por supuesto que el cumplimiento de esta conlleva el de las demás.

Las escuadras del marco interior soportan el peso del marco exterior, morco interior, molde y soporte.

$$\text{Masa soportada} = 0,985 + 0,373 + 1,916 = 3,274 \text{ kg}$$

Suponiendo que todas las escuadras soportan la misma carga:

$$\text{Masa soportada por escuadra} = \frac{3,274}{4} = 0,819 \text{ kg}$$

Esta carga se mayorará multiplicándola por un coeficiente de 3 con el fin de asegurar la resistencia de la pieza frente a carga dinámicas y vibraciones.

$$Fuerza = 3 \cdot 0,819 \cdot 9,81 = 24,09 \text{ N}$$

Con estos datos se procede a la realización en ANSYS. Los resultados son los siguientes

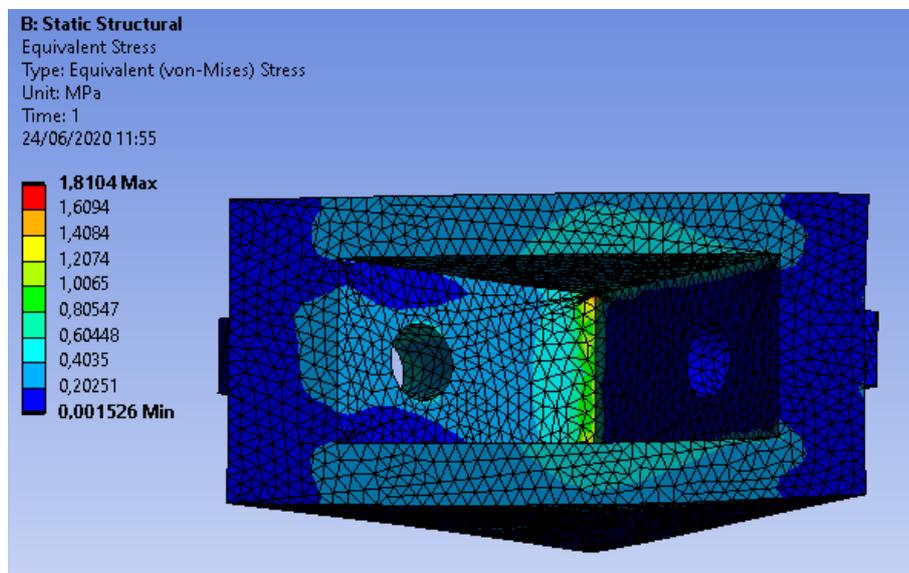


Figura III.33. Tensión equivalente von-Mises (MPa).

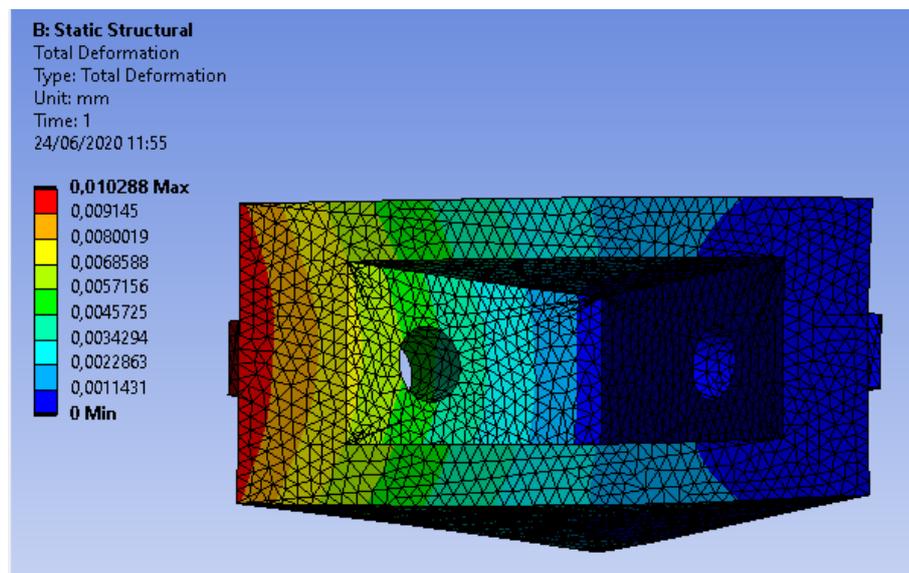


Figura III.34. Deformación total (mm).

Como se aprecia en las imágenes la pieza cumple perfectamente en el apartado de tensión máxima con un valor de 1,81 MPa (tensión máxima PLA 49 MPa). En el apartado de deformación también cumple holgadamente con una deformación máxima de 0,01 mm.

III.6.2.3. Soporte Cojinete.

Estas piezas son encargadas de sujetar el marco interior dentro de su eje de rotación. Las cargas que soportarán serán el propio peso del marco interior más el molde y el soporte. Se considera que ambos soportarán una carga idéntica.

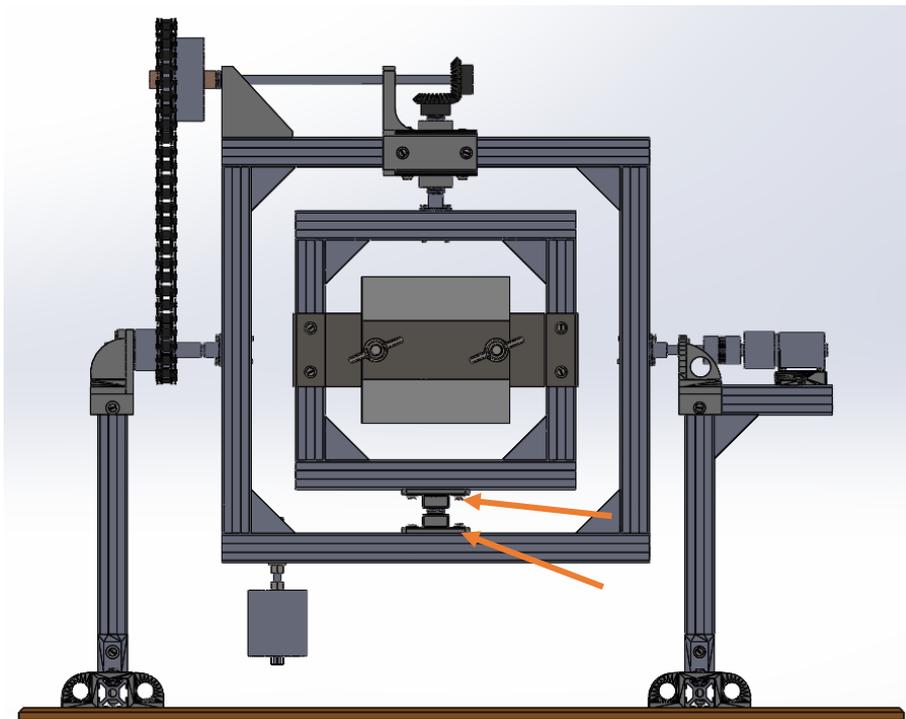


Figura III.35. Ambos soportes cojinete.

El punto más desfavorable se da cuando el marco interior se encuentra en horizontal. La carga del marco interior se distribuye entre el acople superior y el soporte, por tanto, el peso a soportar será la mitad del del marco interior y el molde.

$$Masa\ soportada = \frac{0,985 + 0,373}{2} = 0,679\ kg$$

Se aplicará un factor de seguridad de 3.

$$Fuerza = 3 \cdot 0,819 \cdot 9,81 = 19,98\ N$$

Con estos datos se procede a la realización en ANSYS. Los resultados son los siguientes

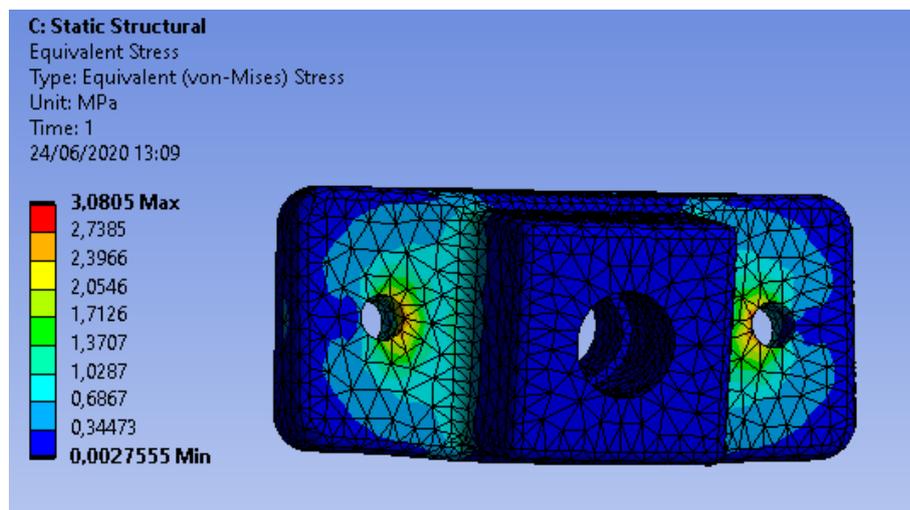


Figura III.36. Tensión equivalente von-Mises (MPa).

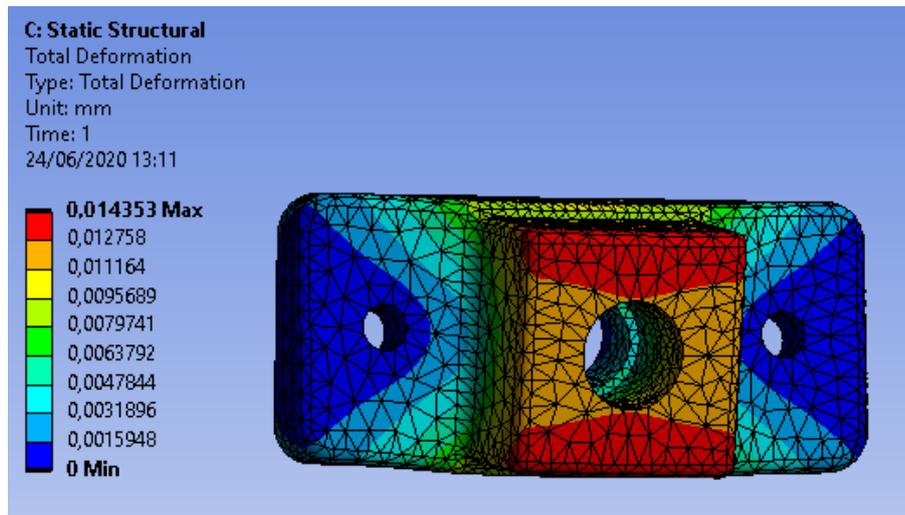


Figura III.37. Deformación total (mm).

Tal y como se aprecia en las imágenes la pieza cumple perfectamente en el apartado de tensión máxima con un valor de 3,08 MPa (tensión máxima PLA 49 MPa). En el apartado de deformación también cumple holgadamente con una deformación máxima de 0,01 mm.

III.6.2.4. Parte central.

Esta pieza tiene como función sostener la transmisión por engranajes y a su vez mantener el marco central en su posición.

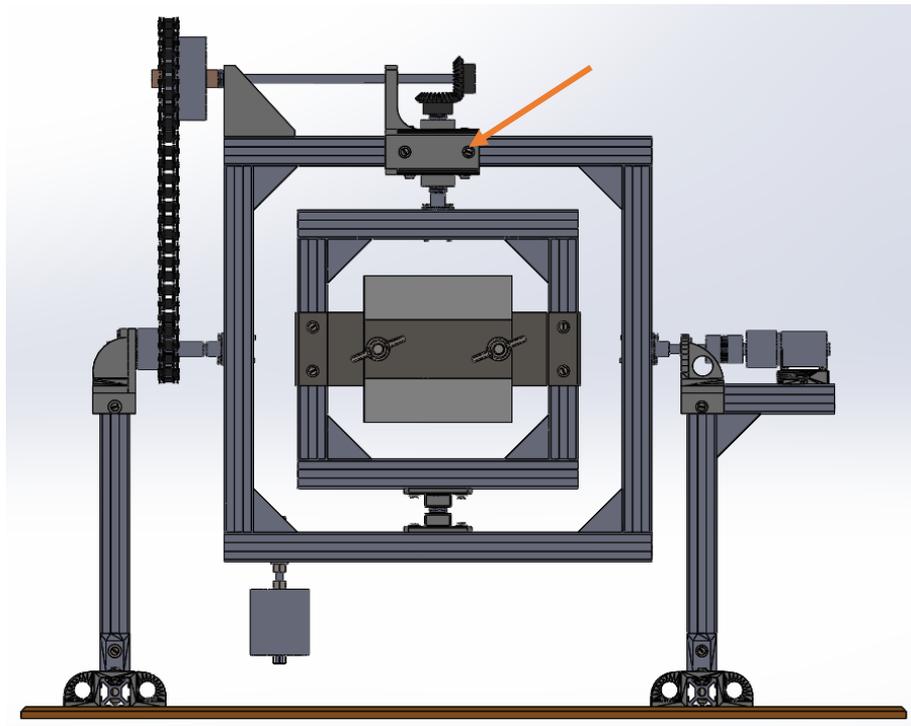


Figura III.38. Parte central.

Las cargas que soporta esta pieza es el peso del marco central, la fuerza que ejerce el engranaje sobre la pieza para mantener su posición y la fuerza que ejerce el eje que soporta el piñón. Esta última se puede calcular como un equilibrio de momentos.

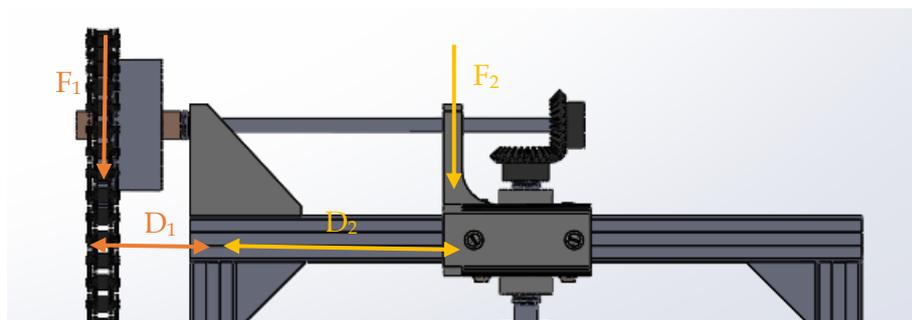


Figura III.39. Cálculo de fuerza necesaria (F_2) para el equilibrio de momentos.

La masa del engranaje y la cadena es de aproximadamente 0,80 Kg.

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot D_1}{D_2} = \frac{0,8 \cdot 9,81 \cdot 0,042}{0,110} = 3 \text{ N}$$

Fuerza del engranaje cónico.

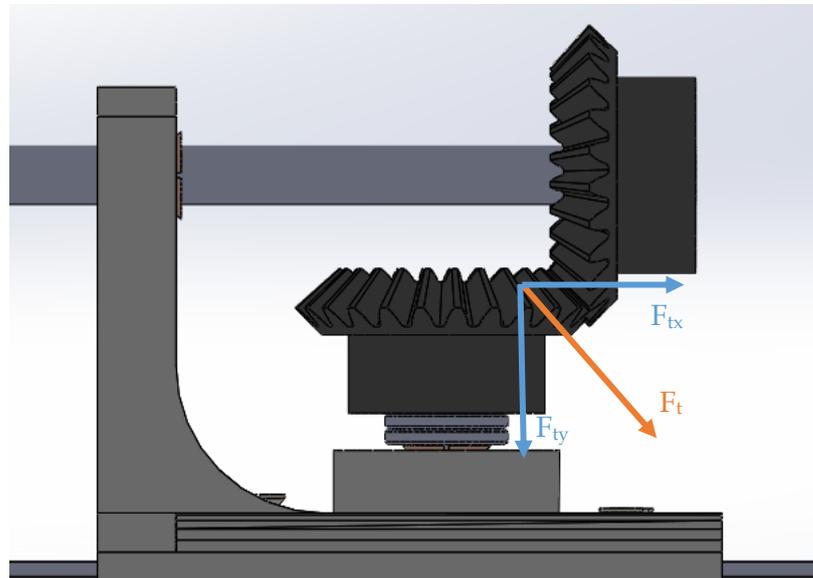


Figura III. 40. Representación de fuerzas engranajes cónicos.

$$\text{Fuerza tangencial } (F_t) = \frac{\text{Par Motor}}{\text{Radio medio engranaje}} = \frac{1500 \text{ gcm}}{2,5 \text{ cm}} = 600 \text{ g} = 5,87 \text{ N}$$

El ángulo del engranaje es de 45° por lo que la fuerza tangencial se divide en las siguientes componentes.

$$F_{tx} = 5,87 \cdot \cos(45) = 4,15 \text{ N}$$

$$F_{ty} = 5,87 \cdot \text{sen}(45) = 4,15 \text{ N}$$

La carga del marco central y el molde es la siguiente:

$$\text{Masa soportada} = 0,985 + 0,373 = 1,358 \text{ kg}$$

$$\text{Fuerza} = 1,358 \cdot 9,81 = 13,32 \text{ N}$$

Ya con las cargas calculadas se procede a la simulación en ANSYS. Al igual que en el resto de componentes, las cargas se mayoran por un factor de 3.

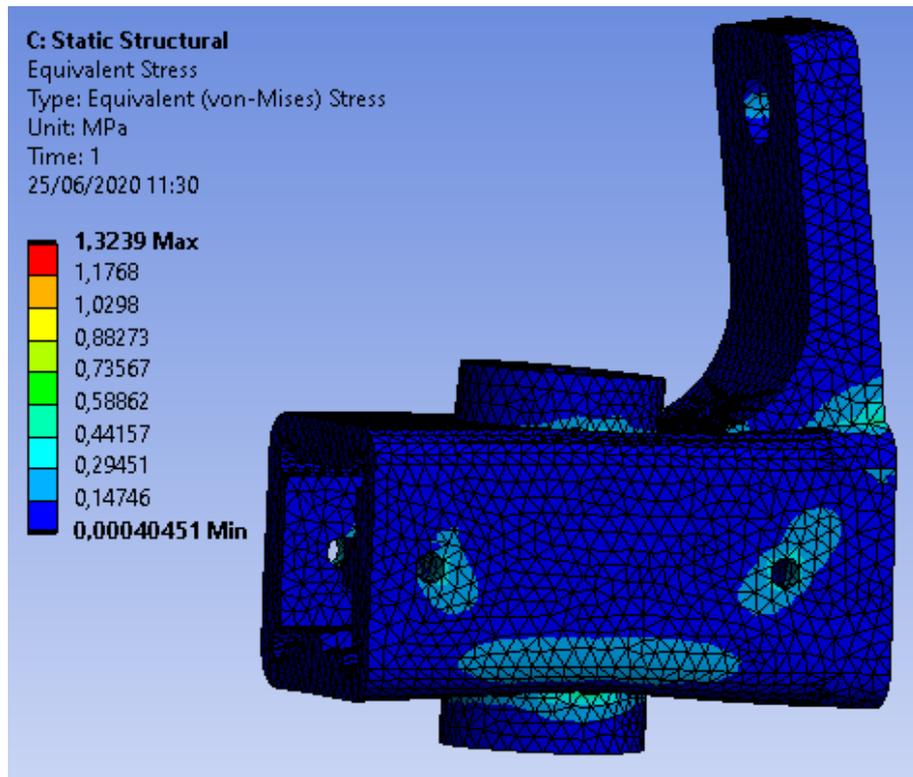


Figura III.41. Tensión equivalente von-Mises (MPa).

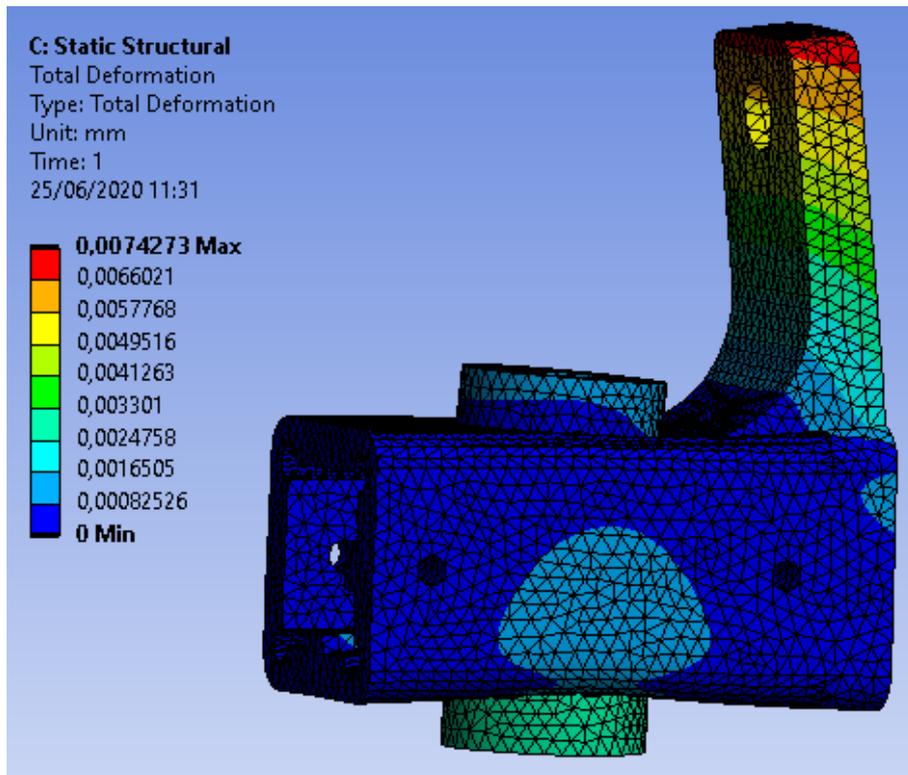


Figura III.42. Deformación total (mm).

Como se aprecia en las imágenes la pieza cumple en el apartado de tensión máxima con un valor de 1,32 MPa (tensión máxima PLA 49 MPa). En el apartado de deformación también cumple holgadamente con una deformación máxima de 0,01 mm.

III.6.2.5. Escuadra eje engranaje.

Esta pieza se encarga de mantener alineado el eje que conecta el piñón con el engranaje.

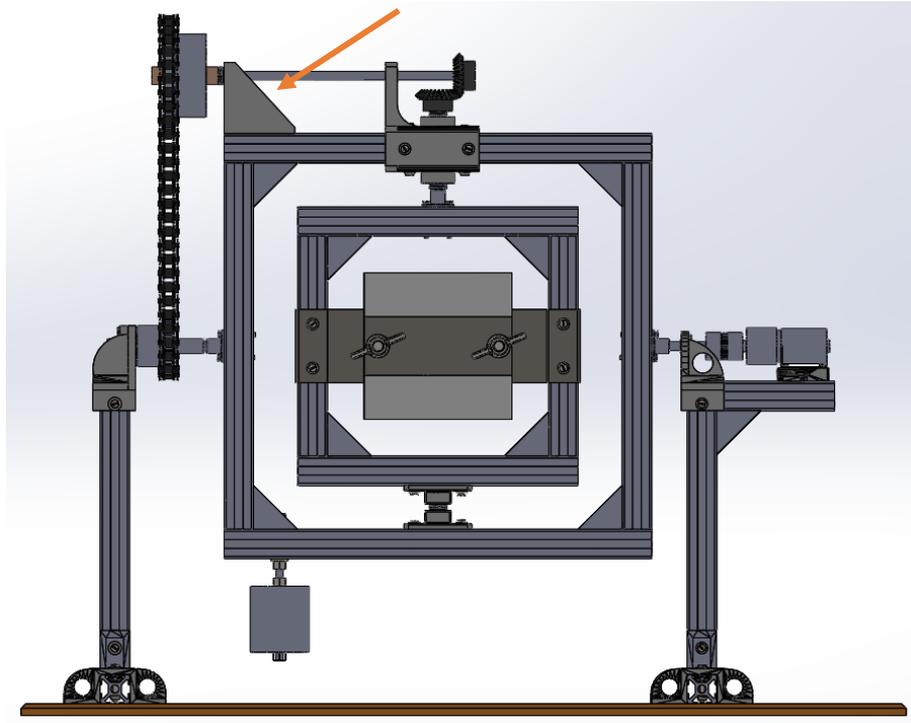


Figura III.43. Escuadra eje engranaje.

Las cargas a la que se somete esta pieza es principalmente el peso del engranaje. La masa del engranaje es de 0,610 kg.

$$Fuerza = 0,610 \cdot 9,81 = 5,98 \text{ N}$$

La carga se mayorará por un factor de 3.

Con estos datos se procede a la simulación.

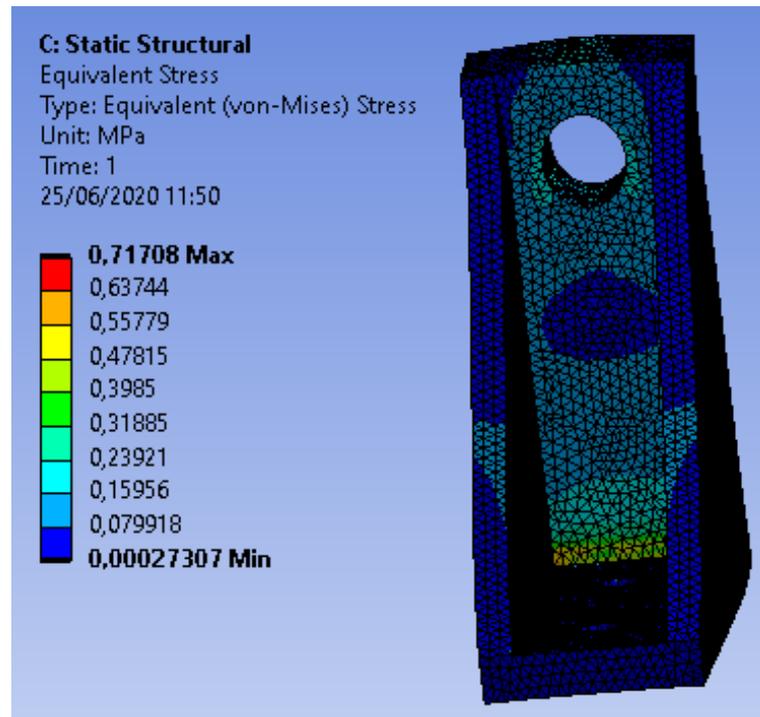


Figura III.43. Tensión equivalente von-Mises (MPa).

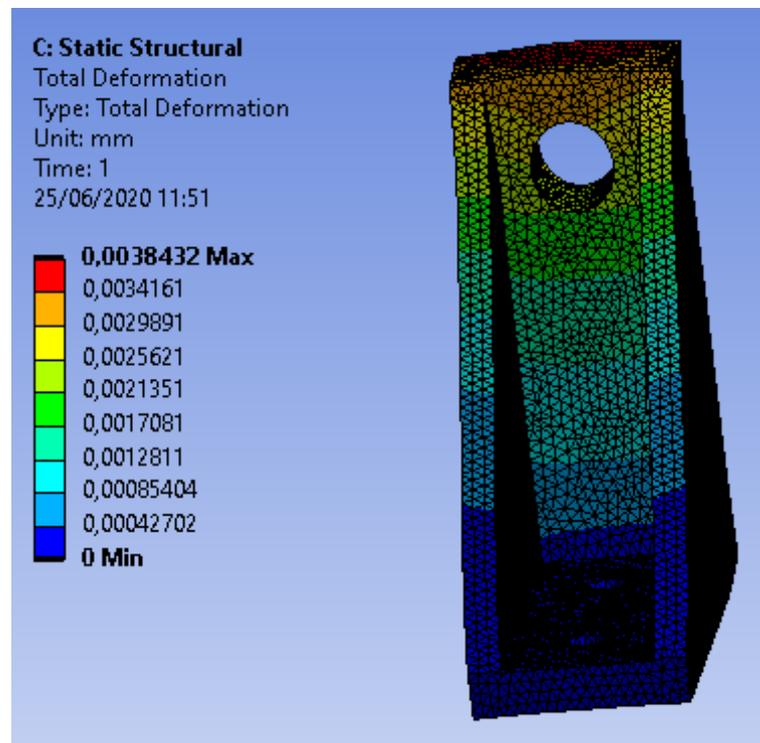


Figura III.44. Deformación total (mm).

Como se aprecia en las imágenes la pieza cumple en el apartado de tensión máxima con un valor de 0,72 MPa (tensión máxima PLA 49 MPa). En el apartado de deformación también cumple holgadamente con una deformación máxima de 0,004 mm.

III.6.2.6. Soporte lateral cadena.

La función de esta pieza es doble, por un lado se encarga de mantener el de los marcos centrales, por otro mantiene fijo un de los piñones de la cadena.

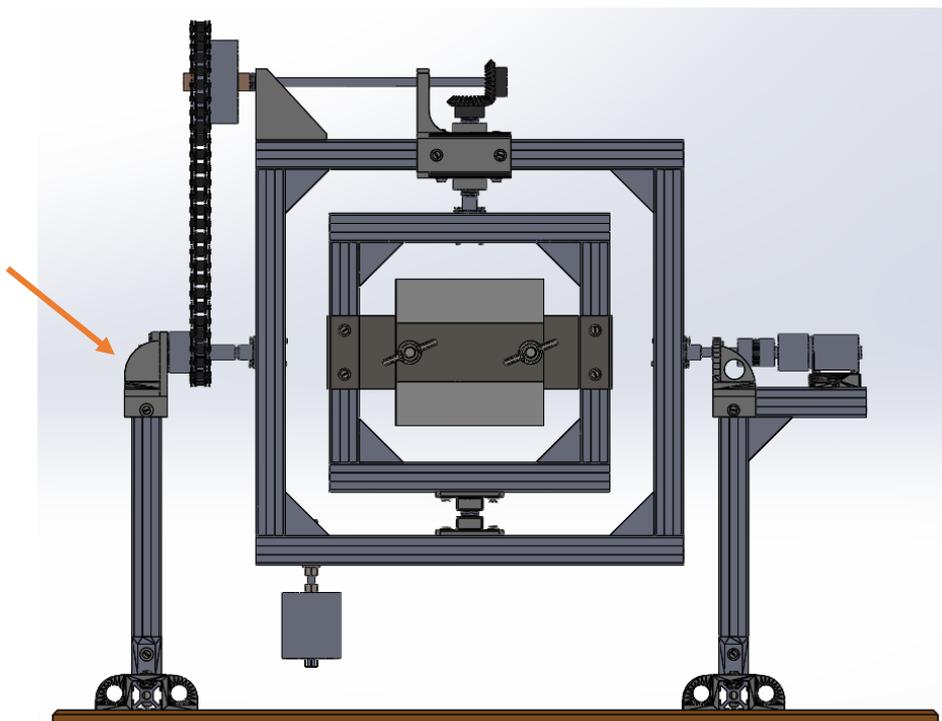


Figura III.45. Soporte lateral cadena.

Las cargas que soportará esta pieza serán el peso de los marcos centrales y el molde repartido entre la otra pata de la máquina, el peso del piñón y la cadena y el par que transmite la cadena, que será el mismo que el producido por el motor.

- **Peso de los marcos centrales y el molde**

Subensamblé	Masa (kg)
Molde y soporte	0,985
Marco interior	0,373
Marco exterior	1,916
Peso total	3,274

Tabla III.7. Masa de las piezas y subensamblés que soportará la pieza. Todos los cálculos de masas han sido realizados por SolidWorks.

$$Marcos = \frac{3,274 \cdot 9,81}{2} = 16,06 \text{ N}$$

- **Peso del piñón**

$$Piñón = 0,125 \cdot 9,81 = 1,23 \text{ N}$$

- **Par de motor**

$$Par = 1500 \text{ gcm}$$

Con estos datos se procede a la simulación.

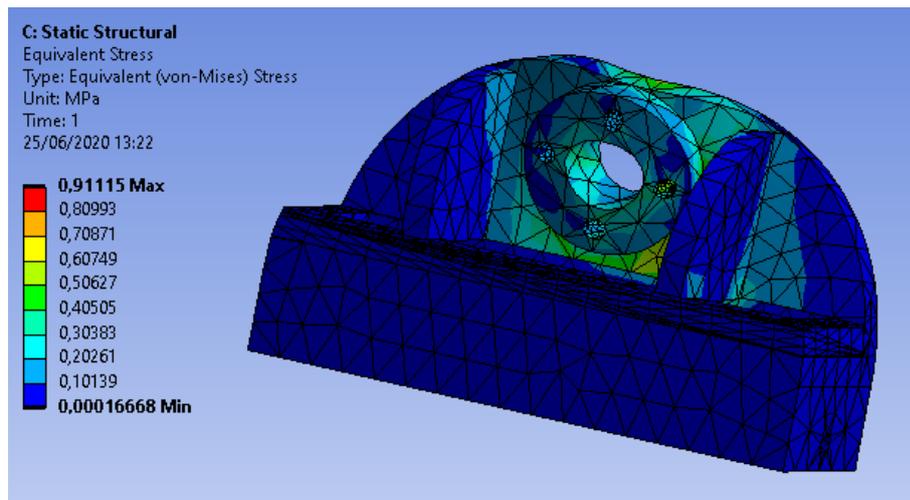


Figura III.46. Tensión equivalente von-Mises (MPa).

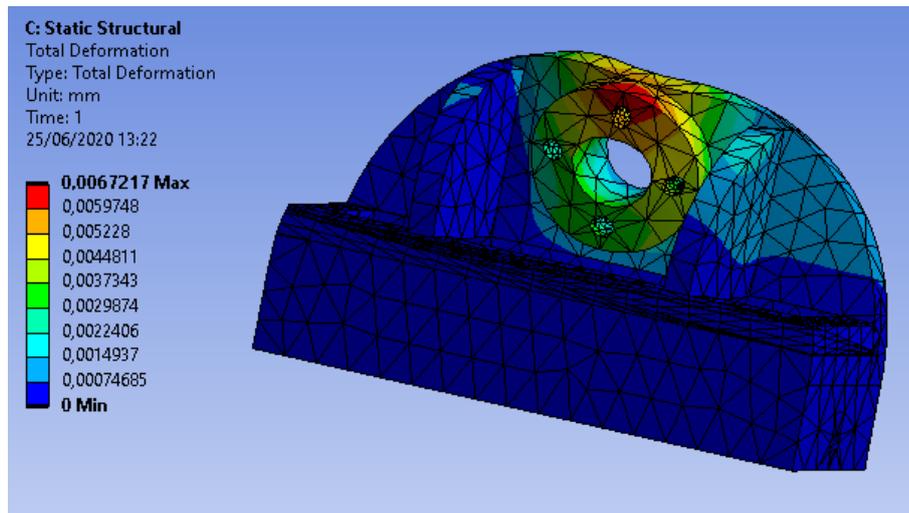


Figura III.47. Deformación total (mm).

Tal y como se aprecia en las imágenes la pieza cumple perfectamente en el apartado de tensión máxima con un valor de 0,91 MPa (tensión máxima PLA 49 MPa). En el apartado de deformación también cumple holgadamente con una deformación máxima de 0,007 mm.

III.6.2.7. Soporte lateral motor.

La función de esta pieza únicamente tiene la función de soportar el peso de los marcos interiores y el molde repartido con la otra pata.

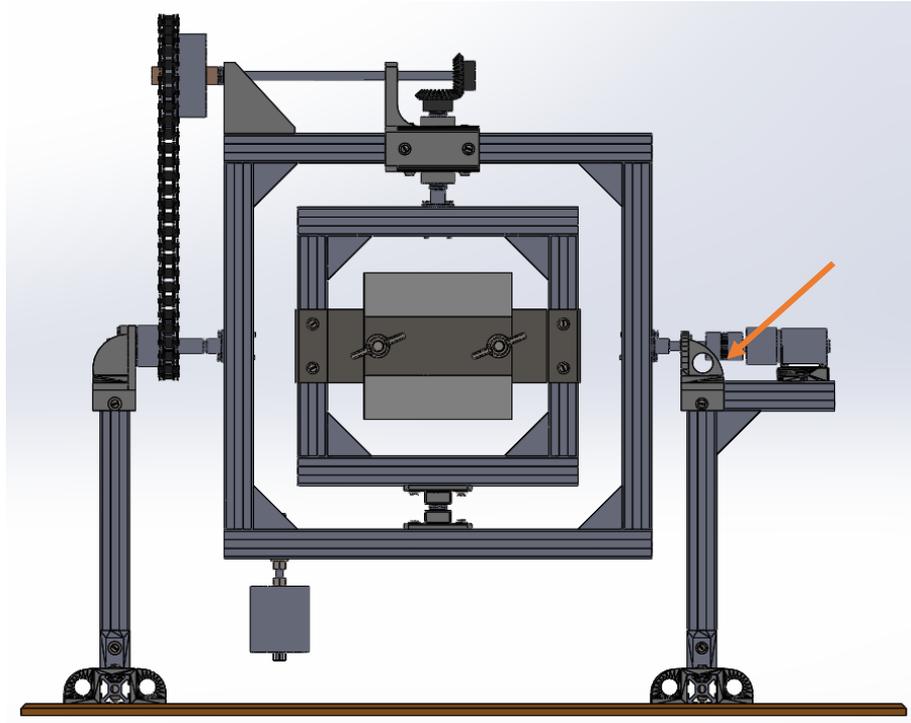


Figura III.48. Soporte lateral motor.

El cálculo mecánico se realiza en base a los siguientes esfuerzos:

Subensamble	Masa (kg)
Molde y soporte	0,985
Marco interior	0,373
Marco exterior	1,916
Peso total	3,274

Tabla III.8. Masa de las piezas y subensambles que soportará la pieza.

$$Marcos = \frac{3,274 \cdot 9,81}{2} = 16,06 N$$

La fuerza se mayorará en un factor de 3 para la simulación.

Los resultados de la simulación son los siguientes:

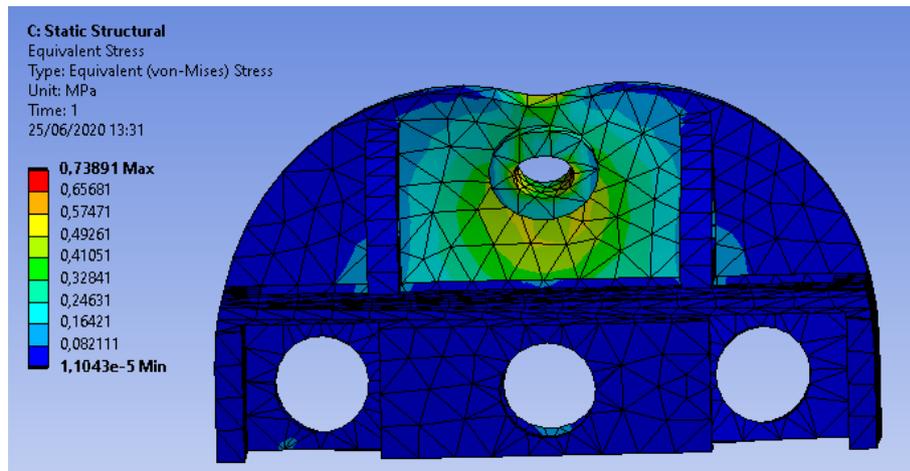


Figura III.49. Tensión equivalente von-Mises (MPa).

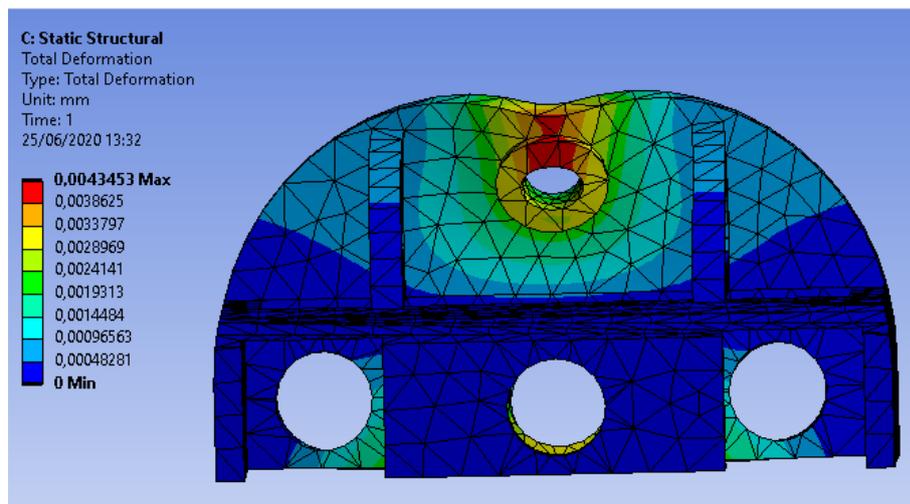


Figura III.50. Deformación total (mm).

Como se aprecia en las imágenes la pieza cumple en el apartado de tensión máxima con un valor de 0,74 MPa (tensión máxima PLA 49 MPa). En el apartado de deformación también cumple holgadamente con una deformación máxima de 0,004 mm.

III.6.2.8. Base del motor.

Esta pieza se encarga de fijar el motor a la pata de forma que pueda transmitir la potencia al marco.

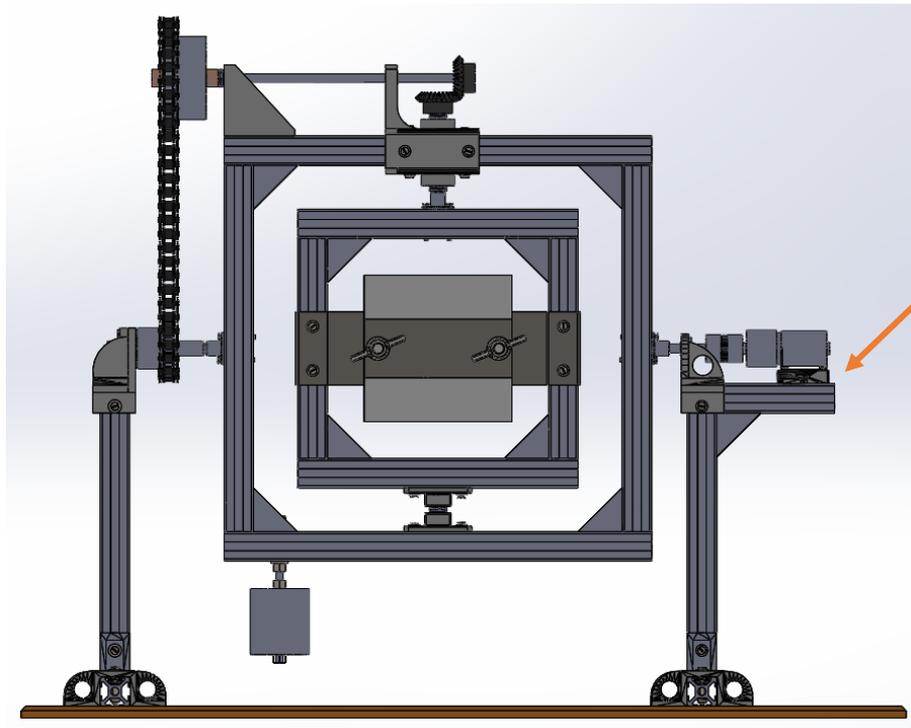


Figura III.51. Base del motor.

Las cargas que se simularán será el par producido por el motor y que esta pieza se encarga de trasladar hasta la pata. El peso del motor se despreciará.

$$\text{Par motor} = 1.500 \text{ gcm}$$

Las cargas se mayoran multiplicándolas por un factor de 3.

Los resultados de la simulación son los siguientes.

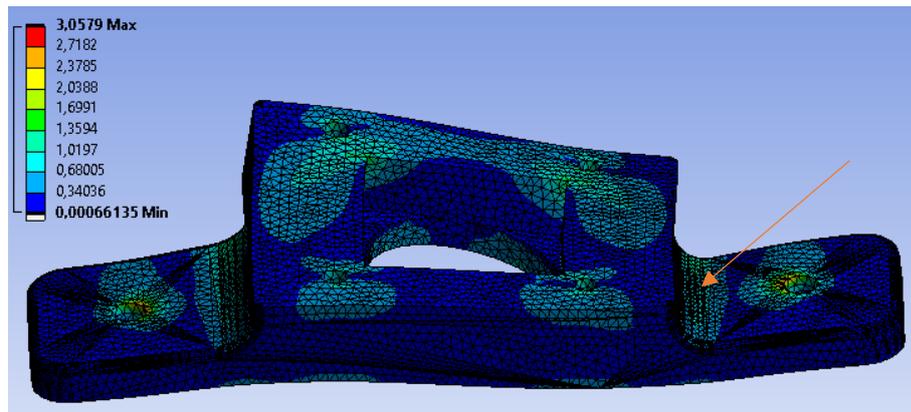


Figura III.52. Tensión equivalente von-Mises (MPa).

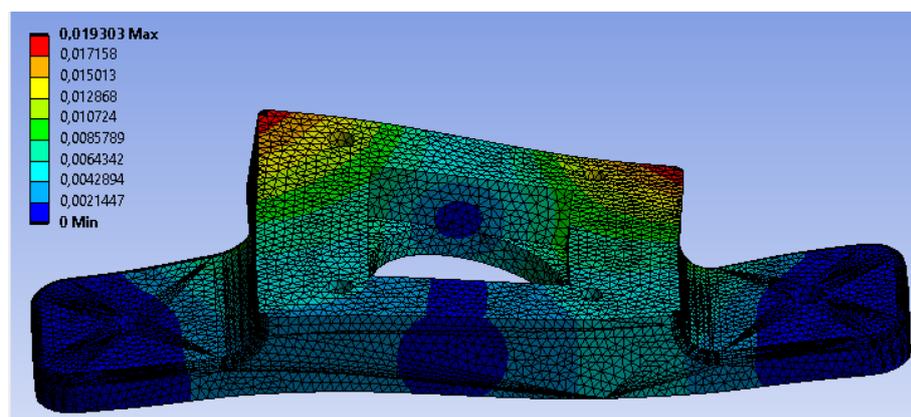


Figura III.53. Deformación total (mm).

Como se aprecia en las imágenes la pieza cumple en el apartado de tensión máxima con un valor de 3,06 MPa (tensión máxima PLA 49 MPa). En el apartado de deformación también cumple holgadamente con una deformación máxima de 0,019 mm.

III.7. ESTUDIO ECONÓMICO.

La mayoría de los componentes usados en la fabricación de la máquina de rotomoldeo han sido adquiridos en la web *es.rs-online.com* por lo que ha sido página la que se ha usado como referencia de los precios.

En la fabricación de las piezas impresas en 3D se ha empleado filamento de PLA. Debido a que el proceso requiere implantación de soportes que deben ser retirados previamente a su montaje, por ello es complicado calcular exactamente el material empleado. Por ello se estima que el material empleado es de 300 g.

El precio de cada componente junto con su coste total se detalla en la siguiente tabla:

N.º	NOMBRE	Precio/Lote	Cantidad en lote	Cantidad usada	Coste
1	Motorreductor DC con escobillas RS PRO, 1500 gcm, 7 rpm, 3 V dc,	15,37 €	1 ud.	1 ud.	15,37 €
2	Engranaje de ingletes RS PRO, Acero, 25 dientes , Espaciado 45°, Ángulo 20°, Calibre 6mm	19,80 €	1 ud.	2 uds.	39,60 €
3	Cadena de rodillos Renold, 06B-1, Acero, Filamentos Símplex, Longitud 5m, paso 9.525mm	27,45 €	1 ud.	1 ud.	27,45 €
4	Piñón RS PRO, 13 dientes , Calibre Piloto 35mm	2,79 €	1 ud.	1 ud.	2,79 €
5	Piñón RS PRO, 25 dientes , Calibre Piloto 40mm	6,68 €	1 ud.	1 ud.	6,68 €
6	Perfil de Aleación de Aluminio, perfil de 20 x 20 x 1000mm de longitud	7,30 €	1000 mm	3220 mm	23,51 €
7	Conector hembra DC 2.1mm, Montaje en Panel Recto, 12 Vdc, 5A	5,88 €	1 ud.	1 ud.	5,88 €
8	Conexión de fuente de alimentación RS PRO 100 V ac, 110 V ac, 115 V ac, 120 V ac,	16,46 €	1 ud.	1 ud.	16,46 €

	127 V ac, 220 V ac, 230 V ac, 240 V				
9	REFURBISHHOUSE Regulador de velocidad del motor de 1.8V 3V 5V 6V 7.2V 12V 2A 30W DC (PWM) Interruptor de controlador ajustable 1803BK	2,28 €	1 ud.	1 ud.	2,28 €
10	Doradus Conector acoplador od19mm x l25mm cnc motor paso a paso de acoplamiento eje flexible de 4 mm x 6 mm de aluminio	6,56 €	1 ud.	1 ud.	6,56 €
11	Tornillo mecánico, Acero Inoxidable, , Avellanado 40mm, M3 0.5	7,68 €	100 uds.	68 uds.	5,22 €
12	Tuercas cuadradas RS PRO M3 5.5mm Acero Galvanizado brillante	8,82 €	100 uds.	64 uds.	5,64 €
13	Arandela plana, Galvanizado Acero, 0.5mm de grosor, M3	1,72 €	250 uds.	116 uds.	0,80 €
14	Casquillo de reducción Huco 259.32, diám. eje 10mm, diám. salida 12.7mm, long. 10.7mm, Aleación de Aluminio, -50°C	3,32 €	2 uds.	2 uds.	3,32 €
15	Casquillo de reducción Huco 255.22, diám. eje 6mm, diám. salida 8mm, long. 8.1mm, Latón, -20°C, +60°C	2,25 €	2 uds.	6 uds.	6,74 €
16	Tornillo de fijación Galvanizado Acero Hexagonal M8 x 70mm Tornillo de fijación	15,35 €	25 uds.	2 uds.	1,23 €
17	RS PRO Tuerca hexagonal 13mm Galvanizado brillante Acero Completo, M8	8,37 €	100 uds.	2 uds.	0,17 €
18	Tuerca alada 36mm, Galvanizado brillante Acero, M8	9,98 €	50 uds.	2 uds.	0,40 €
19	Varilla Acero Inoxidable 303S31, 1m x 6mm diámetro externo	29,56 €	1000 mm	341 mm	10,08 €
20	Varilla Acero Inoxidable, 300mm x 8mm diámetro externo	6,02 €	300 mm	185 mm	3,71 €

21	Lámina de acero inoxidable 304S15, 1.219m x 610mm x 1.5mm	240,79 €	0,74 m ²	0,0028 m ²	0,91 €	
22	Barra roscada, RS PRO, Galvanizado, Acero, M5, 1m	2,52 €	1000 mm	100 mm	0,25 €	
23	RS PRO Tuerca hexagonal 8mm Plano Acero Inoxidable Completo, M5, A4 316	9,29 €	100 uds.	4 uds.	0,37 €	
24	Arandela plana, Galvanizado brillante Acero, 1.6mm de grosor, M6	4,52 €	250 uds.	8 uds.	0,14 €	
25	Tubo redondo acero diámetro 40 mm 1 metros - 1,5 mm	20,04 €	1000 mm	45 mm	0,90 €	
26	Tablero DM 1.220m x 2.440 m x 10mm	18,34 €	2,98 m ²	0,24 m ²	1,62 €	
27	Filamento para impresora 3D FDM, PLA, 1.75mm, Plata, 300g RS PRO	14,96 €	300 g	300 g	14,96 €	
					COSTE TOTAL (sin IVA)	203,04 €
					IVA (21%)	42,64 €
					TOTAL (con IVA)	245,68 €

III.8. FABRICACIÓN DE LA MÁQUINA.

El objetivo de final de proyecto era la elaboración de un prototipo funcional de una máquina de rotomoldeo.

El proceso de fabricación de cada uno de los componentes, así como el ensamblado y ajuste de la máquina se llevaría a cabo en el aula taller de la que dispone la EPSA y bajo la supervisión de un técnico.

De igual modo, la fabricación de los componentes impresos en 3D se llevaría a cabo en los equipos de los que dispone la universidad, experimentando así los nuevos métodos de fabricación aditiva popularizados recientemente.

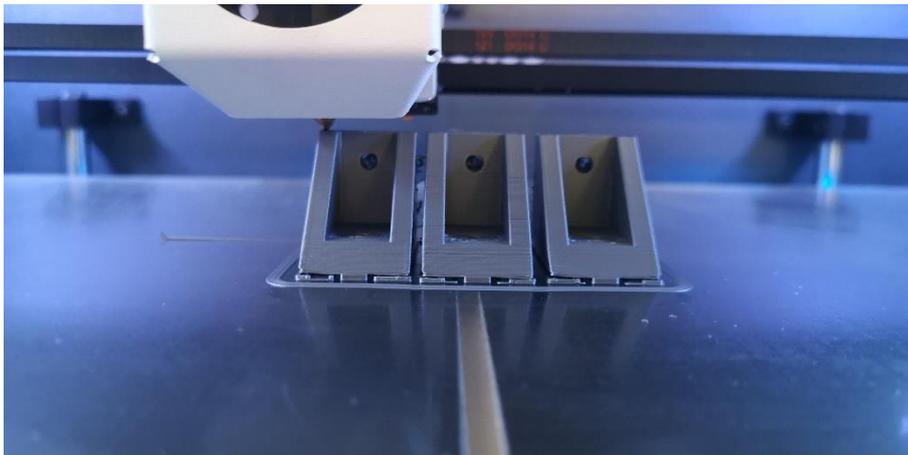


Figura III.54. Impresión 3D de componentes para máquina.

La construcción del equipo transcurría a buen ritmo y los plazos parecían ser adecuados, sin embargo, debido a la pandemia originada por el COVID-19, el rectorado, siguiendo las directrices del Ministerio de Sanidad, ordenó el cierre de sus instalaciones, impidiendo así la finalización de la construcción de la máquina.



Figura III.55. Prototipo de la máquina de rotomoldeo.

Al cierre de las aulas, la máquina estaba terminada aproximadamente en un 90%, faltando únicamente el acoplamiento de contrapeso, la fijación a la base y la fabricación del molde. En las pruebas preliminares de funcionamiento, el equipo exhibía un comportamiento correcto, lo que hace presuponer que se partía de un diseño adecuado y que el montaje había transcurrido de la forma deseada.

IV. APÉNDICES

APÉNDICES

IV. Apéndices

IV.1. REFERENCIAS

- [1] Todd Letcher. Material Property Testing of 3D-Printed Specimen in PLA on an Entry-Level 3D Printer. *South Dakota State University, 2014.*
- [2] Ma-Magdalena Pastor-Artigues, Francesc Roure-Fernández, Xavier Ayneto-Gubert, Jordi Bonada-Bo, Elsa Pérez-Guindal and Irene Buj-Corral. Elastic Asymmetry of PLA Material in FDM-Printed Parts: Considerations Concerning Experimental Characterisation for Use in Numerical Simulations. *Article Materials 2020, Received: 31 October 2019; Accepted: 15 December 2019; Published: 18 December 2019.*
- [3] Behzad Rankouhi, Sina Javadpour and Fereidoon Delfanian. Failure Analysis and Mechanical Characterization of 3D Printed ABS With Respect to Layer Thickness and Orientation. *Submitted: 3 April 2016 / Published online: 3 May 2016 ASM International, 2016.*
- [4] Constantino Delgado. Fabricación aditiva en rotomoldeo. *S.I. :El autor, 2017.*
- [5] Procesos de conformado de materiales poliméricos y compuestos : Tomo 4 : soplado, termoconformado, rotomoldeo. Santiago Ferrándiz Bou...[et al.]. *Valencia : Universidad Politécnica de Valencia, 2002.*

IV. Apéndices

IV.2. PLANOS ACOTADOS.

8 7 6 5 4 3 2 1

F

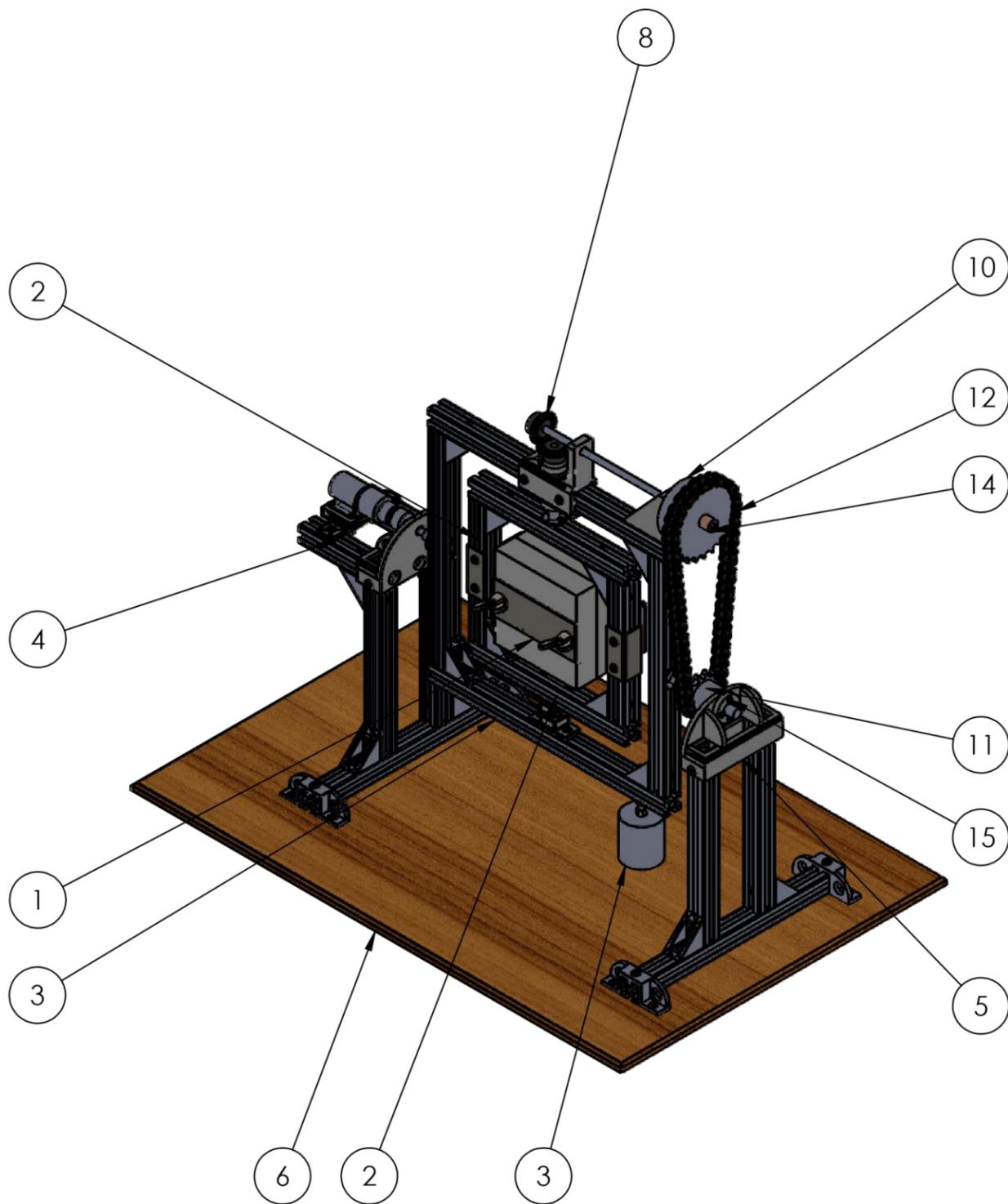
E

D

C

B

A



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Soporte molde		1
2	Marco interior		1
3	Marco exterior		1
4	Soporte lateral motor		1
5	Soporte lateral cadena		1
6	Tablero	Tablero DM-10 mm	1
7	Eje engranaje vertical	Acero	1
8	Engranaje	Metric Mitre Gear Sets MOD 1 25 Teeth	2
9	Eje engranaje horizontal	Acero	1
10	Piñon 25	Piñon RS PRO, 25 dientes , Calibre Piloto 40mm	1
11	Piñon 13	Piñon RS PRO, 13 dientes , Calibre Piloto 35mm	1
12	Cadena	Cadena de rodillos Renold, 06B-1, Acero, Filamentos Simplex, Longitud 5m, paso 9.525mm	1
13	Eje motor	Acero	1
14	Acople piñon	Acero	1
15	DIN EN ISO 2009 - M3 x 25 - 25N		4
16	DIN EN ISO 2009 - M3 x 30 - 30N		4
17	DIN 6902-A3.2		16
18	DIN EN ISO 7046-1 - M3 x 12 - Z - 12N		8
19	DIN EN ISO 2009 - M6 x 30 - 30N		2
20	Square nut DIN 562 M3 -N		4

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Proyecto: DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA MÁQUINA DE ROTOMOLDEO DE LABORATORIO

Plano: MÁQUINA DE ROTOMOLDEO

Fecha: Junio 2020

Nº Plano:



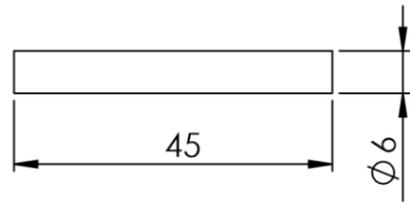
Autor: JESÚS MORENO GÓMEZ

Escala: 1:5

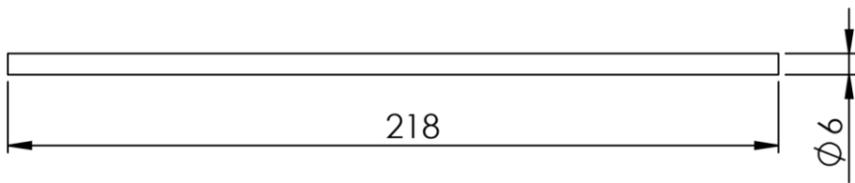
1

8 7 6 5 4 3 2 1

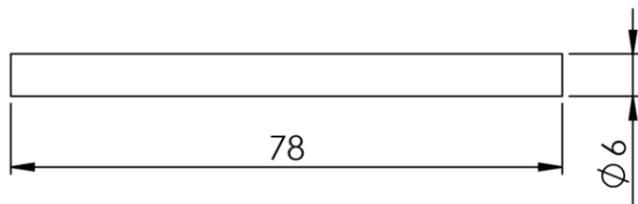
12



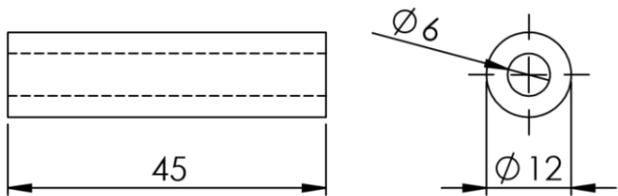
8



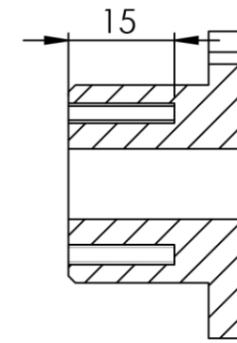
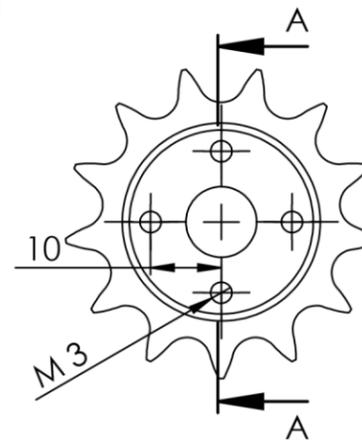
6



19

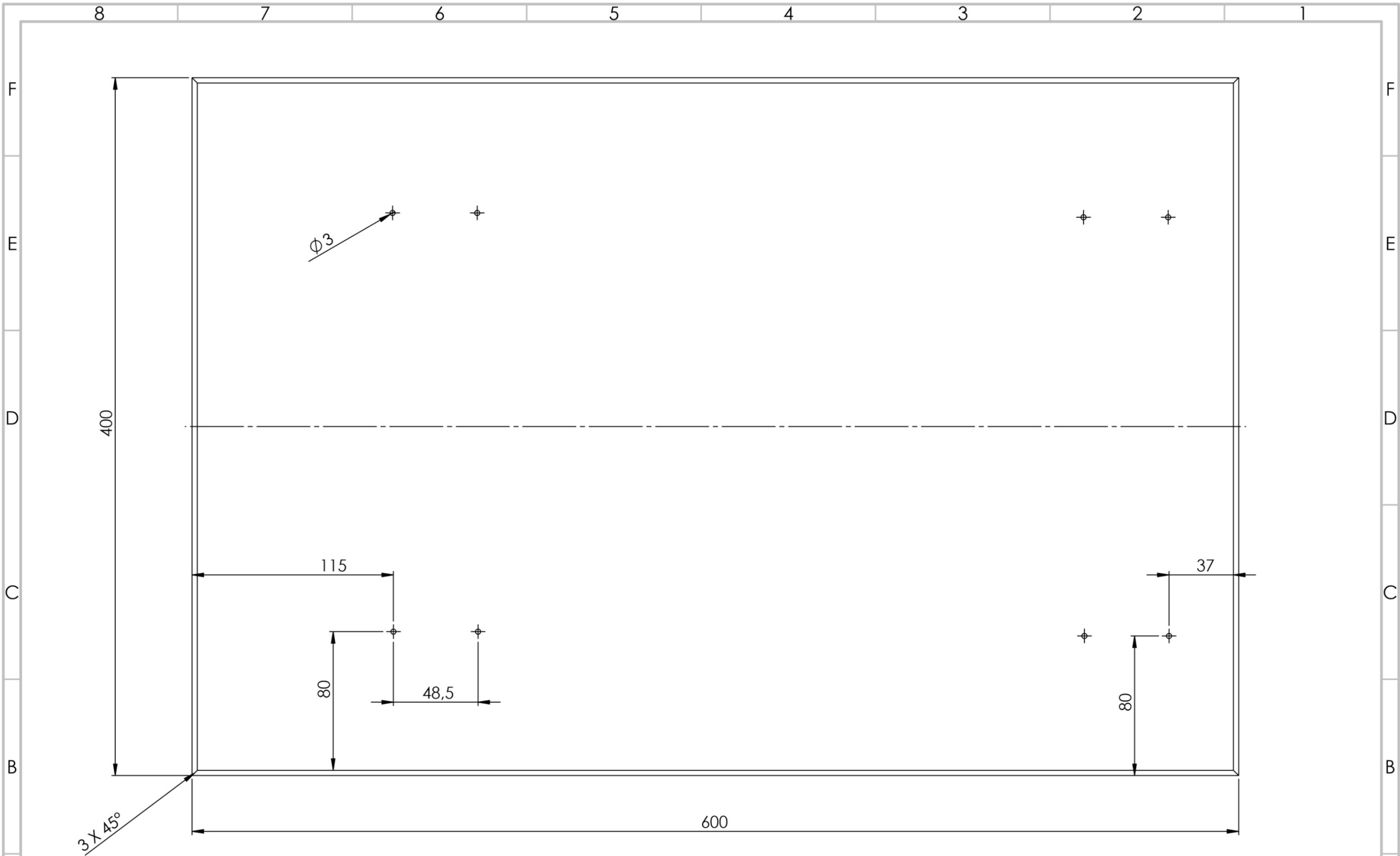


10



SECCIÓN A-A
ESCALA 1:1

Nº ELEMENTO	N.º PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
6	Eje engranaje vertical	Acero	1
8	Eje engranaje horizontal	Acero	1
10	Piñon 13	Acero Piñon RS PRO, 13 dientes , Calibre Piloto 35mm	1
12	Eje motor	Acero	1
19	Acople piñon	Acero	1



A TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Proyecto: **DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA MÁQUINA DE ROTOMOLDEO DE LABORATORIO**

Plano: **MÁQUINA DE ROTOMOLDEO**

Fecha: **Junio 2020**

Nº Plano:

Nº ELEMENTO	N.º PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
6	Tablero	Tablero DM-10 mm	1

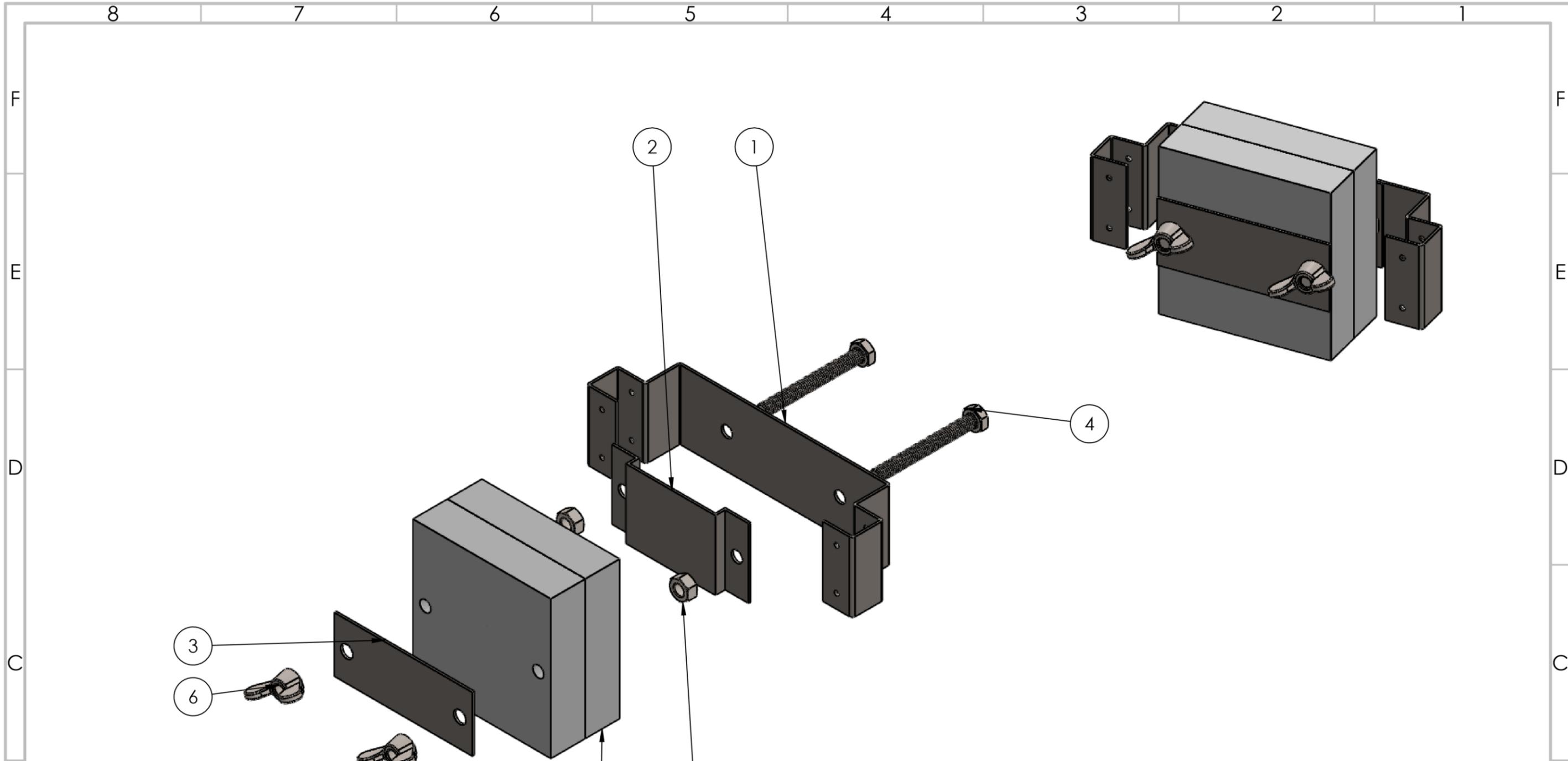
Autor: **JESÚS MORENO GÓMEZ**

Escala: **1.2**

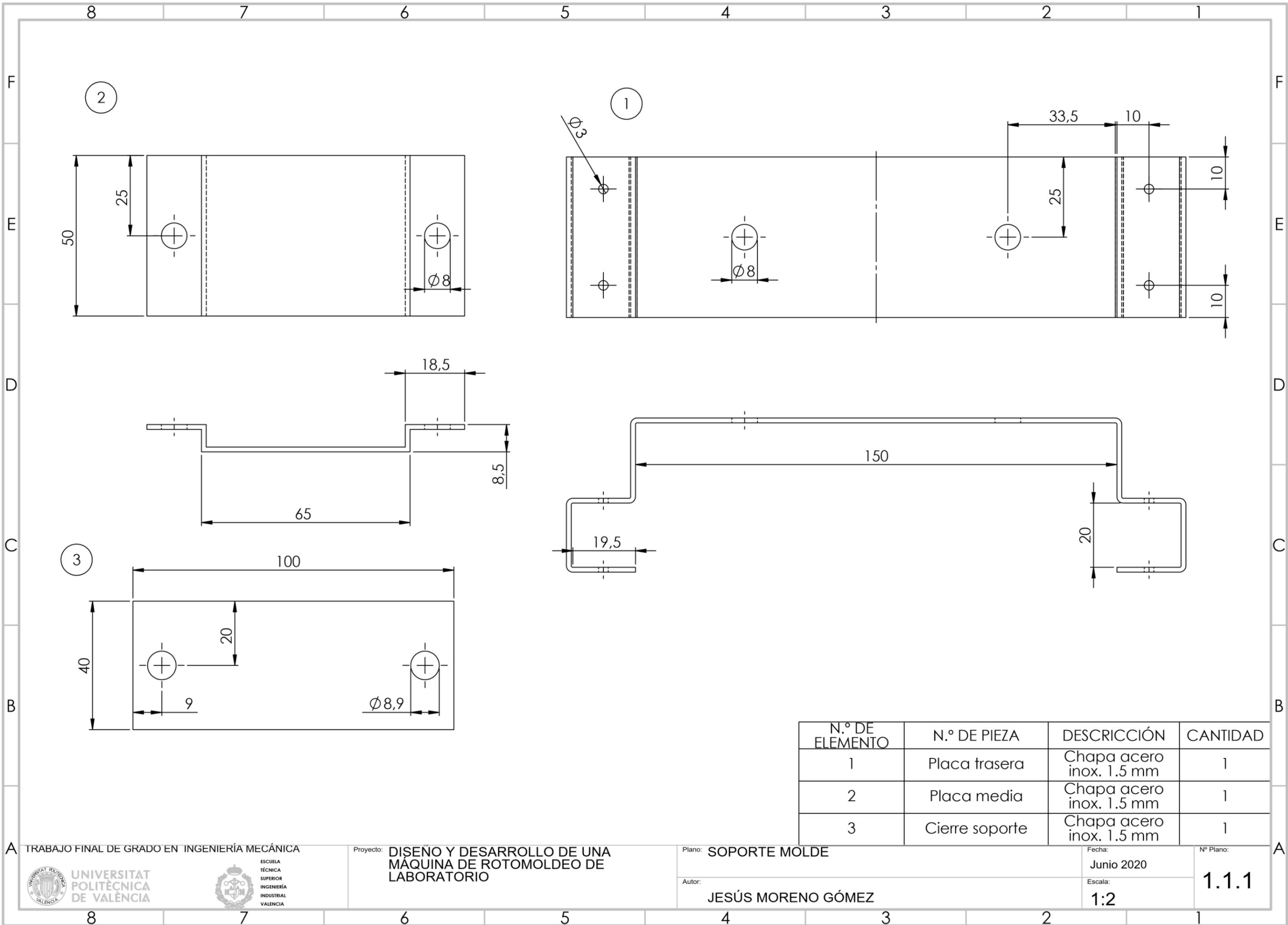
1.0.2



ESCUELA
TÉCNICA
SUPERIOR
INGENIERÍA
INDUSTRIAL
VALENCIA



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	Material	CANTIDAD
1	Placa trasera	Chapa acero inox. 1.5mm	1
2	Placa media	Chapa acero inox. 1.5mm	1
3	Cierre Soporte	Chapa acero inox. 1.5mm	1
4	DIN EN 24014 - M8 x 70 x 70-S		2
5	Hexagon Nut ISO 4032 - M8 - D - N		2
6	DIN 315-M8-GT-C-N		2
7	MOLDE	Silicona	1



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Placa trasera	Chapa acero inox. 1.5 mm	1
2	Placa media	Chapa acero inox. 1.5 mm	1
3	Cierre soporte	Chapa acero inox. 1.5 mm	1

A TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Proyecto: **DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA MÁQUINA DE ROTOMOLDEO DE LABORATORIO**

Plano: **SOPORTE MOLDE**

Fecha: **Junio 2020**

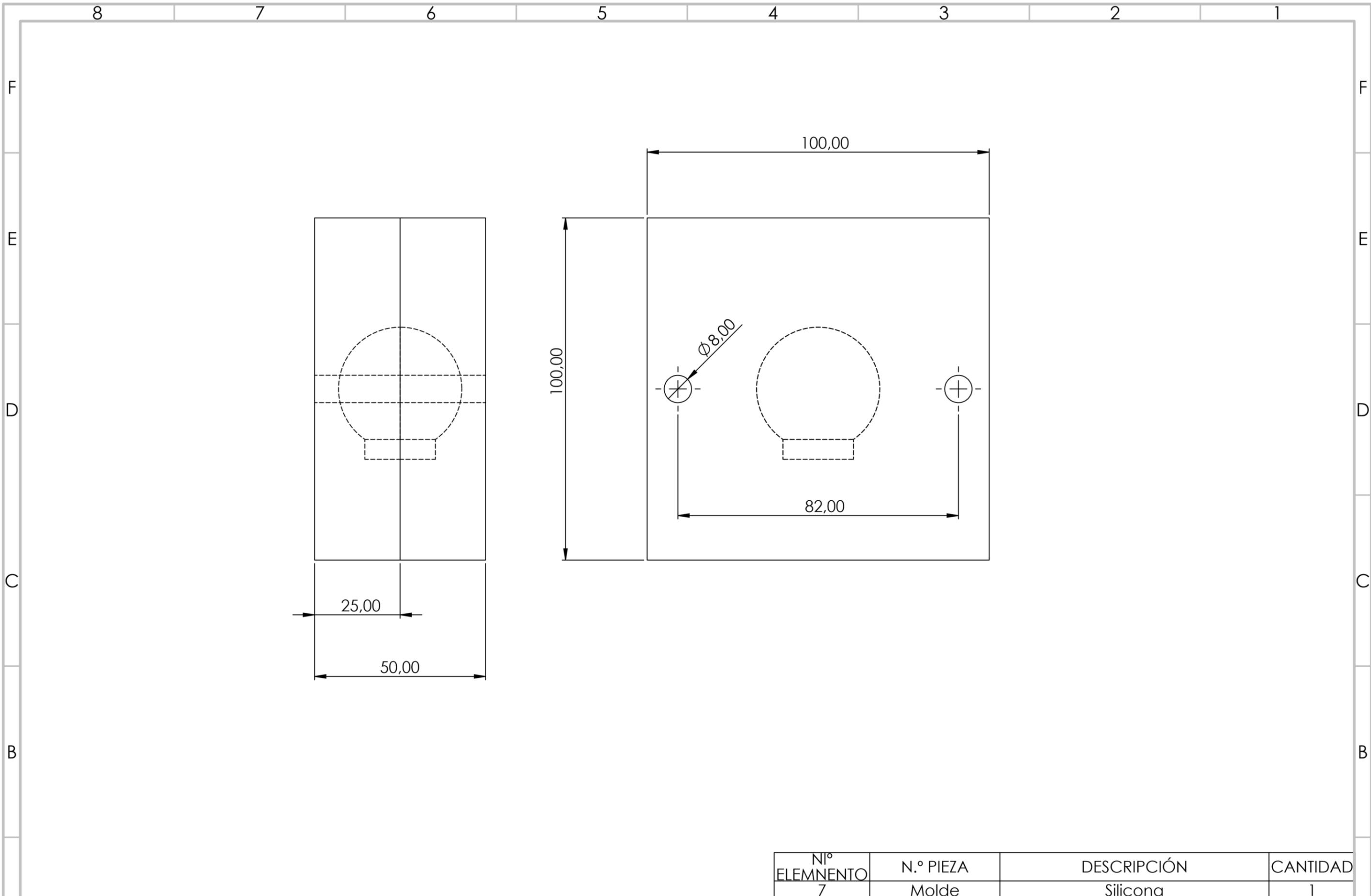
Nº Plano:

Autor: **JESÚS MORENO GÓMEZ**

Escala: **1:2**

1.1.1





TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Proyecto: **DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA MÁQUINA DE ROTOMOLDEO DE LABORATORIO**

Plano: **SOPORTE MOLDE**

Fecha: **Junio 2020**

Nº Plano:

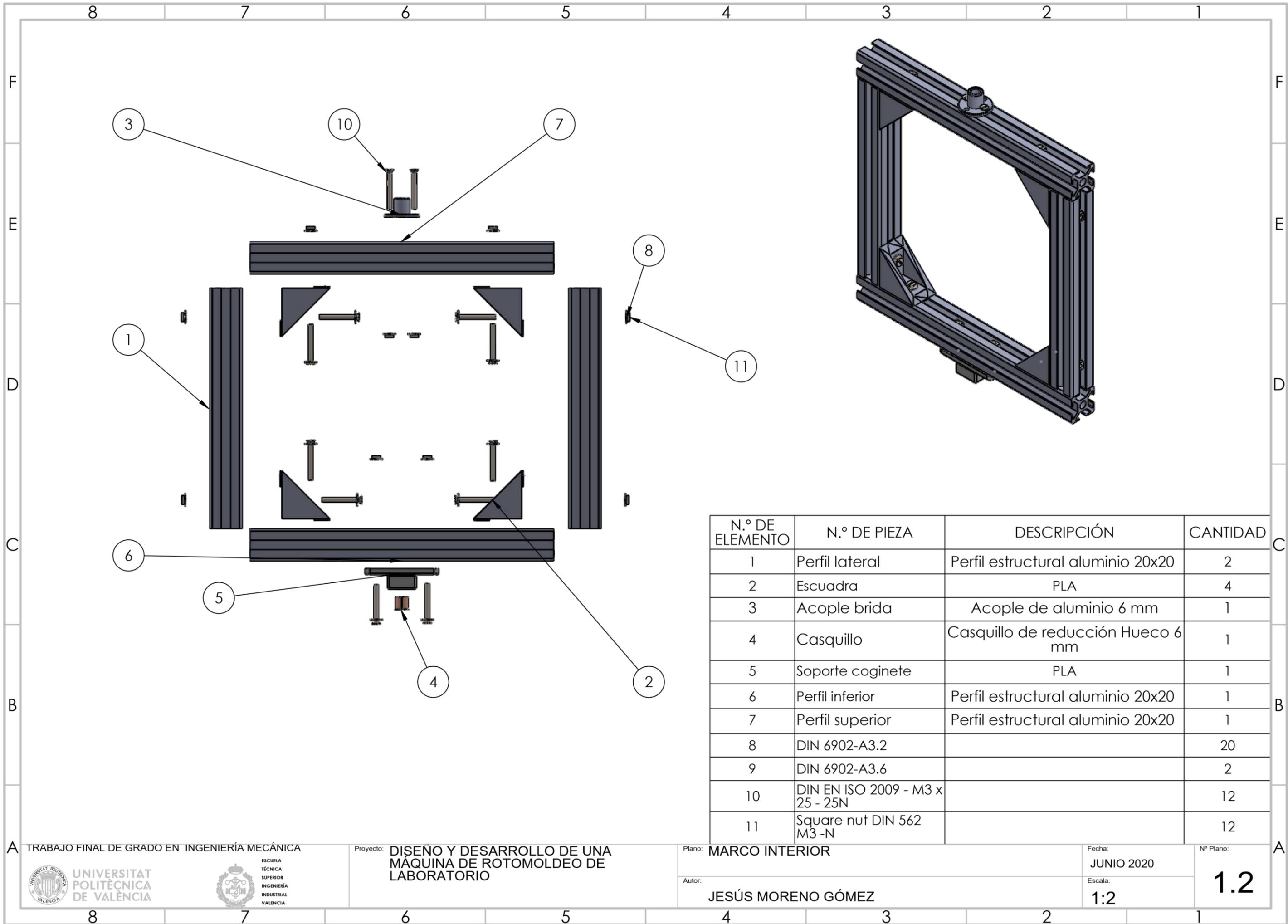
Autor: **JESÚS MORENO GÓMEZ**

Escala: **1:1**

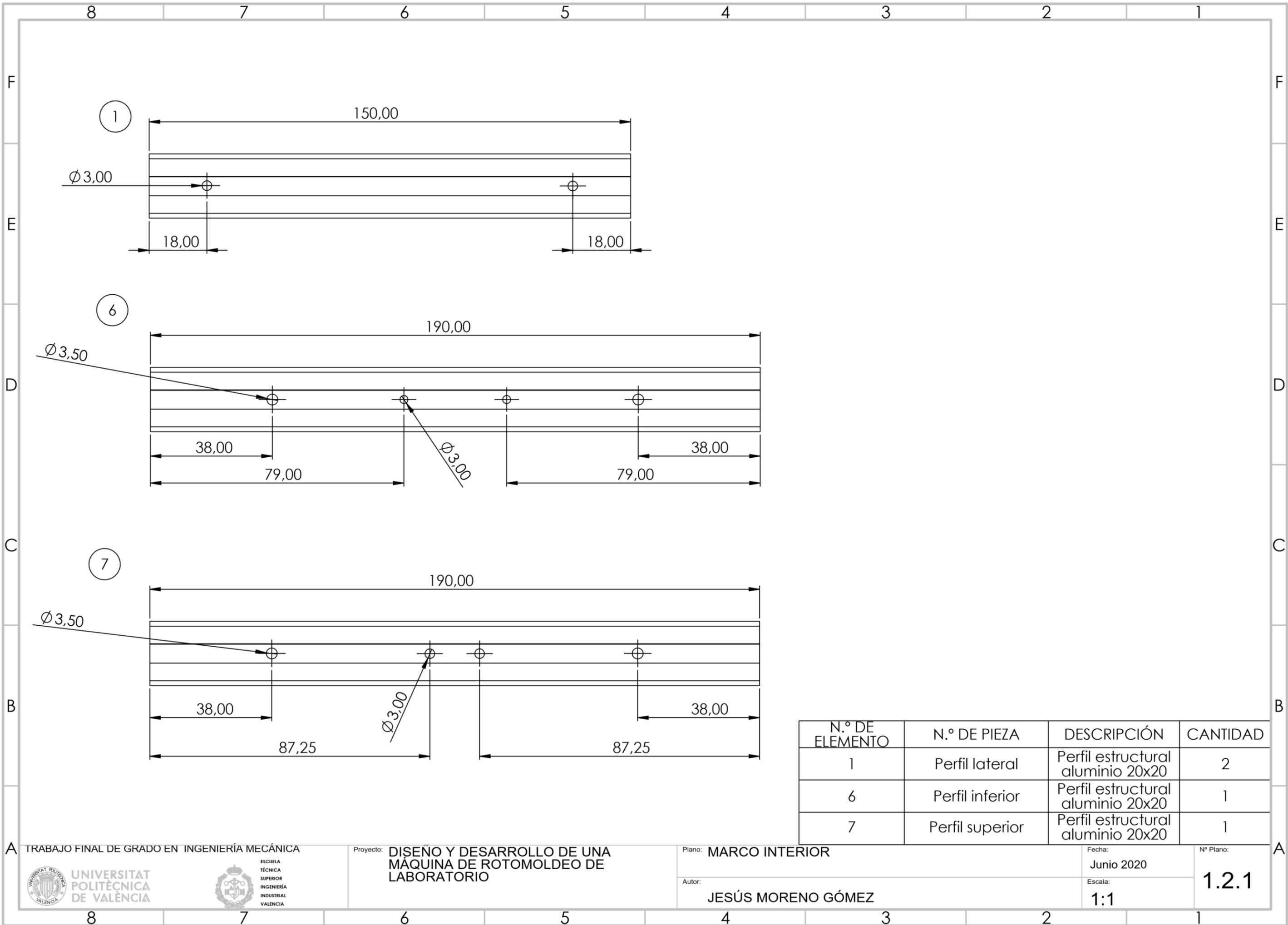
1.1.2



Nº ELEMENTO	N.º PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
7	Molde	Silicona	1



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Perfil lateral	Perfil estructural aluminio 20x20	2
2	Escuadra	PLA	4
3	Acople brida	Acople de aluminio 6 mm	1
4	Casquillo	Casquillo de reducción Hueco 6 mm	1
5	Soporte coginete	PLA	1
6	Perfil inferior	Perfil estructural aluminio 20x20	1
7	Perfil superior	Perfil estructural aluminio 20x20	1
8	DIN 6902-A3.2		20
9	DIN 6902-A3.6		2
10	DIN EN ISO 2009 - M3 x 25 - 25N		12
11	Square nut DIN 562 M3 -N		12



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Perfil lateral	Perfil estructural aluminio 20x20	2
6	Perfil inferior	Perfil estructural aluminio 20x20	1
7	Perfil superior	Perfil estructural aluminio 20x20	1

A TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Proyecto: **DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA MÁQUINA DE ROTOMOLDEO DE LABORATORIO**

Plano: **MARCO INTERIOR**

Fecha: **Junio 2020**

Nº Plano:



Autor: **JESÚS MORENO GÓMEZ**

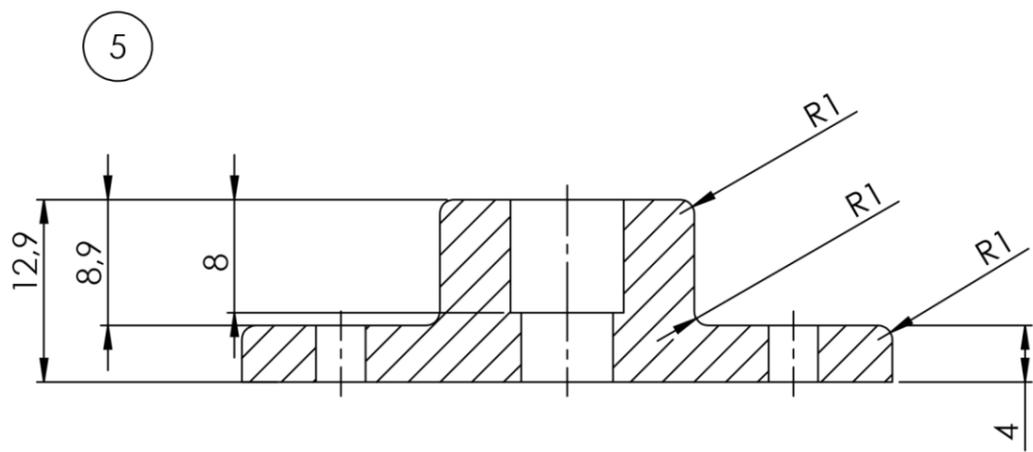
Escala: **1:1**

1.2.1

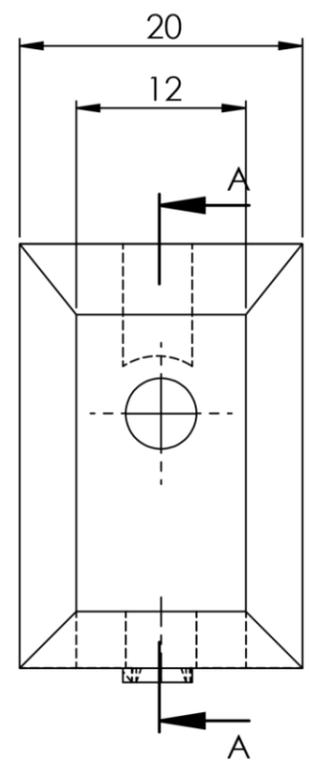
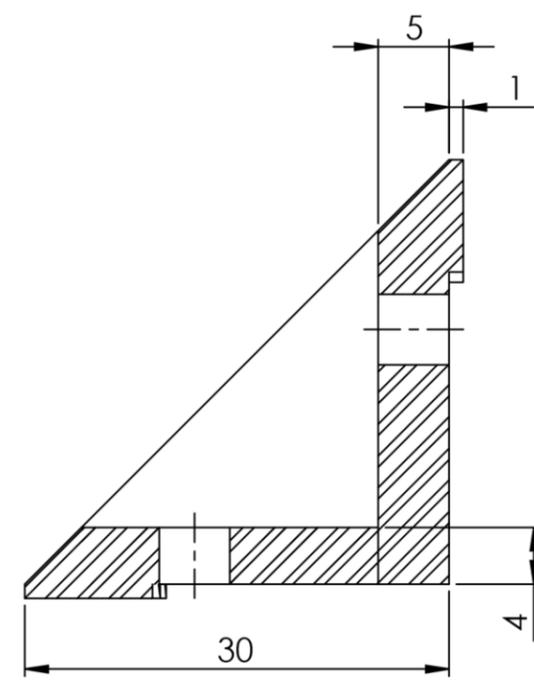
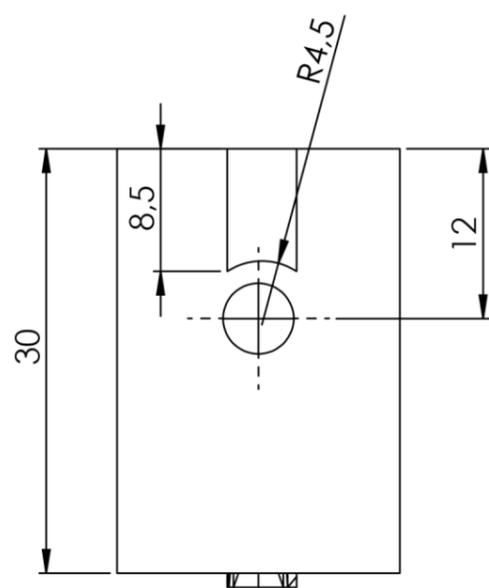
8 7 6 5 4 3 2 1

F

F



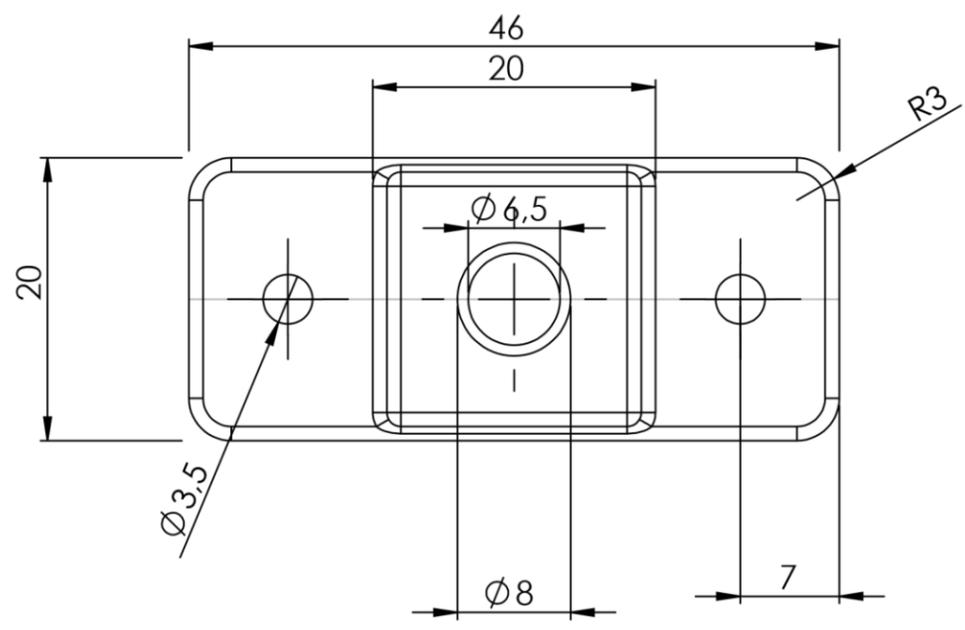
2



SECCIÓN A-A

D

D



C

C

B

B

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
2	Escuadra	PLA	4
5	Soporte cojinete	PLA	1

A TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Proyecto: DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA MÁQUINA DE ROTOMOLDEO DE LABORATORIO

Plano: MARCO INTERIOR

Fecha: Junio 2020

Nº Plano:

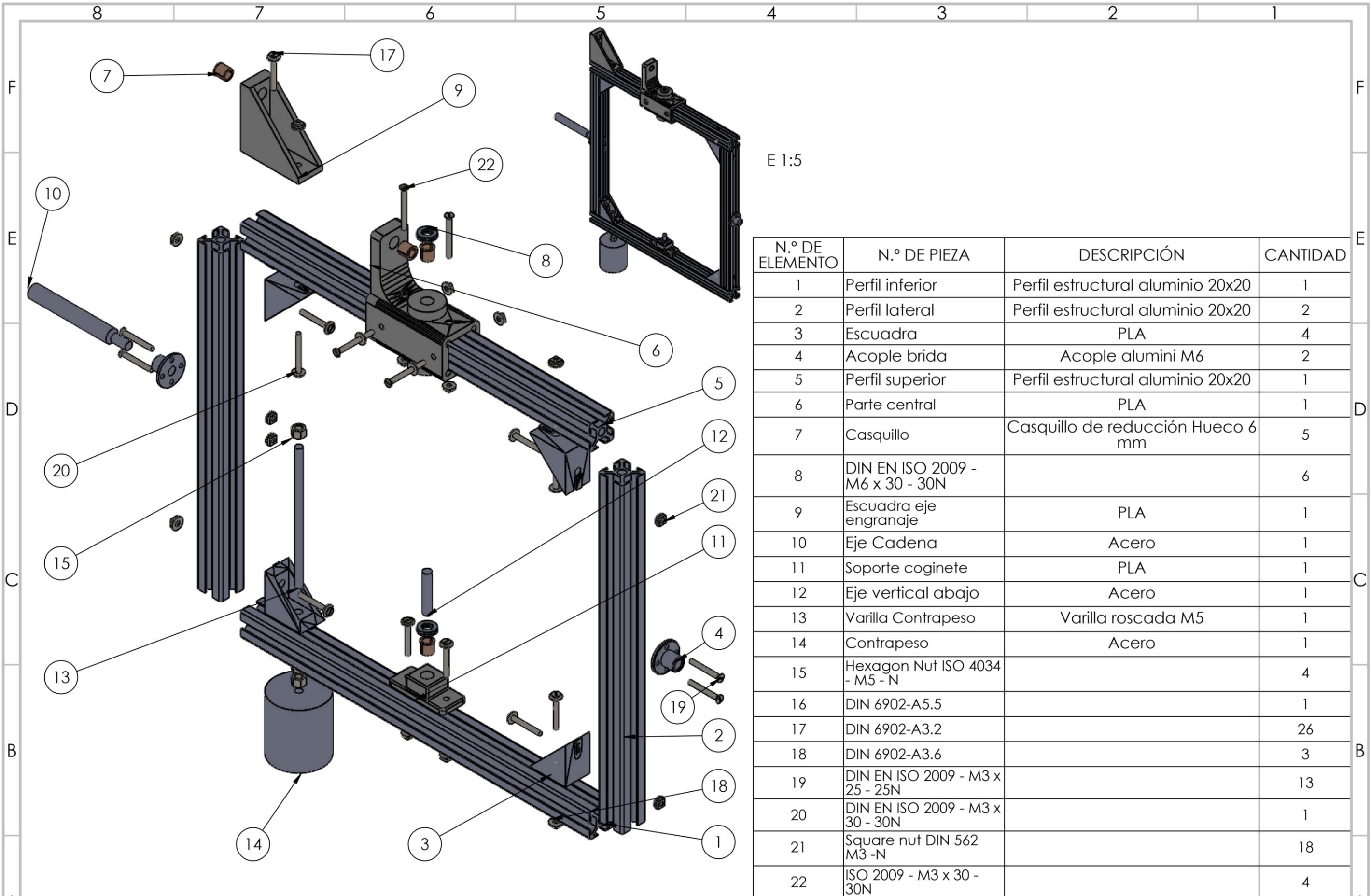


Autor: JESÚS MORENO GÓMEZ

Escala: 2:1

1.2.2

8 7 6 5 4 3 2 1



E 1:5

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Perfil inferior	Perfil estructural aluminio 20x20	1
2	Perfil lateral	Perfil estructural aluminio 20x20	2
3	Escuadra	PLA	4
4	Acople brida	Acople alumini M6	2
5	Perfil superior	Perfil estructural aluminio 20x20	1
6	Parte central	PLA	1
7	Casquillo	Casquillo de reducción Hueco 6 mm	5
8	DIN EN ISO 2009 - M6 x 30 - 30N		6
9	Escuadra eje engranaje	PLA	1
10	Eje Cadena	Acero	1
11	Soporte coginete	PLA	1
12	Eje vertical abajo	Acero	1
13	Varilla Contrapeso	Varilla roscada M5	1
14	Contrapeso	Acero	1
15	Hexagon Nut ISO 4034 - M5 - N		4
16	DIN 6902-A5.5		1
17	DIN 6902-A3.2		26
18	DIN 6902-A3.6		3
19	DIN EN ISO 2009 - M3 x 25 - 25N		13
20	DIN EN ISO 2009 - M3 x 30 - 30N		1
21	Square nut DIN 562 M3 -N		18
22	ISO 2009 - M3 x 30 - 30N		4

A TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Proyecto: **DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA MÁQUINA DE ROTOMOLDEO DE LABORATORIO**

Plano: **MARCO EXTERIOR**

Fecha: **Junio 2020**

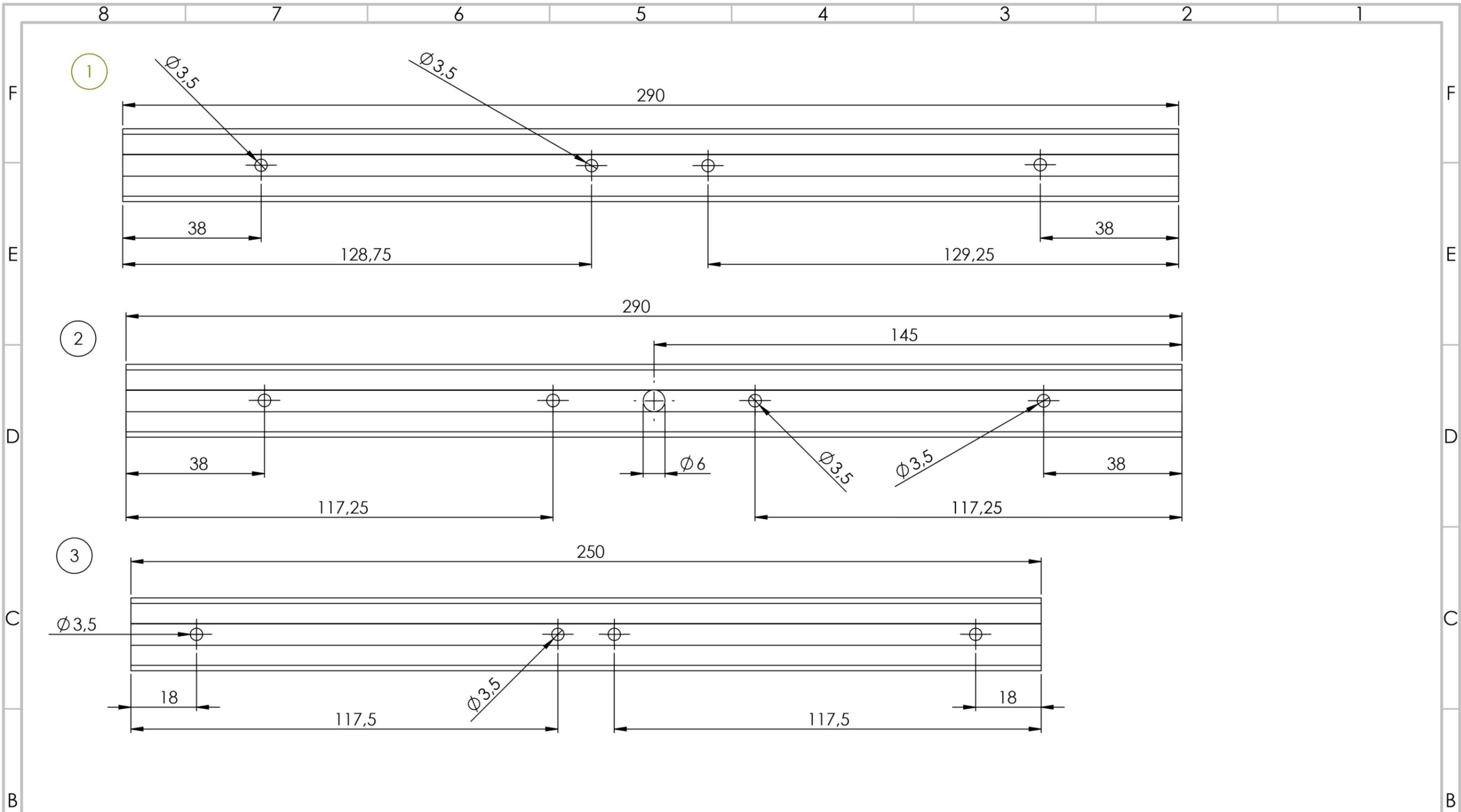
Nº Plano:



Autor: **JESÚS MORENO GÓMEZ**

Escala: **1:2**

1.3



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Perfil inferior	Perfil estructural aluminio 20x20	1
2	Perfil lateral	Perfil estructural aluminio 20x20	2
5	Perfil superior	Perfil estructural aluminio 20x20	1

A TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Proyecto: **DISÑO Y DESARROLLO DE UNA MÁQUINA DE ROTOMOLDEO DE LABORATORIO**

Plano: **MARCO EXTERIOR**

Fecha: **Junio 2020**

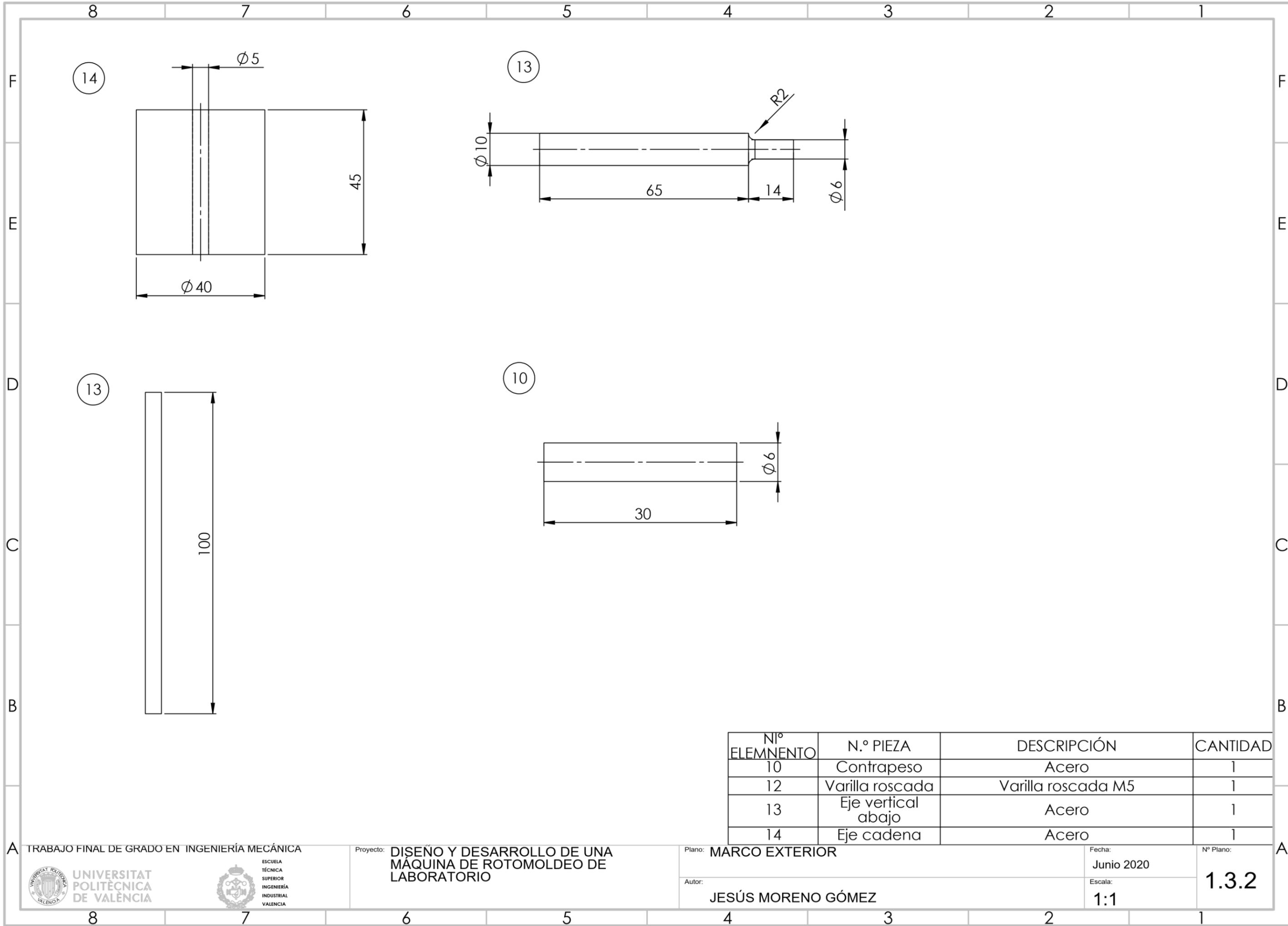
Nº Plano:



Autor: **JESÚS MORENO GÓMEZ**

Escala: **1:1**

1.3.1



Nº ELEMNENTO	N.º PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
10	Contrapeso	Acero	1
12	Varilla roscada	Varilla roscada M5	1
13	Eje vertical abajo	Acero	1
14	Eje cadena	Acero	1

A TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Proyecto: DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA MÁQUINA DE ROTOMOLDEO DE LABORATORIO

Plano: MARCO EXTERIOR

Fecha: Junio 2020

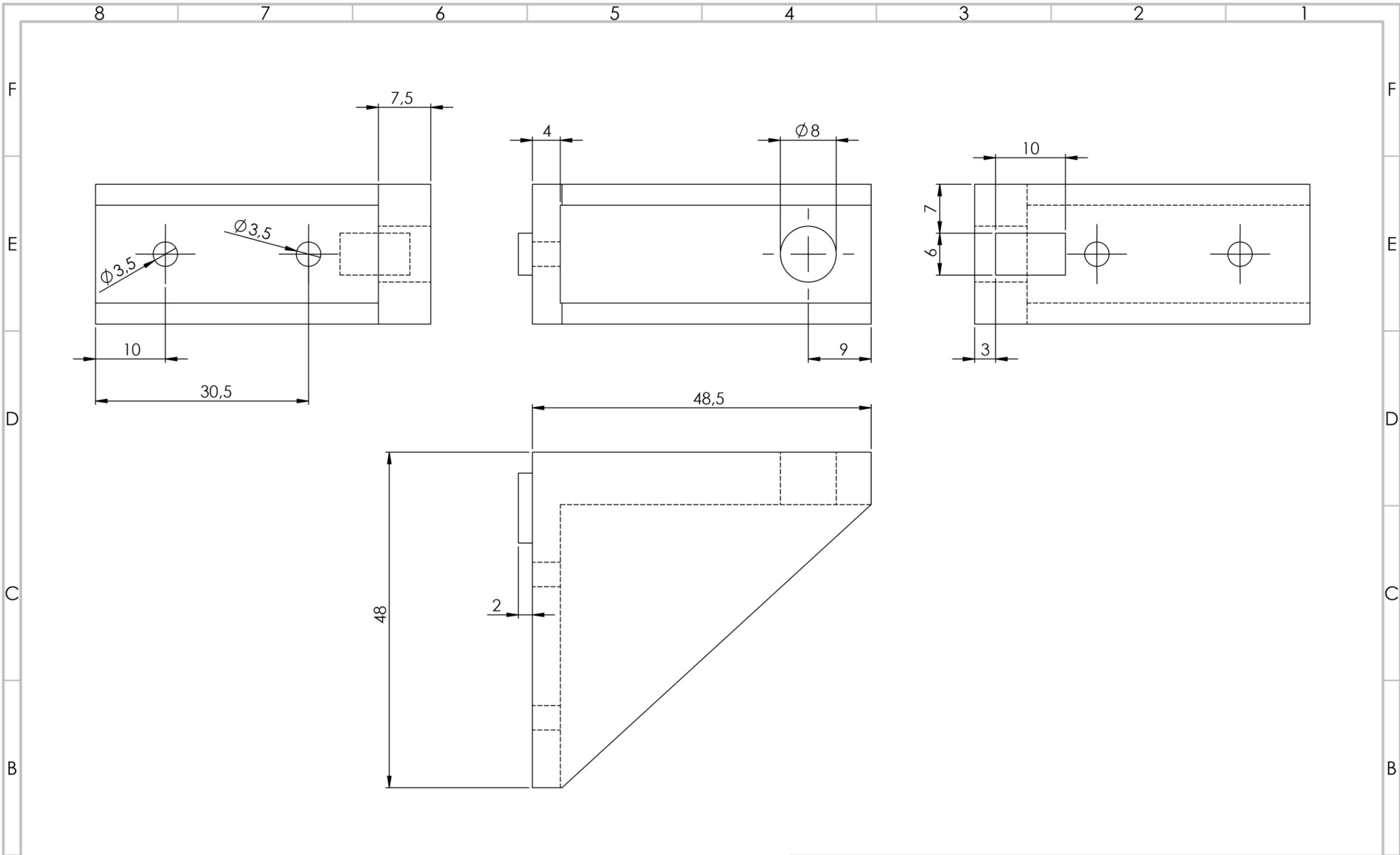
Nº Plano:



Autor: JESÚS MORENO GÓMEZ

Escala: 1:1

1.3.2



Nº ELEMENTO	N.º PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
9	Escuadra eje engranaje	PLA	1

A TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Proyecto: **DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA MÁQUINA DE ROTOMOLDEO DE LABORATORIO**

Plano: **MARCO EXTERIOR**

Fecha: **Junio 2020**

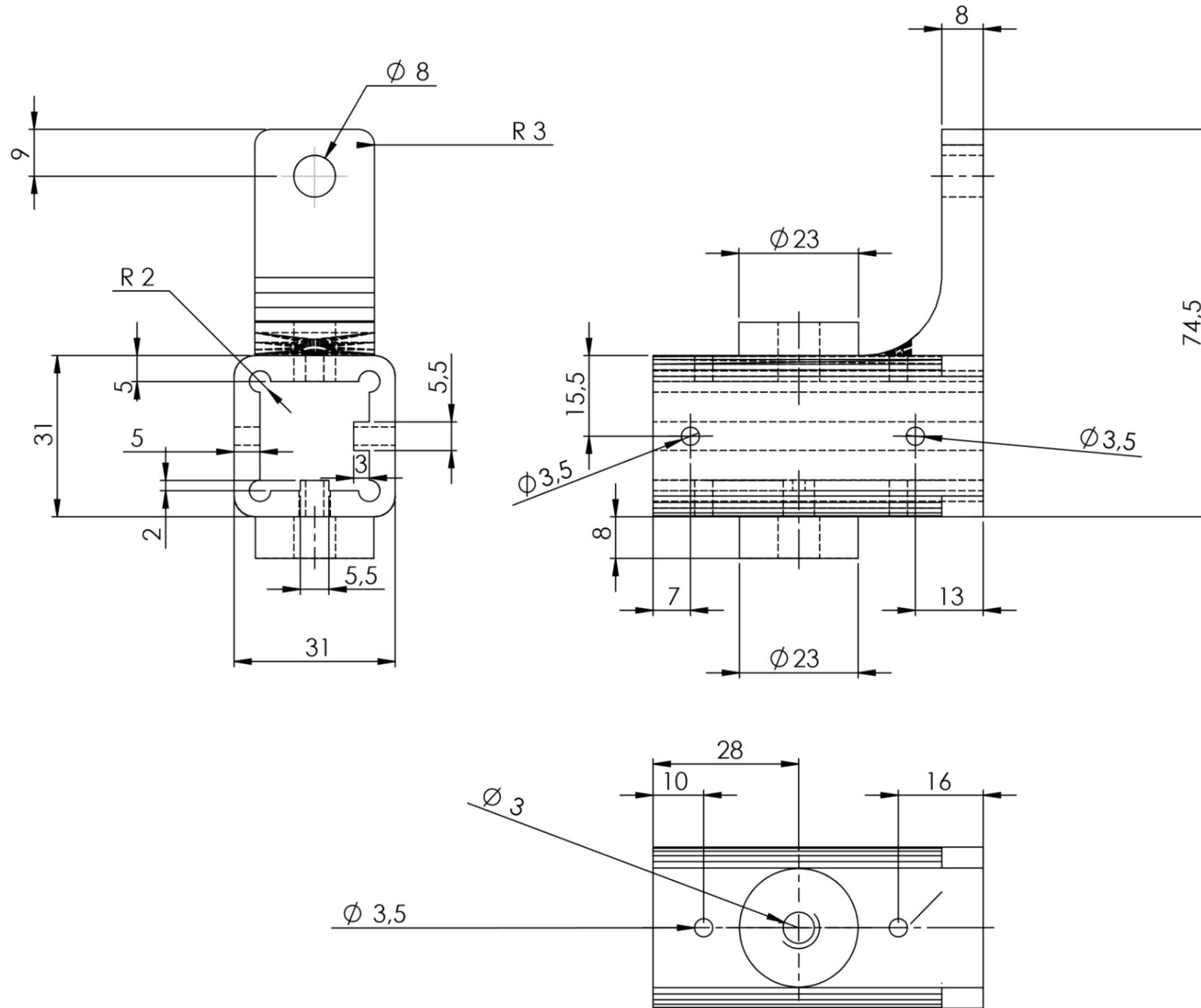
Nº Plano:



Autor: **JESÚS MORENO GÓMEZ**

Escala: **2:1**

1.3.3

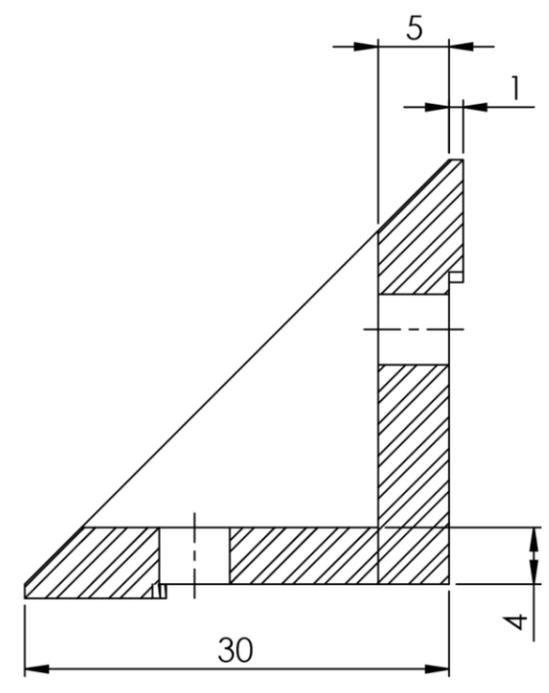
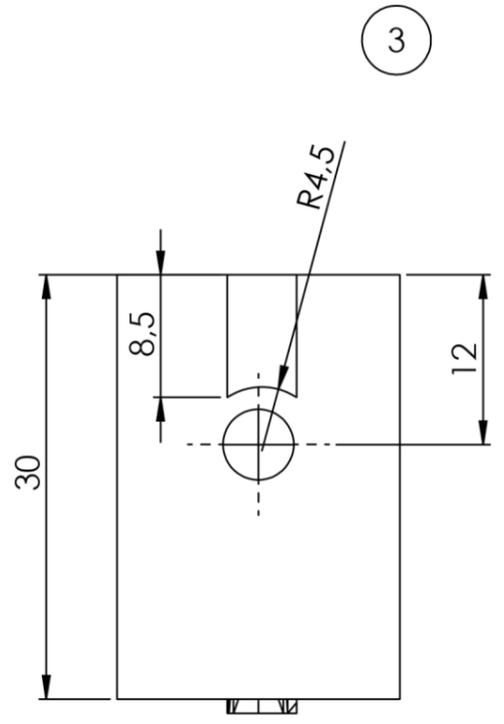
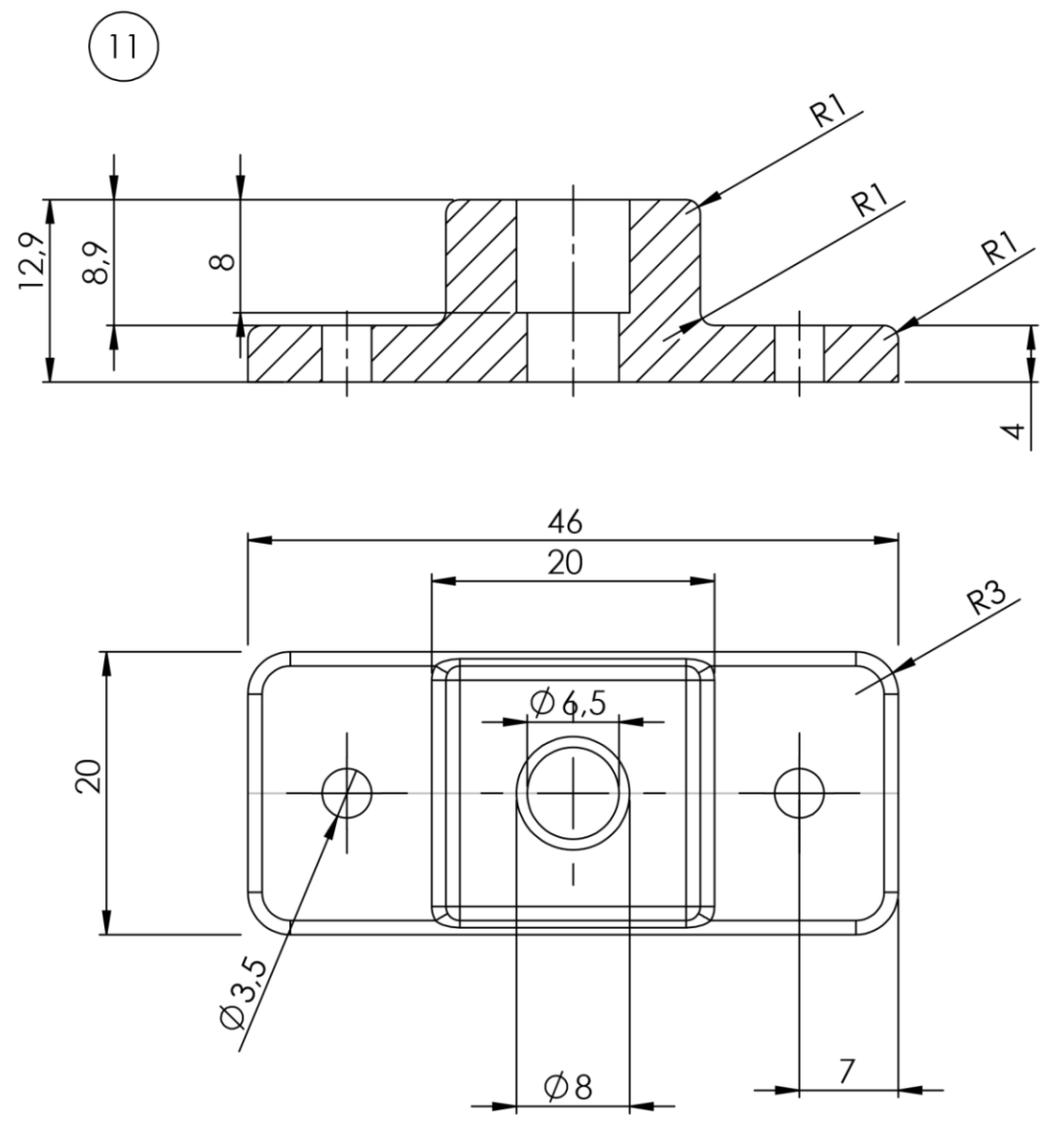


Nº ELEMENTO	N.º PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
6	Parte cetral	PLA	1
Fecha: Junio 2020			Nº Plano: 1.3.4
Escala: 1:1			

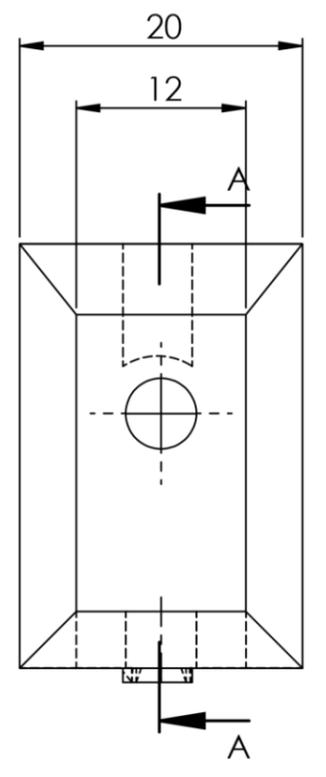
8 7 6 5 4 3 2 1

F
E
D
C
B
A

F
E
D
C
B
A



SECCIÓN A-A



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
3	Escuadra	PLA	4
11	Soporte cojinete	PLA	1

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Proyecto: DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA MÁQUINA DE ROTOMOLDEO DE LABORATORIO

Plano: MARCO EXTERIOR

Fecha: Junio 2020

Nº Plano:

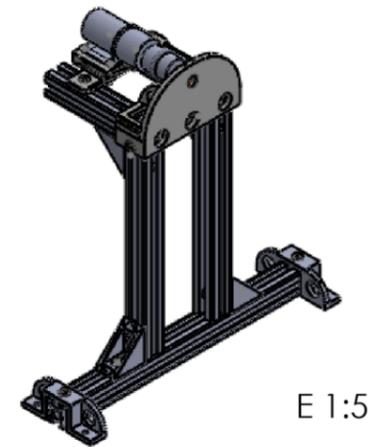
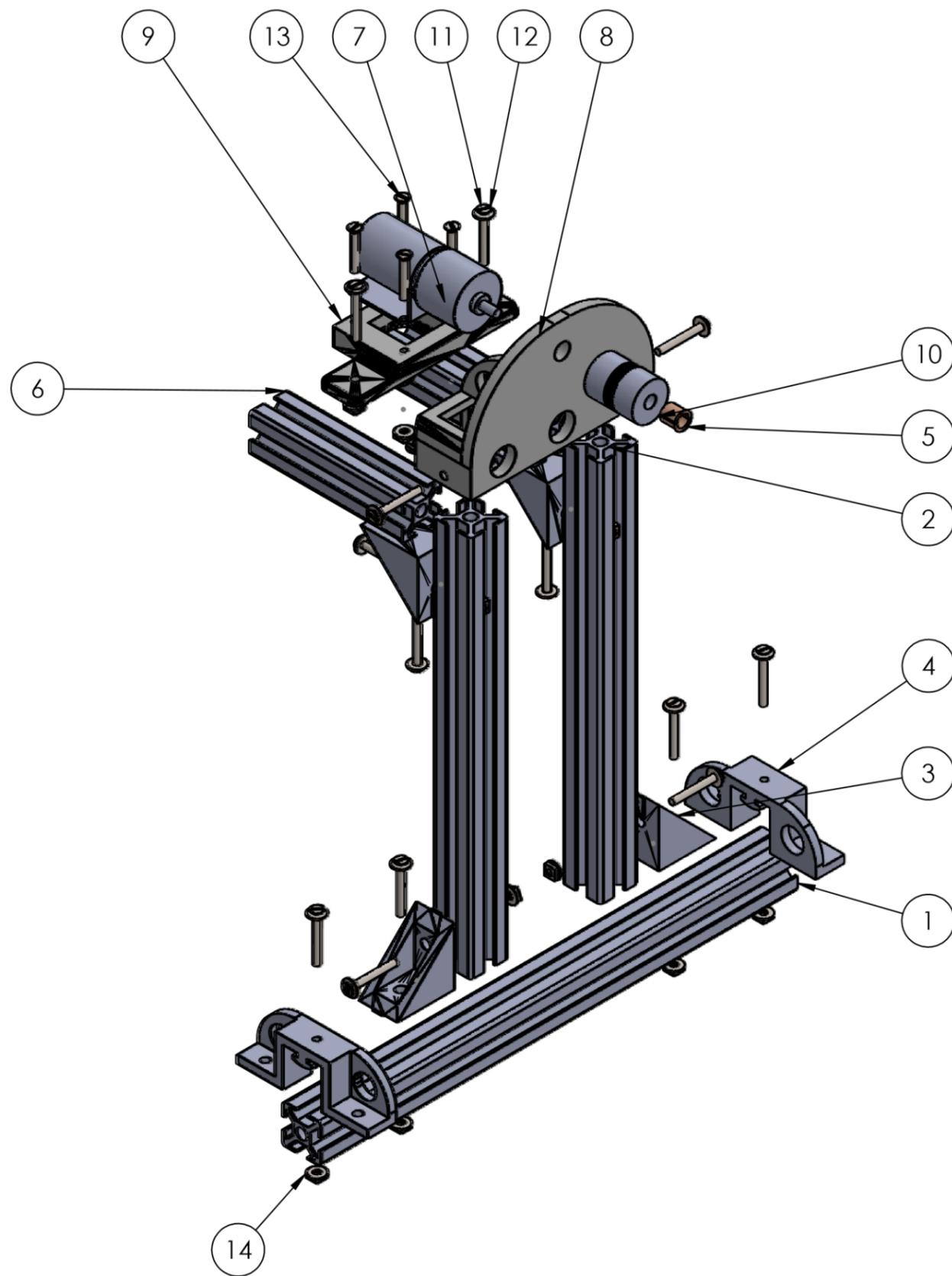


Autor: JESÚS MORENO GÓMEZ

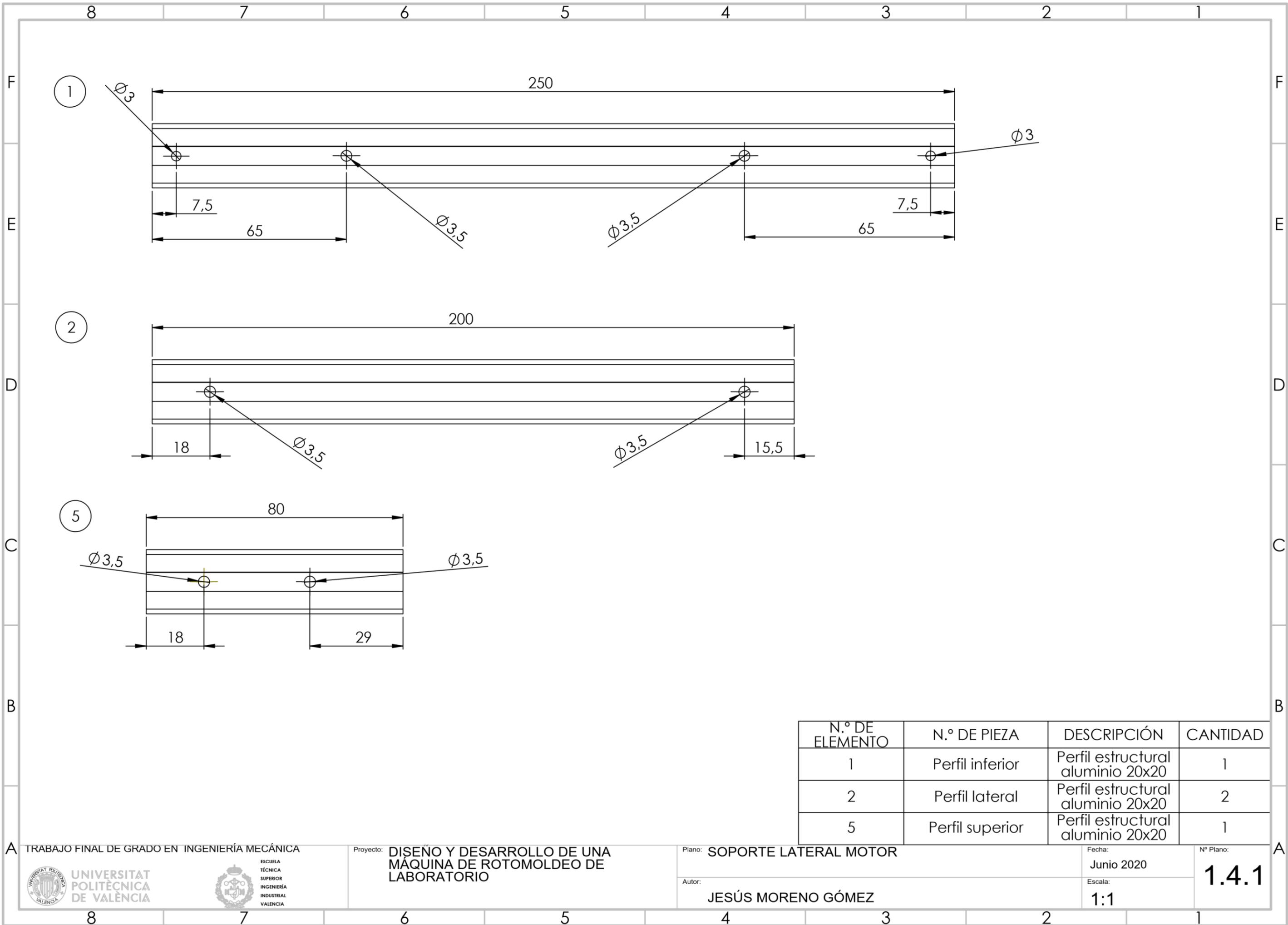
Escala: 2:1

1.3.5

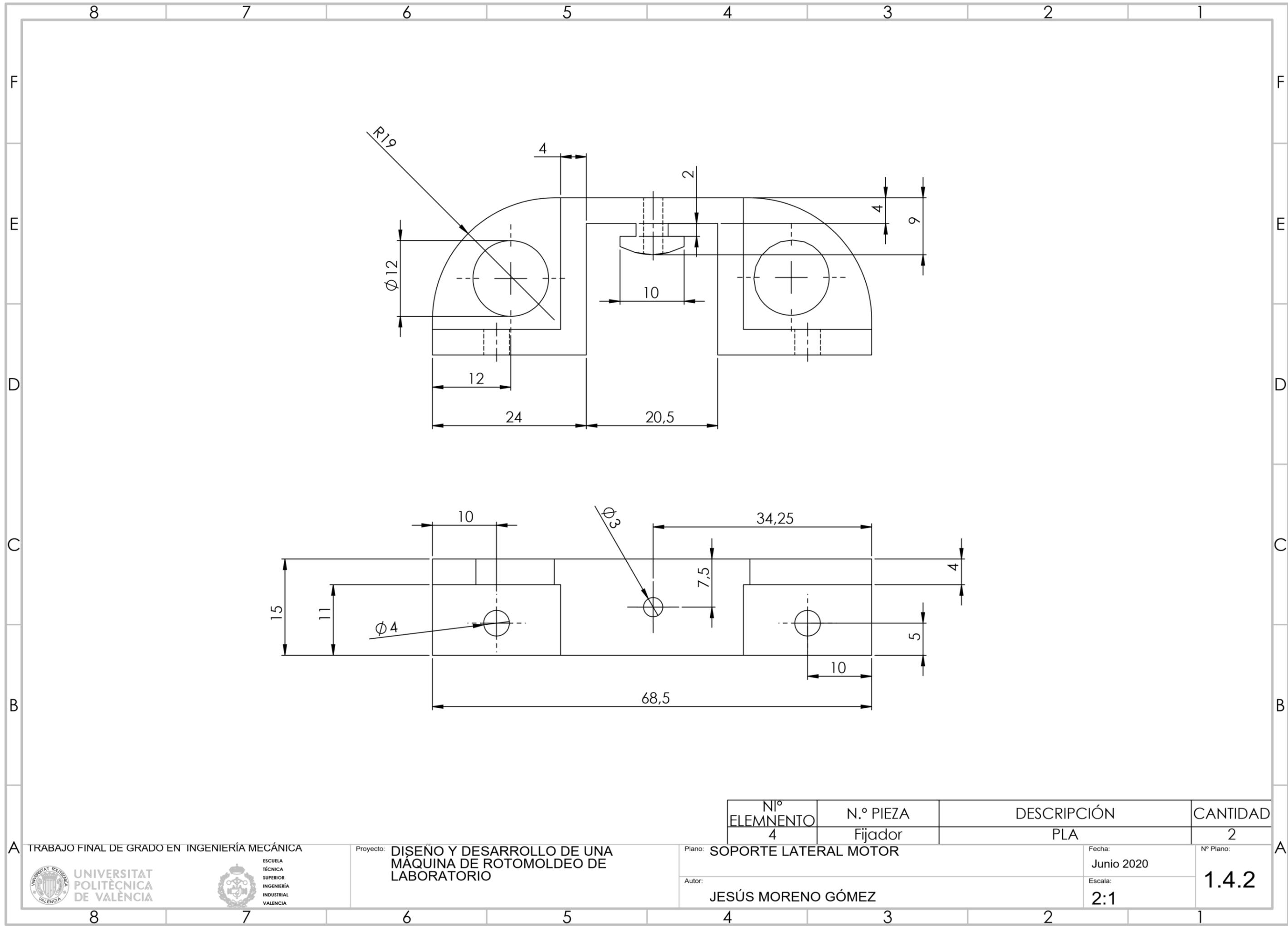
8 7 6 5 4 3 2 1



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Pata	Perfil estructural aluminio 20x20	1
2	Lateral	Perfil estructural aluminio 20x20	2
3	Escuadra	PLA	4
4	Fijador	PLA	2
5	Casquillo	Casquillo de reducción Hueco 6 mm	1
6	Soporte motor	Perfil estructural aluminio 20x20	2
7	Motor		1
8	Soporte brazo motor	PLA	1
9	Motor base	PLA	1
10	Acoplamiento motor	Acople Aluminio Diametro 4-6	1
11	DIN 6902-A3.2		32
12	DIN EN ISO 2009 - M3 x 25 - 25N		14
13	DIN EN ISO 2009 - M3 x 20 - 20N		4
14	Square nut DIN 562 M3 -N		18



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Perfil inferior	Perfil estructural aluminio 20x20	1
2	Perfil lateral	Perfil estructural aluminio 20x20	2
5	Perfil superior	Perfil estructural aluminio 20x20	1



A TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Proyecto: DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA MÁQUINA DE ROTOMOLDEO DE LABORATORIO

Plano: SOPORTE LATERAL MOTOR

Fecha:
Junio 2020

Nº Plano:

Nº ELEMENTO	N.º PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
4	Fijador	PLA	2

Autor:
JESÚS MORENO GÓMEZ

Escala:
2:1

1.4.2



ESCUELA
TÉCNICA
SUPERIOR
INGENIERÍA
INDUSTRIAL
VALENCIA

8 7 6 5 4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

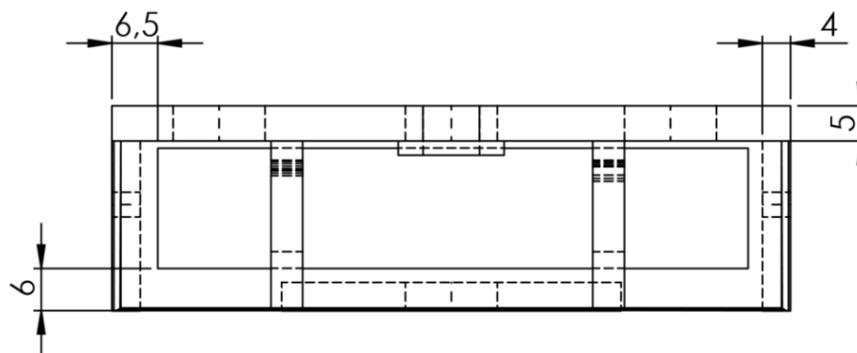
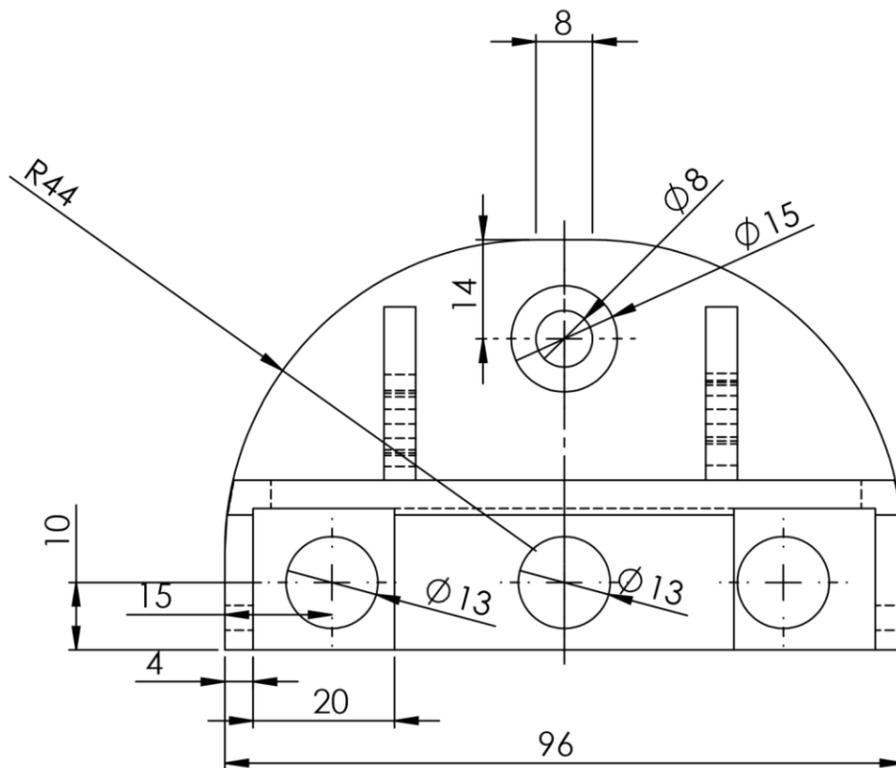
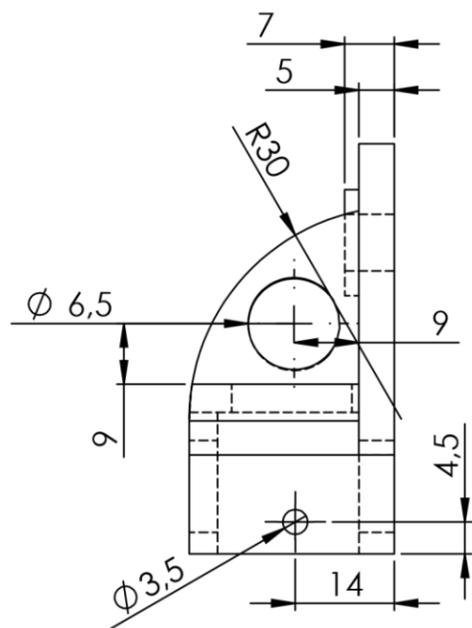
C

B

B

A

A



TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Proyecto: DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA MÁQUINA DE ROTOMOLDEO DE LABORATORIO

Plano: SOPORTE LATERAL MOTOR

Fecha: Junio 2020

Nº Plano:

Nº ELEMENTO	N.º PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
3	Soporte brazo	PLA	1

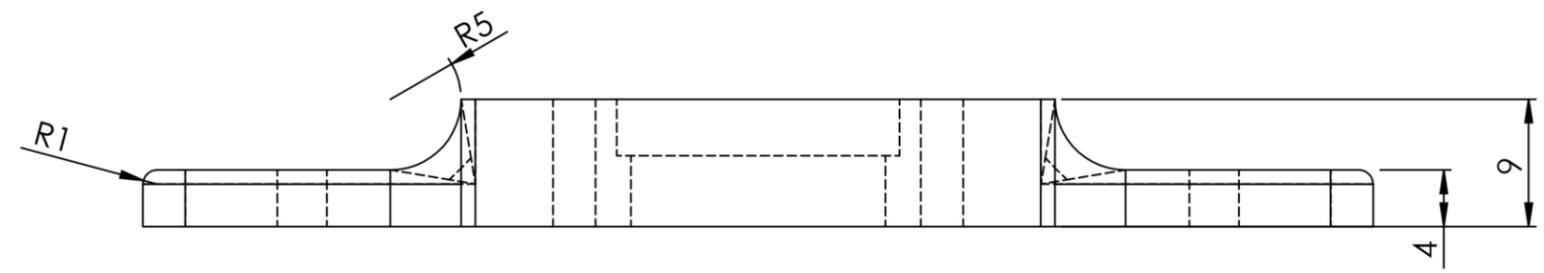
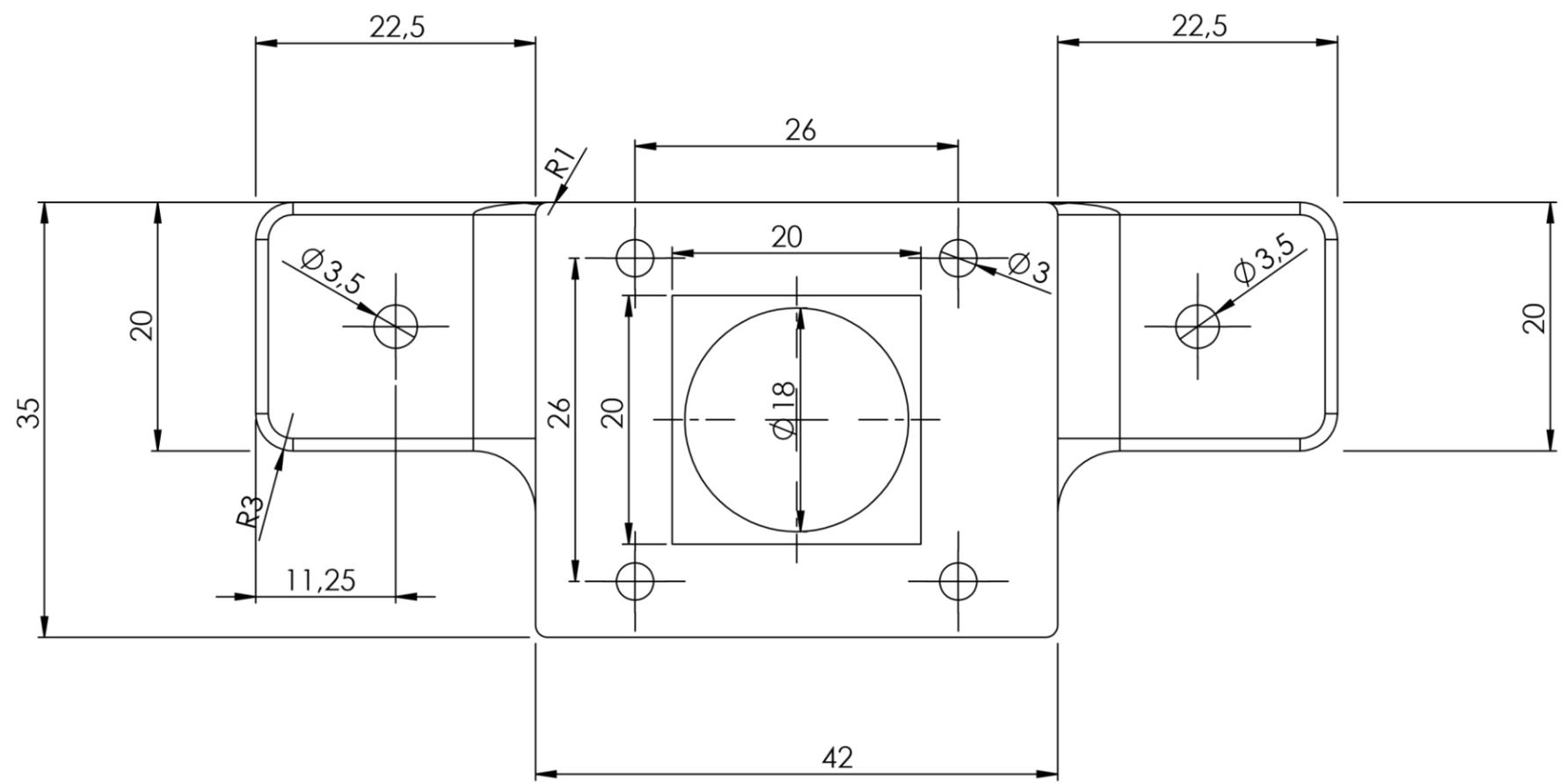
Autor: JESÚS MORENO GÓMEZ

Escala: 1:1

1.4.3



8 7 6 5 4 3 2 1



Nº ELEMENTO	N.º PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
9	Baso motor	PLA	1

A TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Proyecto: **DISÑO Y DESARROLLO DE UNA MÁQUINA DE ROTOMOLDEO DE LABORATORIO**

Plano: **SOPORTE LATERAL MOTOR**

Fecha: **Junio 2020**

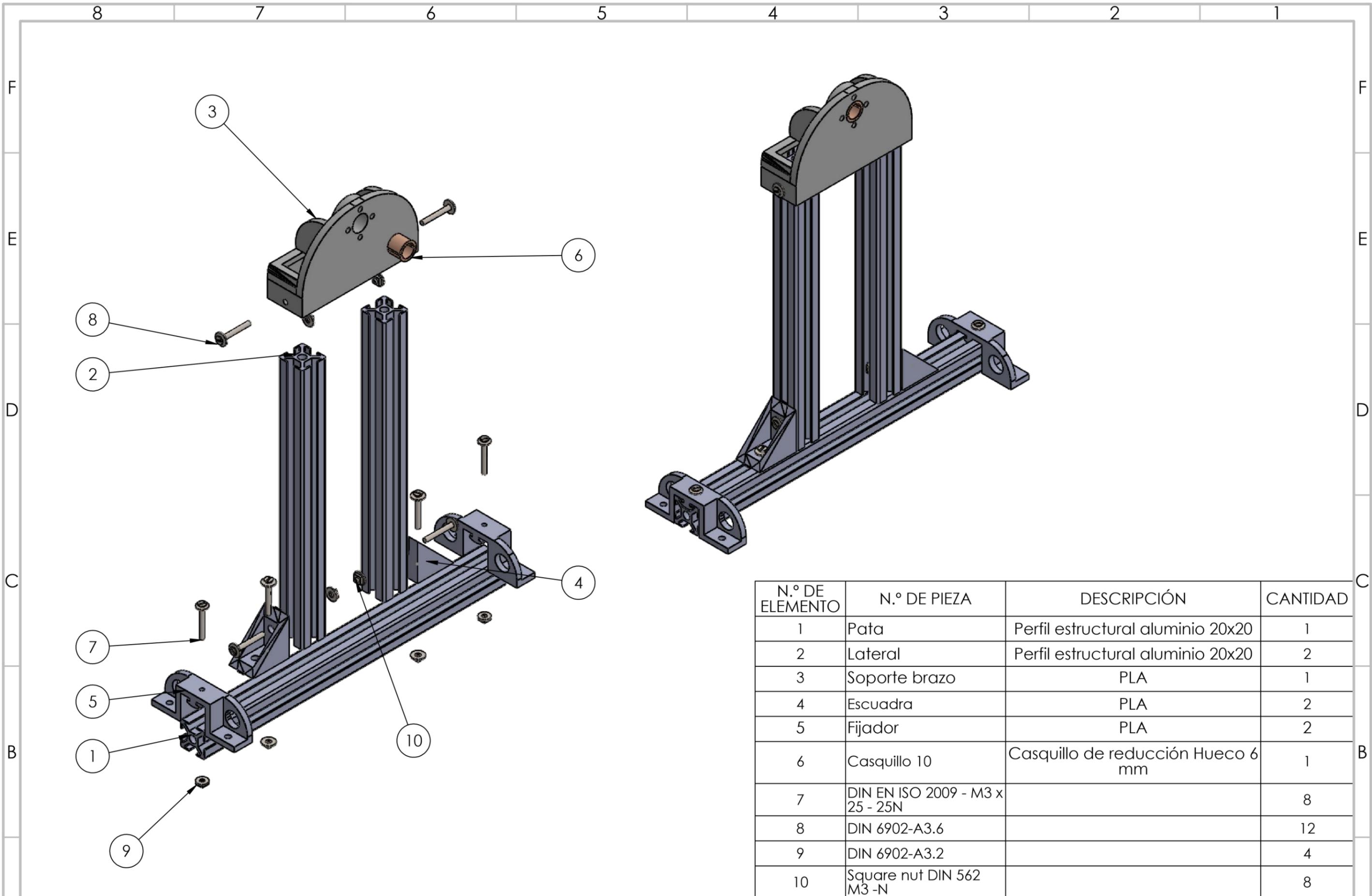
Nº Plano:



Autor: **JESÚS MORENO GÓMEZ**

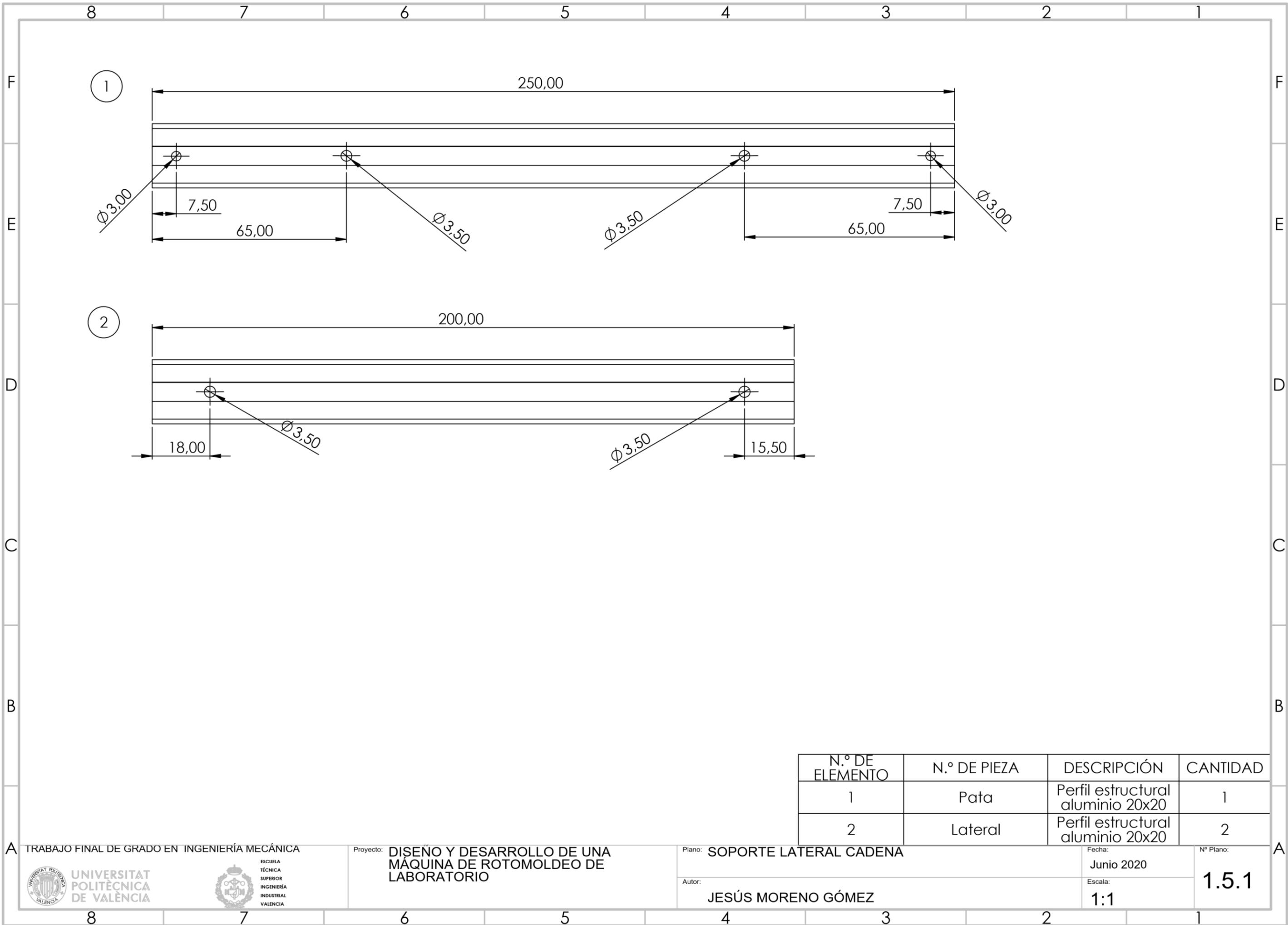
Escala: **2:1**

1.4.4



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Pata	Perfil estructural aluminio 20x20	1
2	Lateral	Perfil estructural aluminio 20x20	2
3	Soporte brazo	PLA	1
4	Escuadra	PLA	2
5	Fijador	PLA	2
6	Casquillo 10	Casquillo de reducción Hueco 6 mm	1
7	DIN EN ISO 2009 - M3 x 25 - 25N		8
8	DIN 6902-A3.6		12
9	DIN 6902-A3.2		4
10	Square nut DIN 562 M3 -N		8





N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Pata	Perfil estructural aluminio 20x20	1
2	Lateral	Perfil estructural aluminio 20x20	2

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Proyecto: **DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA MÁQUINA DE ROTOMOLDEO DE LABORATORIO**

Plano: **SOPORTE LATERAL CADENA**

Fecha: **Junio 2020**

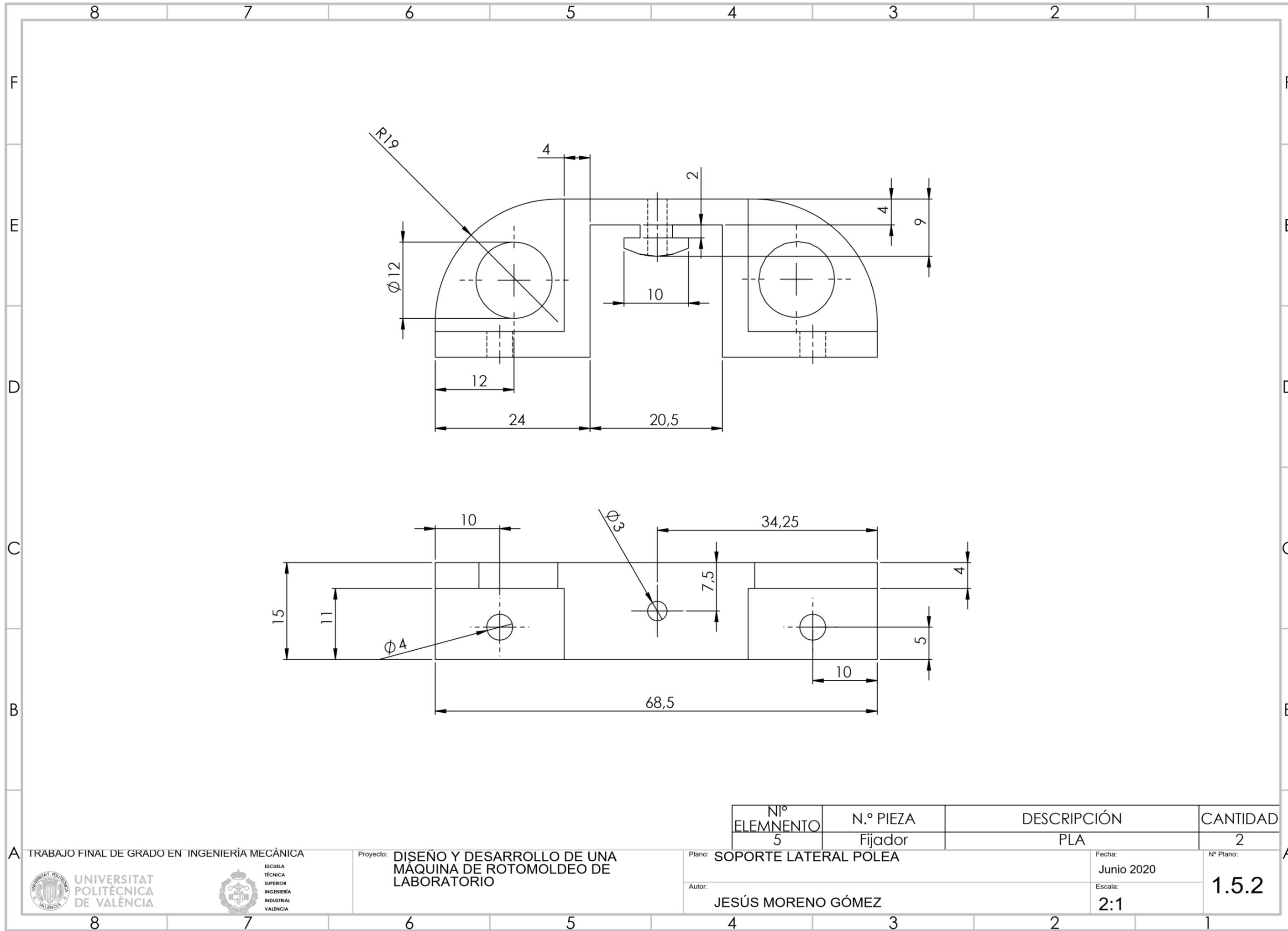
Nº Plano:



Autor: **JESÚS MORENO GÓMEZ**

Escala: **1:1**

1.5.1



TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Proyecto: **DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA MÁQUINA DE ROTOMOLDEO DE LABORATORIO**

Plano: **SOPORTE LATERAL POLEA**

Fecha:
Junio 2020

Nº Plano:

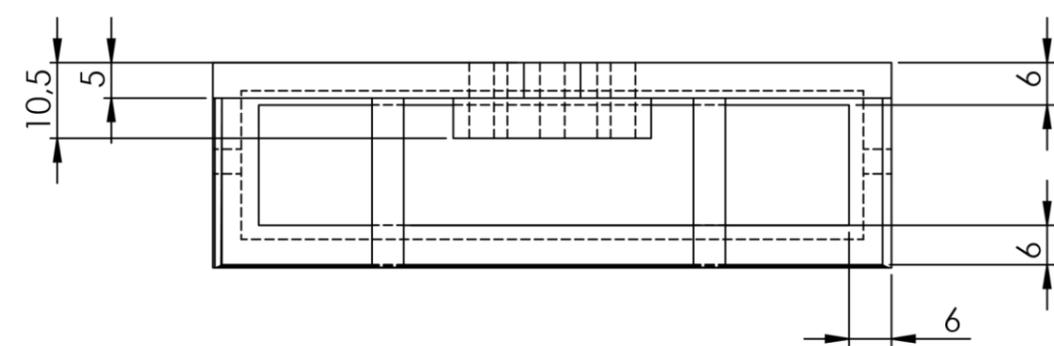
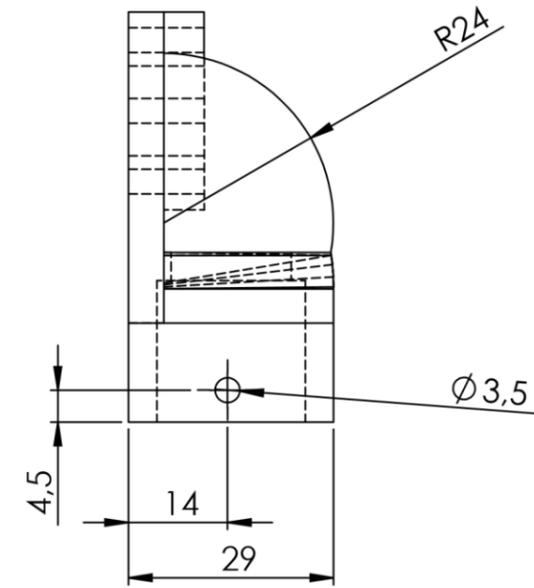
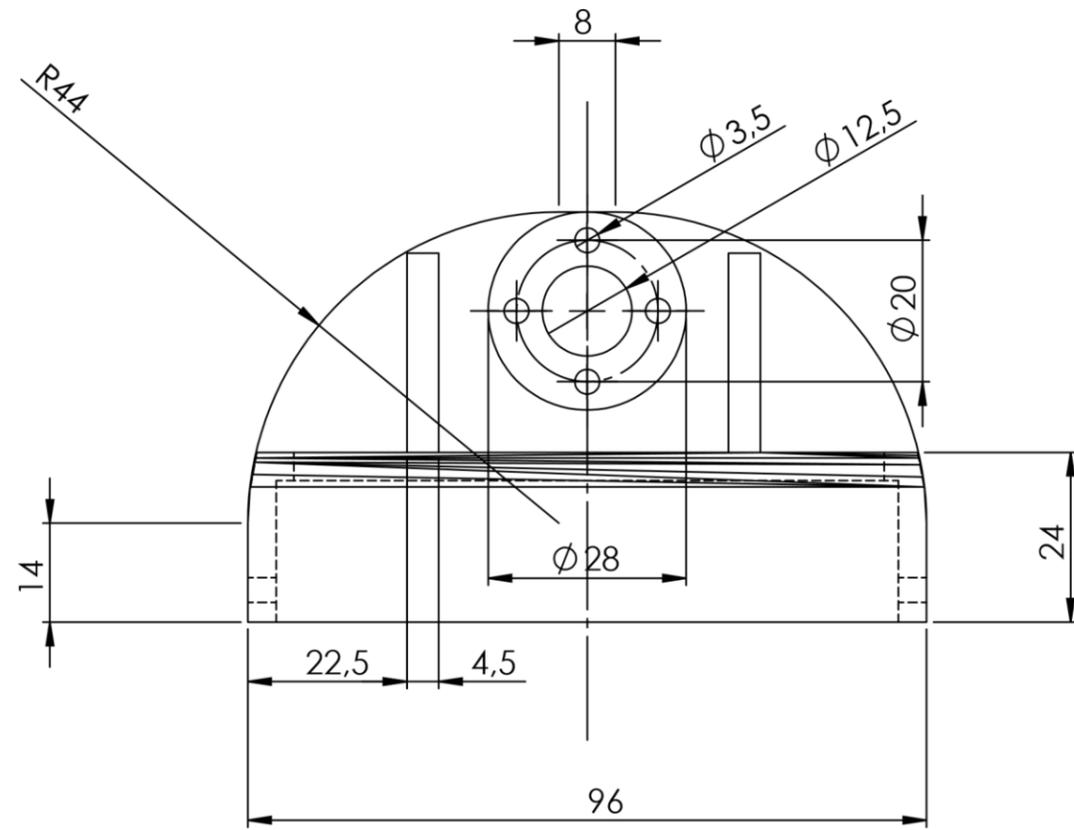
Nº ELEMENTO	N.º PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
5	Fijador	PLA	2

Autor:
JESÚS MORENO GÓMEZ

Escala:
2:1

1.5.2





Nº ELEMENTO	N.º PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
3	Soporte brazo	PLA	1

A TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Proyecto: **DISÑO Y DESARROLLO DE UNA MÁQUINA DE ROTOMOLDEO DE LABORATORIO**

Plano: **SOPORTE LATERAL CADENA**

Fecha:
Junio 2020

Nº Plano:



Autor:
JESÚS MORENO GÓMEZ

Escala:
2:1

1.5.3

