



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D (FDM)

Alumno: Raúl Gil Ginés

Tutor: Antonio Felipe Sesé

Tutor: Ángel Molina Viedma

Depto.: Ing. Mecánica y Minera

SEPTIEMBRE 2022

Menciones Especiales

Quería dedicar este proyecto a mi familia y toda la gente que siempre me ha apoyado a lo largo de mi carrera.

Agradecer a Luis Antonio Felipe Sesé y a Ángel Molina Viedma, del departamento de Ing. Mecánica y Minera, por su tutorización y ayuda en el proyecto. Y, por su puesto, agradecer a Mario Miró, técnico del laboratorio de Fluidos y a Pedro Aguilar, técnico de laboratorios de Telemática por su gran ayuda en el montaje y puesta en marcha.

Este proyecto no sería el mismo sin su cooperación y amabilidad conmigo.



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D (FDM)

Tutores:

Fdo. Antonio Felipe Sesé

Fdo. Ángel Molina Viedma

FELIPE
SESE LUIS
ANTONIO -
26242833V

Firmado digitalmente
por FELIPE SESE LUIS
ANTONIO - 26242833V
Fecha: 2022.09.01
17:42:33 +02'00'

MOLINA
VIEDMA
ANGEL JESUS -
77367078T

Firmado digitalmente
por MOLINA VIEDMA
ANGEL JESUS -
77367078T
Fecha: 2022.09.01
17:53:47 +02'00'

Alumno:

Fdo. Raúl Gil Ginés

SEPTIEMBRE 2022

ÍNDICE PRINCIPAL

1.	RESUMEN.	6
2.	INTRODUCCIÓN.	7
2.1.	FABRICACIÓN ADITIVA.	7
2.2.	FUNCIONAMIENTO Y MÉTODOS DE IMPRESIÓN 3D.	8
2.3.	IMPRESORAS 3D.	9
3.	OBJETIVOS.	13
4.	FUNDAMENTOS.	14
4.1.	PRINCIPIOS DE LA FABRICACIÓN ADITIVA.	14
4.2.	TIPOS DE MATERIALES.	19
4.3.	COMPONENTES DE UNA IMPRESORA 3D FDM.	26
4.3.1.	ESTRUCTURA.	26
4.3.2.	SISTEMAS DE EXTRUSIÓN.	28
4.3.3.	ELEMENTOS DE POSICIONAMIENTO.	33
4.3.4.	SISTEMA DE CONTROL.	36
4.3.5.	ELECTRÓNICA DE LA IMPRESORA.	40
4.3.6.	AISLAMIENTO DE LA IMPRESORA.	51
4.4.	TIPOS DE MECANISMOS PARA IMPRESORAS 3D FDM.	52
4.5.	METODOLOGÍA DE CÁLCULO MECÁNICO PARA UNA IMPRESORA 3D FDM CORE XY.	56
4.5.1.	CONDICIONANTES DE UNA IMPRESORA 3D FDM CORE XY.	57
4.5.2.	SISTEMA DE DESPLAZAMIENTOS VERTICAL (Z).	59
4.5.3.	PANDEO EN HUSILLOS.	66
4.5.4.	CICLOS DE VIDA EN HUSILLOS.	69
4.5.5.	SISTEMA DE DESPLAZAMIENTOS EN X-Y.	72
4.5.6.	PATINES Y CARRILES GUÍA PARA DESPLAZAMIENTOS X-Y.	79
4.5.7.	COMPRESIÓN EN MUELLES DE LA CAMA.	84
5.	METODOLOGÍA ITERATIVA DE DISEÑO Y FABRICACIÓN.	87
5.1.	PLANTEAMIENTO INICIAL.	87
5.1.1.	CONDICIONES DE CONTORNO.	87
5.1.2.	DISEÑO INICIAL POR SOFTWARE DE DISEÑO 3D.	88
5.1.2.1.	FASE DE DISEÑO INICIAL.	89
5.1.2.2.	FASE DE DISEÑO PREVIO A FABRICACIÓN.	94
5.1.3.	COMPONENTES DEL DISEÑO PREVIO A FABRICACIÓN.	103
5.1.4.	CÁLCULOS INVOLUCRADOS EN EL DISEÑO INICIAL.	114
5.2.	PROCESO DE FABRICACIÓN Y MONTAJE.	123
5.2.1.	ESTRUCTURA PRINCIPAL.	123
5.2.2.	CAMA Y SUPERFICIE DE IMPRESIÓN.	127

5.2.3.	SISTEMA DE ELEVACIÓN VERTICAL.	132
5.2.4.	CARRO EXTRUSOR – FUSOR.	136
5.2.5.	SISTEMA CORE XY.	139
5.2.6.	CONEXIONES ELÉCTRICAS Y CABLEADO.	151
5.2.7.	SOPORTE ROLLO DE FILAMENTO.	154
5.3.	IMPRESIONES, CALIBRACIÓN Y MODIFICACIONES.	155
5.3.1.	CÁLCULOS INVOLCRADOS EN EL DISEÑO FINAL.	166
6.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	169
7.	CONCLUSIÓN.	172
8.	BIBLIOGRAFÍA.	173
9.	ANEXOS.	175
9.1.	MANUAL DE CONTROL TURMAN DE LA IMPRESORA.	176
9.1.1.	CONEXIÓN REMOTA A LA IMPRESORA 3D.	176
9.2.	PANEL DE CONTROL PRINCIPAL Y NAVEGACIÓN ENTRE MENÚS.	177
9.2.1.	PREHEAT.	178
9.2.2.	MOVE.	179
9.2.3.	COMANDO DE CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS.	181
9.2.4.	ENVÍO DE PIEZAS A TARJETA SD.	182
9.2.5.	SD (LANZAR IMPRESIÓN).	183
9.2.6.	OTROS COMANDOS.	185
9.3.	CONFIGURACIÓN DEL GCODE.	186
9.4.	GUÍA DE USO RÁPIDA.	198
9.5.	EJEMPLO DE USO DOCENTE.	199
9.6.	PLANOS DE LA IMPRESORA 3D (FDM).	206

1. RESUMEN.

En este proyecto se plantea el diseño y la fabricación de una impresora 3D de modelo por deposición fundida (FDM). Para ello se introduce al lector a las nociones básicas de la fabricación aditiva, los fundamentos generales del mundo de la impresión 3D y los cálculos de diseño a tener en cuenta.

Teniendo en cuenta esto, se lleva a cabo un diseño inicial vía software 3D que es llevado a montaje. Consiguiendo una impresora con un amplio volumen de trabajo, capaz de imprimir en diferentes tipos de plásticos en función de las necesidades de su uso, como son el PLA, PETG o ABS. Con ella pueden obtenerse piezas de calidad excepcional con gran tamaño y su estructura modular permite la fácil actualización de componentes, adaptándose al desarrollo de su campo.

2. INTRODUCCIÓN.

2.1.FABRICACIÓN ADITIVA.

La fabricación aditiva es el término general que designa aquellas tecnologías que, sobre la base de una representación geométrica, crean objetos físicos mediante adición sucesiva de material. Estas tecnologías se utilizan actualmente para diversas aplicaciones en la industria de la ingeniería, así como en otras áreas de la sociedad, tales como medicina, educación, arquitectura, cartografía, juguetes y ocio. [1, pp. 7]

Más en concreto; Proceso de unión de materiales para fabricar *piezas* u objetos a partir de datos de modelos 3D, generalmente capa a capa, en oposición a métodos de fabricación mediante eliminación de material y de conformado.

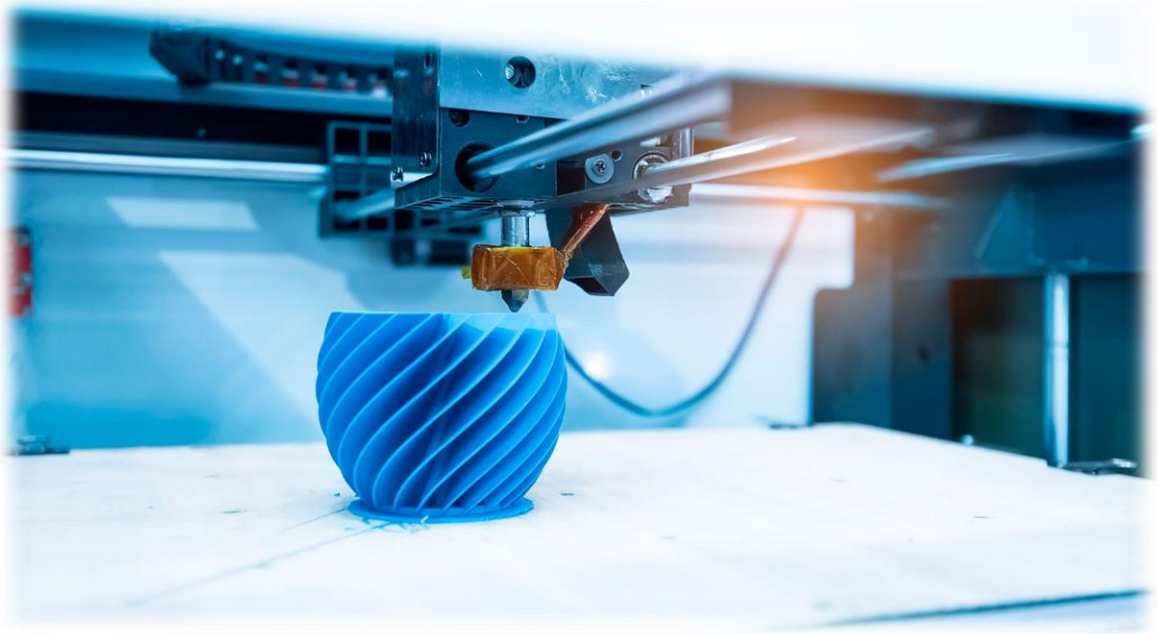


Figura 2.1: Impresión 3D; el electrodoméstico del futuro.

El mundo de la impresión 3D, cada vez es más conocido en el ámbito doméstico e industrial (*Figura 2.1*). Pero realmente, cuando se habla de impresión 3D, también lo estamos haciendo de fabricación aditiva. Una máquina de fabricación aditiva parte de un sistema de fabricación aditiva, incluyendo hardware, software de control de la máquina, software de configuración y los accesorios periféricos necesarios para completar un ciclo de fabricación para producción de piezas. Un método de fabricación que resulta muy interesante por su versatilidad y eficiencia. [1, pp. 8]

Un ciclo de fabricación es un ciclo de proceso único en el que uno o más componentes se construyen por capas. [1, pp. 9]

Los resultados de esta técnica destacan por la facilidad de producción a partir de modelos 3D, por su versatilidad, la fácil adaptabilidad a líneas de producción y la personalización de los productos. Hoy día, en el área de Industria 4.0 o Industria Conectada, donde las empresas tienen cada vez más carga diaria con menor margen en tiempos de maniobra, la fabricación aditiva permite producir en función de la demanda y la exigencia del cliente sin necesidad de contar con stock previo del producto.

Sus aplicaciones se han incrementado gracias al gran desarrollo que han tenido a lo largo de los años. Podemos encontrar numerosas aplicaciones en prototipado de piezas, productos de fabricación con bajo tiempo de provisión, repuestos de equipos, educación (a nivel didáctico), arreglos en entornos de producción acelerados, reconstrucción arqueológica, creación de órganos artificiales en medicina, uso doméstico e incluso en alimentación imprimiendo en chocolate.

Sin embargo, se debe tener en cuenta que existe un coste inicial elevado a la hora de implementar esta tecnología en sus diferentes variantes.

2.2.FUNCIONAMIENTO Y MÉTODOS DE IMPRESIÓN 3D.

La máquina encargada para realizar impresiones 3D se denomina como impresora 3D. [1, pp. 7]

La impresión 3D consiste en la creación de piezas en las tres dimensiones del espacio a partir de un modelo 3D y de la superposición de capas de material de abajo a arriba. Por lo que lo esencial para la impresión es tener un archivo creado con algún software de modelado 3D.

Requiere del trabajo conjunto de un software correspondiente al hardware de la máquina y de los materiales con los que se desea fabricar la pieza. Este software divide el modelo 3D en finas capas, para cada una, la impresora se desplaza sobre el plano liberando el material y formando capa tras capa la figura deseada.

Hoy día existen numerosos métodos o tecnologías de impresión 3D, diferenciadas entre sí sobre todo por la forma en la que las capas de material son utilizadas para fabricar piezas.

Algunas utilizan métodos de fundido de material para formar estas capas, como son la impresión de modelado por deposición fundida (FDM). Suele ser el método más sencillo de utilizar y tiene un gran rango de polímeros termoplásticos a utilizar (*Figura 2.2*).

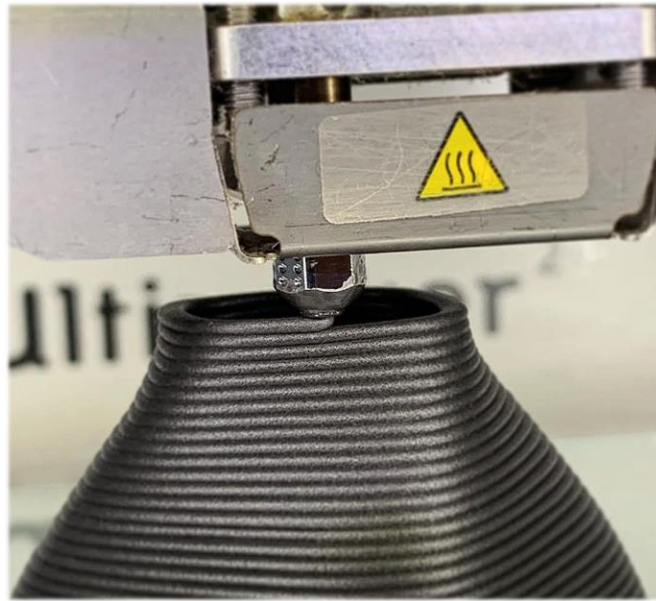


Figura 2.2: Creación de pieza capa a capa por impresión 3D FDM. En este caso la boquilla que extruye el material es mayor de 1 mm de diámetro y se pueden ver perfectamente las gruesas capas de material de la pieza.

Otras, se basan en la deposición de materiales líquidos que son solidificados formando la pieza como son:

- Impresión por inyección.
- Impresión estereolitografía (SLA).
- Impresión por fotopolimerizaciones por luz ultravioleta (SGC).
- Impresión por fotopolimerizaciones por absorción de fotones (SLS).

En el *Capítulo 4.1* encontraremos una descripción más detallada de estos procesos.

Según los métodos utilizados, se pueden usar diferentes materiales. Cada impresora debe utilizar materiales compatibles con sus tecnologías de funcionamiento. Éstos pueden llegar a ser líquidos, sólidos, transparentes, opacos y de diferentes propiedades mecánicas según la pieza que se desee fabricar y su uso. Estos materiales y sus propiedades son descritos en el *Capítulo 4.2*.

2.3. IMPRESORAS 3D.

La impresión 3D puede resultar una tecnología compleja para su directa utilización sin una previa formación, pero gracias a su constante evolución e innovación se está haciendo cada vez más accesible. Comparadas con otros métodos de fabricación, la impresión 3D resulta una tecnología más barata y sencilla dependiendo del nivel de acabado que queramos obtener, tamaño, material de las piezas a fabricar y lo más

importante; la cantidad de piezas a fabricar. Para grandes tiradas de piezas suele utilizarse inyección de polímero, pero tiradas cortas o prototipado, la fabricación aditiva por impresión 3D está a la orden del día por su versatilidad. [2, secc. 1]

Dependiendo del tipo de impresora, se obtienen resultados de una precisión, como el que se puede ver en la *Figura 2.3*, tal que otros métodos más convencionales en la industria tales como el mecanizado CNC están quedando en un segundo plano ya que el coste a nivel de infraestructura y producción es bastante mayor. [2, secc. 1]

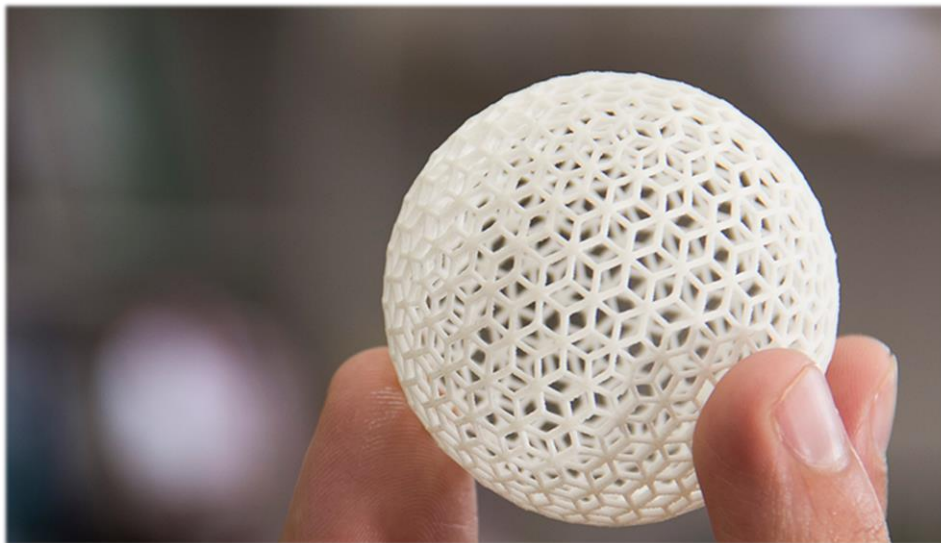


Figura 2.3: Esfera impresa en impresora 3D FDM Ultimaker.

Resulta una alternativa sostenible a la fabricación convencional, ya que no se genera residuos al utilizar solamente el material imprescindible. De hecho, existen materiales formados a partir de plásticos de un solo uso, con la finalidad de reciclarlo y apoyar la economía circular. [2, secc. 1, párr. 1]

El desarrollo de la impresión 3D también afecta en una evolución de los materiales, como es el caso de los materiales inteligentes. También conocidos como *Smart materials*, son materiales modificados en cuanto a sus propiedades y características con el fin de obtener un producto final adaptado a la situación. Esto resulta muy interesante ya que se podrían fabricar piezas magnéticas, térmicas, reciclables, con memoria de forma o con mayor elasticidad o dureza. Dando así un amplio abanico de posibilidades a imaginar para fabricar lo que se desee. [3, secc. 1, párr. 3]



Figura 2.4: Puente de acero inoxidable producido mediante impresión 3D por Adriaan de Groot / MX3D.

Ya existen puentes de acero inoxidable impresos en 3D (*Figura 2.4*), como el que se encuentra en Ámsterdam, con alta resistencia y durabilidad [2, secc. 4]. Además de edificios y casas (*Figura 2.5*), ahorrando en el transporte y logística que supone la construcción convencional. Si añadimos que podemos reducir las emisiones utilizando material reciclable podría resultar una alternativa muy interesante a la problemática con la industria cementera. [2, secc. 3]

La innovación es un factor clave en la fabricación aditiva por impresión 3D. En los últimos avances se está investigando acerca de impresión 4D, consistente en la utilización de materiales que puedan cambiar sus propiedades al tener contacto con el agua o ante un estímulo o interacción con tal de adaptar su forma en función del entorno de trabajo. Obviamente, el proceso de diseño en este caso es mucho más complejo que el de la impresión 3D. [2, secc. 2]



Figura 2.5: Tecnología de impresión 3D para edificios, desarrollada por Apis Core en proyectos desarrollados en California y Louisiana.

En el ámbito sanitario la impresión 3D ha dado grandes aportes con la elaboración de prótesis e implantes, personalizadas al milímetro con tal de adecuarse a los requerimientos del paciente. [2, secc. 5]

Incluso se han llegado a utilizar para generar comestibles de chocolate o pasta. Generando platos visualmente impactantes fuera de lo común. [2, secc. 6]

En definitiva, la impresión 3D evoluciona e innova constantemente y es complicado mantenerse al día con todas ellas. Además, se espera muchísimo más desarrollo en vistas a futuro ya que puede resultar una tecnología próspera en vistas a cuidar el planeta. [2, secc. 7]

3. OBJETIVOS.

La impresión 3D FDM es un proceso de fabricación aditiva que está cada vez más presente en la industria y la vida cotidiana debido a su sencillez para fabricar piezas a partir de un diseño tridimensional. En el ámbito industrial resultan bastante viables para la fabricación de prototipos funcionales, de buena precisión y duraderos.

Es por ello que surge la propuesta de crear un nuevo proyecto de diseño de una impresora 3D de modelo por deposición fundida desde cero en ámbito de diseño 3D, diseño mecánico, fabricación, montaje y puesta en marcha en los laboratorios.

De esta manera, se dotaría a la Escuela Politécnica Superior de Linares de una plataforma sobre la cual permitirá a futuros estudiantes realizar prácticas de las diferentes asignaturas, así como mejorar su propio diseño o funcionamiento con el avance de tecnologías. Con el fin, además, de alinearse con el proyecto de Innovación Docente *PIMED46_201921* en el que los tutores del proyecto participan.

Como objetivo principal se pretende diseñar una impresora 3D de modelado por deposición fundida cuya fabricación sea viable dentro de los medios del Departamento de Ingeniería Mecánica y Minera.

Para ello, en base a los cálculos y estudios para la determinación de las necesidades y de los requerimientos mecánicos y electrónicos, se pretende realizar un diseño asistido por ordenador y realizar los cálculos teóricos y numéricos que permitan validar el sistema mediante software de diseño 3D y de simulación.

Algunos de los principios que se quieren cumplimentar para los objetivos principales anteriormente nombrados son los siguientes:

- Una máquina capaz de realizar piezas de gran tamaño guardando buena calidad superficial. Para su utilización en los diferentes proyectos que la Universidad Politécnica de Linares pueda proponer a sus alumnos.
- Alta velocidad y precisión en su extrusión. Al tener piezas de alto volumen, es interesante llegar a tener una buena relación de velocidad de impresión y calidad para reducir los tiempos de producción
- Utilización de diversos materiales termoplásticos con diferentes propiedades mecánicas. Para poder imprimir las piezas en el material que mejor se adapte al carácter y uso de la pieza.

4. FUNDAMENTOS.

4.1. PRINCIPIOS DE LA FABRICACIÓN ADITIVA.

La fabricación aditiva es un sistema de producción que permite llevar el diseño asistido por ordenador (CAD; *Computer-Aided Design*) a su fabricación mediante el añadido de capas de material, a diferencia de la fabricación tradicional sustractiva, en la que se elimina material durante la creación de piezas. Agiliza la producción en serie y disminuye costes y errores pudiendo mantener una buena precisión en el proceso. Los materiales más comunes son el plástico y el metal. [4, secc. 1]

Es cada vez más común encontrar este proceso en sectores donde prima la personalización y precisión en la producción, como pueden ser la industria mecánica y aeroespacial o el sector sanitario. Existen diferentes tecnologías de fabricación aditiva en constante evolución, de las cuales podemos destacar:

- Estereolitografía (SLA):

Una luz ultravioleta solidifica una resina fotopolimérica líquida utilizada como material formando capas superpuestas sólidas formando la pieza deseada (ver *Figura 4.1*) [6, secc. 2]., siendo post procesada y limpiada con alcohol isopropílico [5, secc. 4.3]. Se consiguen resultados lisos y uniformes en las superficies exteriores de la pieza, pero se ha de tener precaución con los vapores generados por las resinas porque pueden resultar nocivos, por lo que se recomienda el uso de mascarilla y gafas. [5, secc. 4.3].

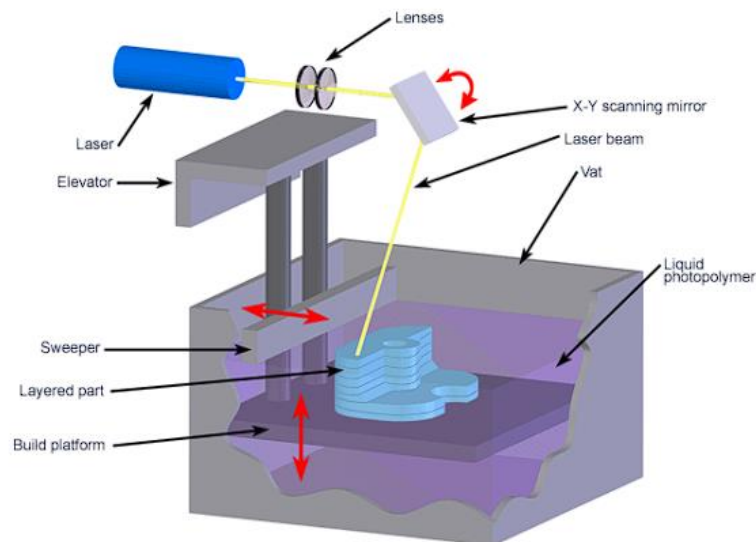


Figura 4.1: Esquema descriptivo de una máquina SLA. [5, secc. 4.3].

- PolyJet o Laser Material Deposition (LMD):

Es capaz de fabricar piezas de metal mediante un láser dirigido y un lecho polvo metálico. [4, secc. 2.5]. Se basan en fundir un material base o sustrato y otro de aporte suministrado mediante polvo o hilo directamente a la zona fundida. La mezcla y solidificación posterior resulta en una capa de material aportado de gran calidad: zona afectada térmicamente pequeña, baja dilución, espesores uniformes inferiores a 0.1 mm, etc. [6, secc. 2, par. 1]. (Figura 4.2) [6, secc. 2].

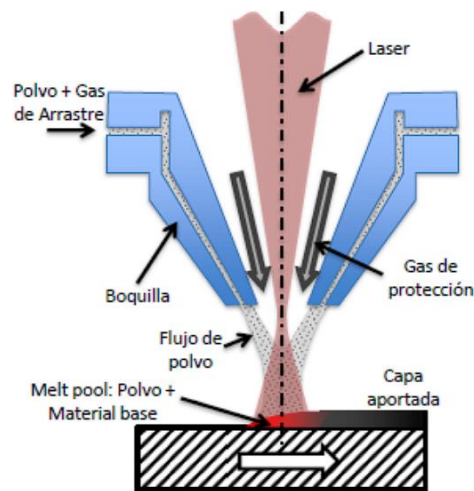


Figura 4.2: Esquema descriptivo de una máquina LMD. [6, secc. 2]

- Fotopolimerización por luz:

Se basa en la polimerización inducida por luz, cambiando las propiedades del polímero debido a un espectro de luz concreto, endureciéndolo por reticulación. Existen dos variantes; una utiliza luz ultravioleta (SGC) [5, secc. 4.4] y otra absorción de fotones (SLM) (ver Figura 4.3) [6, secc. 2]. Esta última consigue excelentes resultados en piezas ultra pequeñas ya que utiliza tecnología láser, llegando a conseguir tamaños inferiores a 100 nm. [5, secc. 4.5]

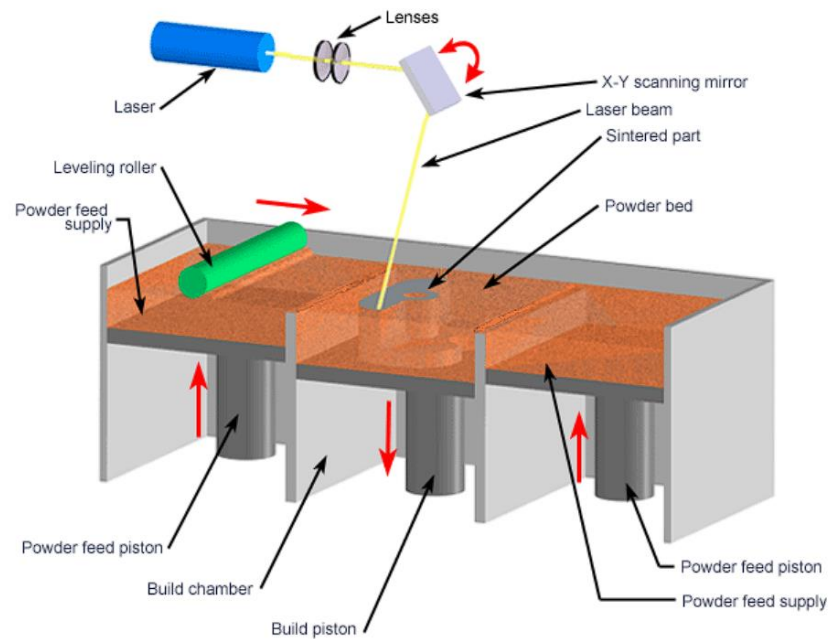


Figura 4.3: Esquema descriptivo de una máquina SLM. [6, secc. 2]

- Modelo por deposición fundida (FDM):

Se basa en calentar un polímero por encima de la temperatura de transición vítrea (en general suministrado mediante una bobina de hilo) y depositarlo directamente mediante un cabezal que funde un hilo y lo va aplicando capa a capa. Existe una limitación en el ángulo máximo de inclinación y es habitual el uso de estructuras de soporte (Figura 4.4). [6, pp. 5, párr. 1]

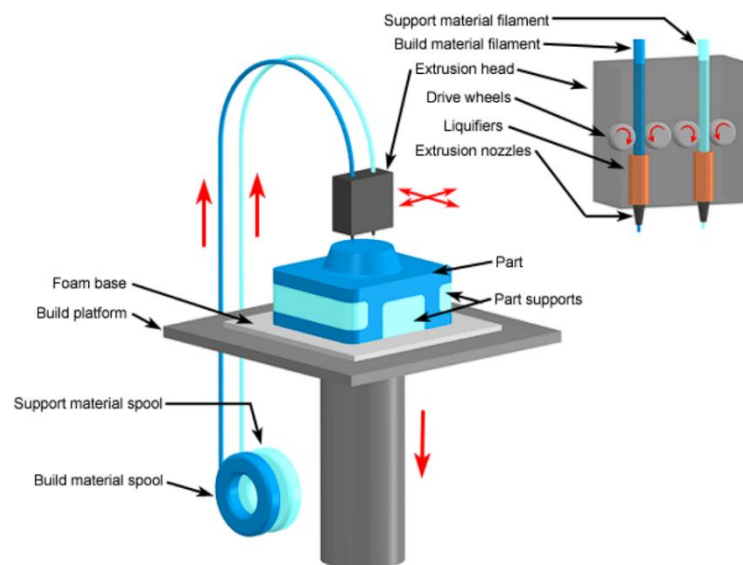


Figura 4.4: Esquema descriptivo de una máquina FDM. [6, pp. 5]

Existen más tecnologías (aunque menos conocidas) y combinaciones que engloban las fortalezas de algunas de estas con las anteriores con tal de cubrir necesidades particulares, como se puede ver en la *Tabla 4.1* [5, secc. 4]. Su utilización depende del tipo de proceso y los materiales usados para cada una.

Tipo	Tecnologías	Materiales
Extrusión	Modelado por deposición fundida (FDM/FFF)	Termoplásticos; PLA, ABS, TPU, NAYLON, Poliuretanos termoplásticos (PETG, PA, PP, PC), materiales comestibles
Hilado	Fabricación por haz de electrones	Casi cualquier aleación
Granulado	Sintetizado directo de metal por láser	casi cualquier aleación
	Fusión por haz de electrones	Aleaciones de titanio
	Sintetizado selectivo por calor	polvo termoplástico
	Sintetizado selectivo por láser (SLS)	Termoplásticos, polvos metálicos, polvos cerámicos
	Proyección aglutinante	Yeso
Laminado	Laminado de capas	Papel, papel de aluminio, capa de plástico
Fotoquímicos	Estereolitografía (SLA)	Fotopolímeros
	Fotopolimerización por luz ultravioleta (SGC)	Fotopolímeros

Tabla 4.1. Procesos de fabricación y materiales para las diferentes tecnologías de fabricación aditiva. [5, secc. 4]

Todas estas tecnologías por adición requieren de una estación de trabajo en consonancia con el centro de producción con el fin de diseñar y programar la fabricación de piezas en cadena. Por ello es esencial disponer de un software de modelado 3D y abastecimiento de materias primas para su uso. [4, secc. 3]

Las tecnologías que porta la impresora están controladas mediante un software incluido en la placa base, que recibe el archivo *gcode* y pone en marcha la máquina para poder formar las piezas capa por capa tal cual se han configurado.

Tal y como se ha descrito, la impresión 3D por modelo por deposición fundida resulta un método de fabricación aditiva fácil y económico con el que se pueden obtener piezas con alto nivel de precisión, siguiendo un proceso que parte de un modelo tridimensional y pasa por 5 procesos básicos [4, secc. 4]:

1. Creación de un modelo 3D de la pieza a producir mediante software de diseño CAD en la estación de trabajo. [4, secc. 4, núm. 1]
2. Conversión del archivo creado a un formato con distinción de capas en las que se conforma digitalmente la pieza. Generalmente se utiliza el formato “STL” (*Standard Triangle Language*). En este punto un software genera un archivo de formato “.gcode” con los parámetros escogidos para la impresión de la pieza. [4, secc. 4, núm. 2]
3. Transferencia del archivo .gcode a la máquina encargada de crear el producto final. [4, secc. 4, núm. 3]
4. Creación de la pieza por adhesión de material capa por capa según la configuración determinada por la estación de trabajo. [4, secc. 4, núm. 4]
5. Pasado un tiempo de seguridad y enfriamiento, se retira el modelo de la línea de producción, lista para ser utilizada. [4, secc. 4, núm. 5]

La conversión del modelo 3D en formato STL es sencilla y está tan estandarizada que se puede realizar desde cualquier software de diseño 3D. Pero para generar el “gcode” [7] [8] se necesita de otro software especializado (la mayoría de uso gratuito). Este archivo está estandarizado en la *ISO 6983* [7] y la *Norma DIN 66025* [8]. Recoge la información acerca de los parámetros programados para la impresión. La configuración de los parámetros dependerá tanto de la tecnología de la impresora y los materiales que se desean utilizar como de la pieza que se vaya a fabricar. Pudiendo configurar, por ejemplo, la temperatura de extrusión, su velocidad, el tipo de relleno para piezas, etc. Todos estos condicionantes se verán en mayor profundidad en el *Capítulo 4.5*.

Han de tenerse en cuenta que los acabados poseen una rugosidad que puede tener que tratarse posteriormente en procesos de pulido químicos o mecánicos y que son susceptibles a rotura en esfuerzos de tracción debido a la posible falta de adherencia entre capas de material.

Esta tecnología requiere del trabajo conjunto de una fuente de energía, un software de control compatible con el hardware de la impresora y de los materiales utilizados en la propia impresión. El software divide el modelo digital en diferentes capas en función del diámetro de salida del material (según la boquilla de inyección). En cada capa, la

impresora recorre un plano hacia las coordenadas programadas liberando material en su recorrido hasta llegar a la siguiente capa, que se imprime a una mayor altura produciendo un volumen de pieza. Teniendo en cuenta la geometría de la pieza, se pueden añadir a la impresión soportes con tal de evitar deformaciones. A continuación, en la *Figura 4.5* [9, fig. 1] podemos resumir el proceso de fabricación en 5 pasos.

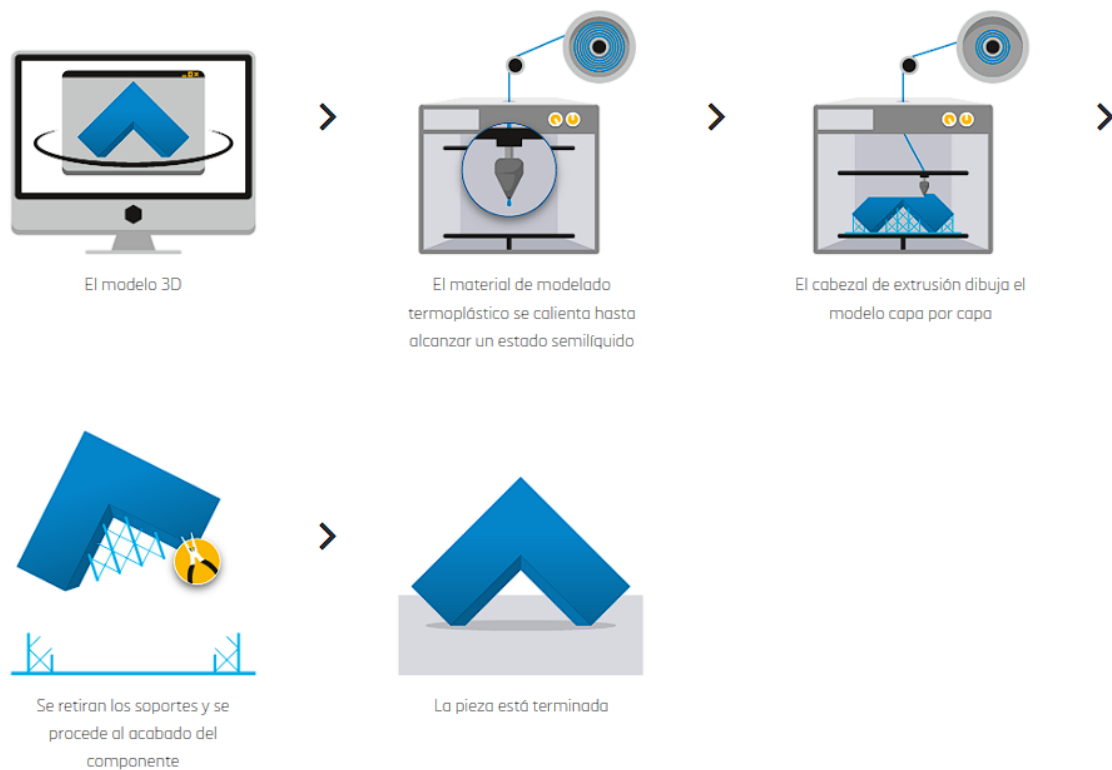


Figura 4.5: Pasos en la producción de una pieza por modelo por deposición fundida (FDM). [9, fig. 1]

4.2. TIPOS DE MATERIALES.

En la fabricación por impresión 3D FDM los materiales más utilizados suelen ser el ABS, el PLA y derivados de ambos. Según la tecnología de la que esté provista la impresora se pueden utilizar otros materiales especializados con mayor resistencia térmica, química, mayor resistencia a impactos y mayor rigidez. El formato del producto resulta en rollos de filamento (ver *Figura 4.6*) de diámetro estándar 1.75 mm, aunque los hay de otros diámetros.



Figura 4.6: Rollos de filamento estándar de ABS (blanco) y PETG (negro).

Para entender mejor estos parámetros se explicarán a continuación y se caracterizará a cada material con ellos en un gráfico como el de la siguiente *Figura 4.7*. [10, fig. 1]

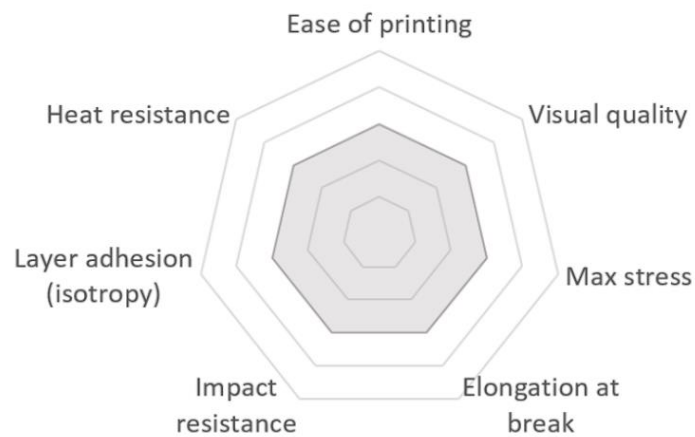


Figura 4.7: Parámetros de caracterización de materiales dispuestos en gráfico web. [10, fig. 1]

- **Facilidad de impresión (*Ease of printing*):** Como de sencilla es la impresión del material en función de su adhesión, la velocidad de impresión, la precisión del inyector en movimiento, etc. [10, secc. 1]

- **Carga máxima de rotura (*Max stress*):** Tensión máxima sometida a la pieza antes de su rotura a tracción. [10, secc. 1]
- **Elongación máxima antes de rotura (*Elongation at break*):** Máxima distancia de deformación antes de la rotura. [10, secc. 1]
- **Resistencia a impacto (*Impact resistance*):** Energía necesaria para romper la pieza por impacto rápido. [10, secc. 1]
- **Adhesión de capa e isotropía (*Layer adhesión*):** Calidad de adhesión entre capas de material. Está directamente relacionada con la isotropía (uniformidad en todas las direcciones). Cuanta mejor sea esta adhesión, mejor será la isotropía de la pieza. [10, secc. 1]
- **Resistencia térmica (*Heat resistance*):** Temperatura máxima que el objeto puede resistir antes de que comience a ablandecerse y deformarse. [10, secc. 1]
- **Calidad visual (*visual quality*):** Calidad visual de la pieza como resultado. [10, secc. 1]

Así pues, los materiales más utilizados por modelo por deposición fundida y sus propiedades son las siguientes:

- **ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno).**

Se caracteriza por ser tenaz, duradero, de alta resistencia térmica y resistente a impactos. Necesita de una superficie de impresión caliente para poder ser utilizado correctamente, además de ventilación estándar [11, secc. 5] (ver *Figura 4.8*). Su aplicación principal es su uso en prototipos funcionales. Su temperatura de extrusión es de 235°C aproximadamente, como cama calefactora a 80°C generalmente.

Algunas de sus propiedades cuantitativas a nivel mecánico son [12]:

- Densidad: 1.02-1.08 g / cm³.
- Resistencia a la tracción (ISO 527): 35-50 MPa.
- Resistencia a la flexión (ISO 178): 50-87 MPa.
- Resistencia a la compresión: 46-80 MPa.
- Elongación relativa: 10-25%.
- Contracción (durante la fabricación de productos): 0.4-0.7%.
- Higroscopicidad: 0.2-0.4%.

- Módulo elástico a tensión a 23 °C: 1700-930 MPa.
- Tenacidad en el péndulo de Charpy con muescas (ISO 179): 10-30 kJ/m².
- Dureza Brinell (ISO 6506): 90-150 MPa.
- Resistencia al calor según Martens: 86-96 °C.
- Punto de reblandecimiento: 90-105 °C.
- Temperatura máxima de operación continua: 75-80 °C.
- Rango de temperatura de proceso: 200-260 °C.
- Constante dieléctrica a 106Hz: 2.4-5.0.
- Tangente del ángulo de pérdida dieléctrica a 106 Hz: (3-7) 10⁻⁴.
- Resistividad volumétrica: 5·10¹³ Ohm/m.
- Durabilidad eléctrica: 12-15 MV/ m.
- Temperatura de autoignición: 395 °C.

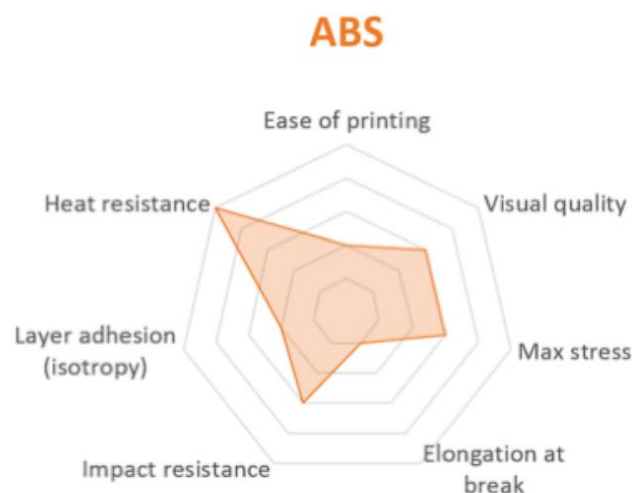


Figura 4.8: Parámetros de caracterización de ABS dispuestos en gráfico web. [10, fig. 4]

- **PLA (Ácido poliláctico).**

Es el material de modelado por deposición fundida más sencillo de imprimir. Se caracteriza por ser rígido y fuerte pero frágil. Su resistencia al calor y a los productos químicos es menor y son biodegradables e inodoros [11, secc. 5] (ver Figura 4.9). Su aplicación principal es para modelos conceptuales y estéticos. Temperatura de extrusión de 200°C aproximadamente.

Algunas de sus propiedades cuantitativas a nivel mecánico son [13]:

- Punto de fusión: 205-230 °C.

- Punto de reblandecimiento (ISO 306): 50 °C.
- Dureza (según Rockwell ASTM D-785): R70-R90.
- Alargamiento relativo en el descanso: 3.8%.
- Resistencia a la flexión (ISO 178): 55.3 MPa.
- Resistencia a la tracción (ISO 527): 57.8 MPa.
- Módulo elástico a tracción (ISO 527): 3.3 GPa.
- Módulo de elasticidad a la flexión (ISO 178): 2.300 MPa.
- Temperatura de transición vítrea: 60-65 °C.
- Densidad: 1.23-1.25 g/cm³.
- Grosor de pared mínimo: 1 mm.
- Precisión de impresión: ±0.1%.
- El tamaño de los detalles más pequeños: 0.3 mm.
- Contracción en la fabricación de productos: no.
- Higroscopicidad: 0.5-50%.

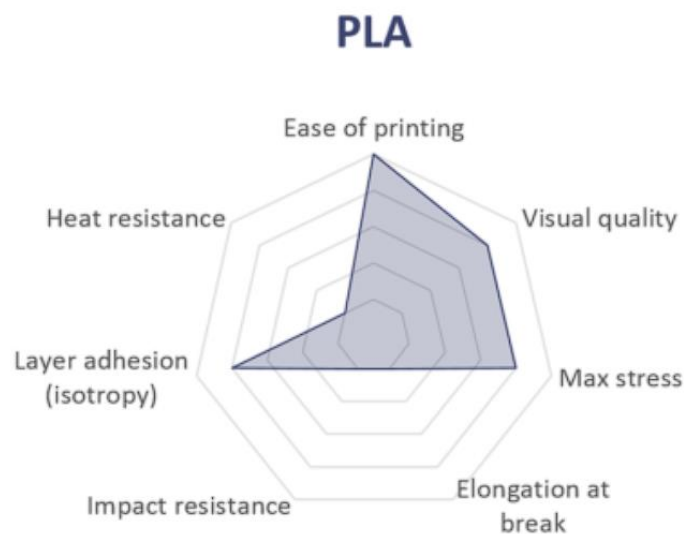


Figura 4.9: Parámetros de caracterización de PLA dispuestos en gráfico web. [10, fig. 3]

- **PETG (Tereftalato de polietileno glicolizado).**

Puede utilizarse a bajas temperaturas de impresión para mayor velocidad de producción. Se caracteriza por su resistencia a la humedad y a los químicos [11, secc. 5] (ver Figura 4.10). Por ello suele tener aplicaciones impermeables y puede llegar a usarse en elementos de fijación. Temperatura de extrusión de 230°C.

Algunas de sus propiedades cuantitativas a nivel mecánico son [14, pp. 1]:

- Punto de fusión: 200 - 240 °C.

- Punto de reblandecimiento (ISO 306): 70 - 80 °C.
- Dureza (según Rockwell ASTM D-785): R115.
- Resistencia a impacto Charpy con entalla (ISO 179): 10 kJ/m².
- Resistencia a la flexión (ISO 178): 79 MPa.
- Resistencia a la tracción a rotura (ISO 527): 26 MPa.
- Resistencia a la tracción a deformación (ISO 527): 53 MPa.
- Módulo elástico a tracción (ISO 527): 2200 MPa.
- Densidad: 1.27 g/cm³.

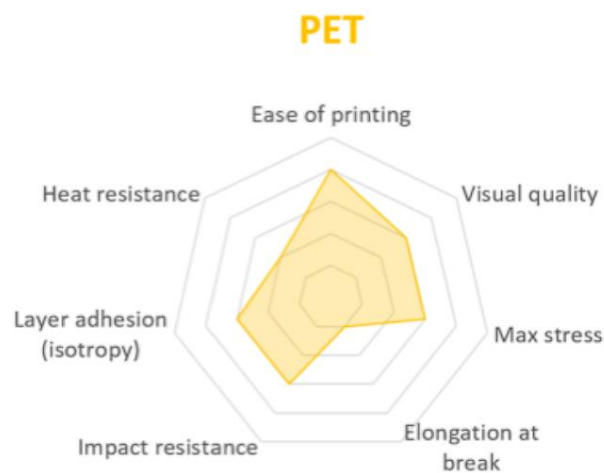


Figura 4.10: Parámetros de caracterización del PETG dispuestos en gráfico web. [10, fig. 5]

- **Nylon (Poliamida PA):**

Resistente, ligero y duradero, aunque difícil de imprimir por deposición fundida. Se caracteriza por su dureza y flexibilidad parcial, además de su resistencia térmica y resistencia a impactos [11, secc. 5] (ver *Figura 4.11*). Se suele utilizar en prototipos funcionales y en piezas expuestas al desgaste. Temperatura de extrusión de nylon de 250°C aproximadamente.

Algunas de sus propiedades cuantitativas a nivel mecánico son [15, secc. 10, fig. 1]:

- Punto de fusión: 220 °C.
- Punto de reblandecimiento (ISO 306): 70 - 80 °C.
- Dureza (según Rockwell ASTM D-785): R80- R90.
- Resistencia a impacto Charpy con entalla (ISO 179): 5-13 kJ/m².
- Resistencia a la flexión (ISO 178): 110 MPa.
- Resistencia a la tracción a deformación (ISO 527): 76 MPa.

- Módulo elástico a tracción (ISO 527): 2900 MPa.
- Densidad: 1.14 g/cm³.

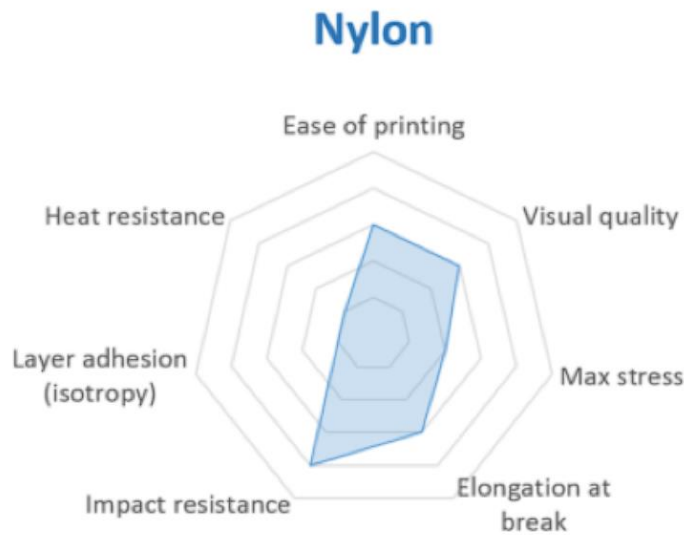


Figura 4.11: Parámetros de caracterización del Nailon dispuestos en gráfico web. [10, fig. 6]

- **TPU (Poliuretano termoplástico)**

Se caracteriza por su flexibilidad, su resistencia a impactos y su excepcional amortiguación en vibraciones [11, secc. 5] (ver Figura 4.12). Su aplicación principal es en prototipos flexibles. Temperatura de extrusión de 220°C aproximadamente.

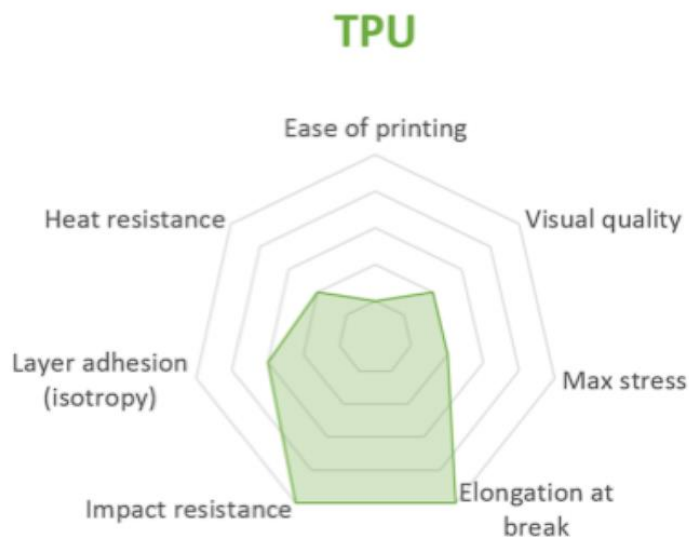


Figura 4.12: Parámetros de caracterización del TPU dispuestos en gráfico web. [10, fig. 7]

- **PVA (alcohol polivinílico).**

Se caracteriza por ser soluble en agua, por lo cual suele utilizarse como material de soporte en la impresión de piezas (de diferente material) con el fin de facilitar y mejorar el acabado de la pieza [11, secc. 5]. Temperatura de extrusión de 220°C aproximadamente.

- **Compuestos (fibra de carbono, kevlar, fibra de vidrio)**

Compatibles con pocas impresoras FDM. Poseen alta rigidez y resistencia. Su uso resulta en prototipos funcionales, fijaciones y herramientas entre otras cosas. [11, secc. 5] Temperatura de extrusión de 220°C.

4.3. COMPONENTES DE UNA IMPRESORA 3D FDM.

Es necesario conocer cada uno de los componentes de la impresora y como están relacionados entre sí para poder llevar a cabo un correcto diseño de la máquina de manera global.

Como se verá en el *Capítulo 4.4* existen diferentes configuraciones para la impresión por modelo de deposición fundida, marcando la elección de sus componentes en función de su funcionamiento. Existen componentes que son comunes entre todas estas máquinas y otros que dependerán de la elección de la tecnología a utilizar para cada caso.

En este caso, clasificamos los componentes en; estructura, componentes mecánicos, electrónica de la impresora y aislamiento.

4.3.1. ESTRUCTURA.

A. Estructura principal.

La estructura de la impresora es un aspecto de gran importancia ya que es la que dota de estabilidad y rigidez a la máquina, afectando en gran medida a la precisión de la impresión.

Conforma la base y el marco sobre los que se insertan el resto de elementos y normalmente está compuesta de perfiles de aluminio por su ligereza y rigidez, pudiendo

aliviar en peso la elevación o desplazamiento del extrusor y la superficie de fabricación. Aunque la estructura puede estar también conformada de piezas plásticas y metálicas, como chapas de aluminio (ver *Figura 4.13*). Esto dependerá del fabricante y las exigencias del cliente. [16, secc. 1]

Se debe tener en cuenta que una estructura débil puede causar:

- Bamboleos durante la impresión, provocando defectos en las piezas y limitando la velocidad que se quiera alcanzar.
- Desajustes en la base o en la cama caliente que provoquen mala adherencia en la primera capa de impresión o averías por el choque del cabezal extrusor con la superficie de impresión.
- Si se utilizan configuraciones de extrusión directa, la estructura no soportará su uso en movimiento, por lo que se dificulta el uso del control sobre la extrusión y se limita el uso de materiales flexibles.

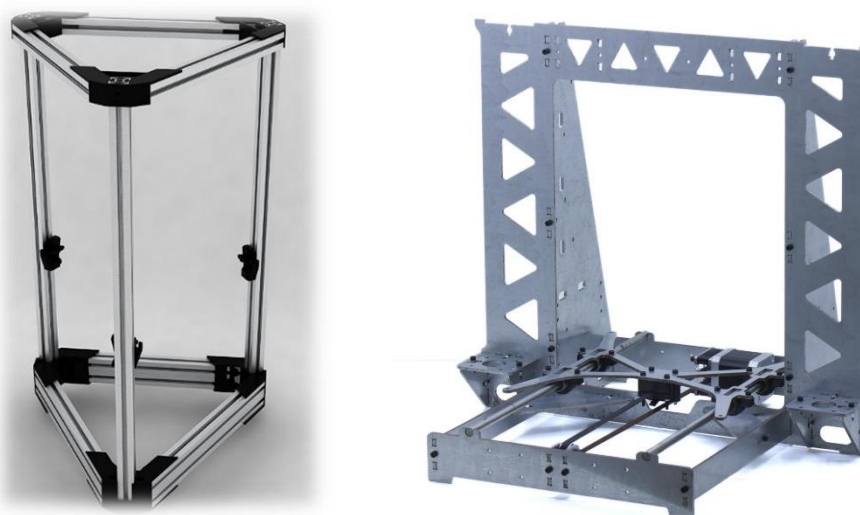


Figura 4.13: Ejemplo de estructuras principales para impresoras 3D tipo Delta (izquierda) y cartesiana (derecha).

B. Plataforma de fabricación y superficie de impresión (cama).

La plataforma de fabricación es la estructura encargada de sostener la cama y la superficie de impresión, siendo la cama parte de la plataforma de fabricación. La estructura y composición de la plataforma se ajusta a las dimensiones de la superficie de impresión, haciéndola lo más ligera posible guardando una rigidez adecuada.

El diseño de la plataforma de impresión se encuentra además condicionado con el tipo de impresora 3D FDM. Por ejemplo, en el caso de las impresoras cartesianas (movimiento en eje Y), su peso no implica el mismo esfuerzo que para las CORE XY (movimiento en eje Z).

La superficie de impresión y la cama han de ser planas y estar bien niveladas con respecto al sistema de extrusión e inyección del material, ya que es en ellas donde se depositará el mismo formando capa por capa las piezas programadas. Para ello se suele utilizar un sistema de muelles con apriete por unión atornillada, manteniendo el nivel mediante la tensión del resorte y haciendo de apoyo para la cama en diferentes puntos (ver Figura 4.14).

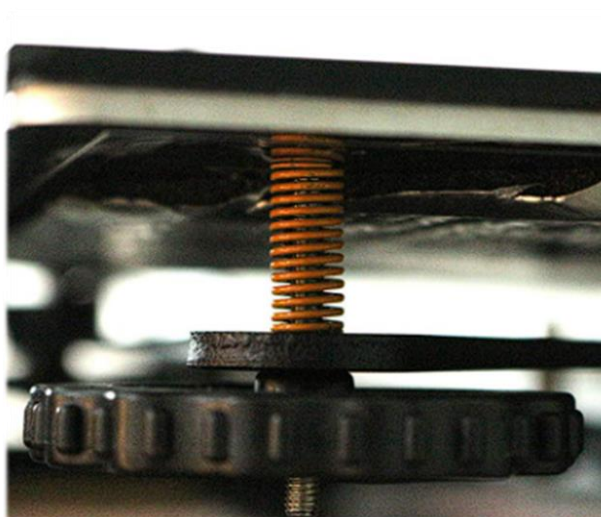


Figura 4.14: Nivelación de la cama mediante resorte, tornillo y tuerca (ajustable).

Las superficies de impresión y sus camas pueden ser estándar o personalizadas en cuanto a dimensiones y prestaciones, según el tipo de impresora y su configuración. Suele utilizarse aluminio para la cama por su rigidez y planitud, además de ser buen conductor térmico en el caso de querer dotar de calor la superficie de impresión. Pero puede rayarse con facilidad y provocar desperfectos en las piezas. Por ello suele añadirse un cristal de borosilicato unido con pinzas como superficie de impresión, de un grosor de 2 a 3 mm.

Si se quiere dotar a la cama de calefacción para imprimir en materiales como ABS, encontramos diferentes tipos de cama, que se desarrollarán en el *Capítulo 4.3.5* sobre la electrónica de la impresora.

4.3.2. SISTEMAS DE EXTRUSIÓN.

La deposición del filamento se basa en la combinación de un sistema de extrusión que empuja el filamento plástico del rollo de material hasta un fusor (también llamado *hotend*), donde el plástico se alcanza la temperatura correcta para su deposición. El hilo que sale del extrusor hasta el fusor está protegido por un tubo de teflón, que está sujeto mediante unas horquillas en ambos extremos.

Existen dos tipos de extrusión; Extrusión directa y tipo *Bowden* (ver *Figura 4.15*) [17, secc. 4]. En extrusión directa el extrusor y el fusor se encuentran en el mismo carro de movimiento del eje X, el filamento llega directamente del rollo al carro. En la extrusión tipo *Bowden*, el carro de movimiento en el eje X solo porta el fusor y el extrusor alimenta al fusor de manera externa, el filamento llega primero al extrusor y luego al carro del eje X.

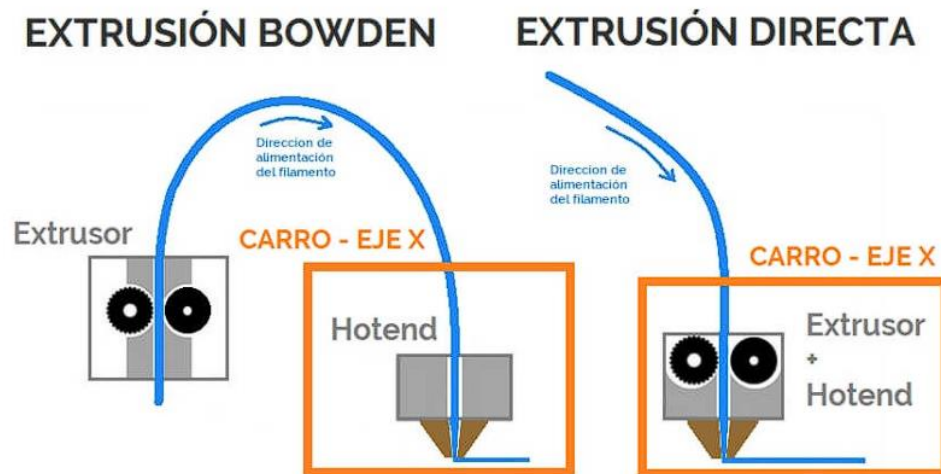


Figura 4.15: Tipos de extrusión; Extrusión directa y extrusión Bowden. [17, secc. 4]

La ventaja de la extrusión directa es el buen control de la extrusión al tener el empuje y el fundido del filamento muy próximos y la desventaja con respecto a la extrusión *Bowden* reside en un mayor peso en el carro del eje X por estar en el mismo conjunto. [17, secc. 4.3]

Tanto el extrusor como el fusor son dos de los elementos principales que se encuentran en cualquier tipo de impresora 3D FDM, por ello es necesario conocer sus partes y funcionamiento.

A. Extrusor.

Su objetivo es mover el filamento para llevarlo a su salida a través de la boquilla. Necesita de un motor para su funcionamiento, pues el eje del mismo se encuentra solidario una rueda dentada que empuja el filamento ayudándose del resto del sistema extrusor. Este sistema (ver *Figura 4.16*) se compone de:

- Motor eléctrico paso a paso: Encargado de girar el engranaje de tracción para mover linealmente el hilo del filamento.
- Piezas base (A y B): Aíslan al filamento del calor del motor. La pieza base A sirve de apoyo para la pieza base B y el rodamiento de presión. La pieza base B rota en el eje de unión con la pieza base A.
- Engranaje de tracción: Solidario al motor, se trata de una rueda dentada que empuja el filamento en su rotación.
- Rodamiento de presión: Empuja al filamento contra el engranaje de tracción de manera constante y también gira a la par que éste.
- Muelle: Empuja la pieza base B, haciéndola rotar en su unión para empujar el rodamiento de presión contra el filamento plástico y el engranaje de tracción.

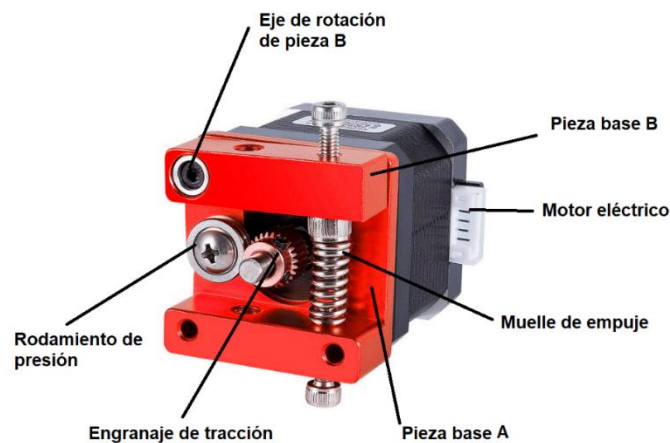


Figura 4.16: Extrusor y componentes

B. Fusor.

Calienta el plástico a partir de 180 °C para fundirlo y sacarlo a la superficie de trabajo siguiendo la trayectoria y directrices marcadas por el código generado para la pieza. Este sistema (ver *Figura 4.17*) se compone de:

- Hotend: Bloque calentador, conectado a una resistencia que calienta todo el bloque para fundir el filamento.
- Termistor: Sensor de temperatura que controla el *hotend*.
- Boquilla: Orificio de salida del filamento. Marca el diámetro de la extrusión.
- Barrel o barra térmica: tubo hueco roscado exteriormente para unir el disipador con el bloque calefactor (*hotend*). También hace de guía para el filamento.

- Disipador de calor: Hace que el calor del *hotend* no llegue a otras piezas, evitando que se funda el plástico en ellas. Puede estar acompañado de refrigeración con ventiladores.

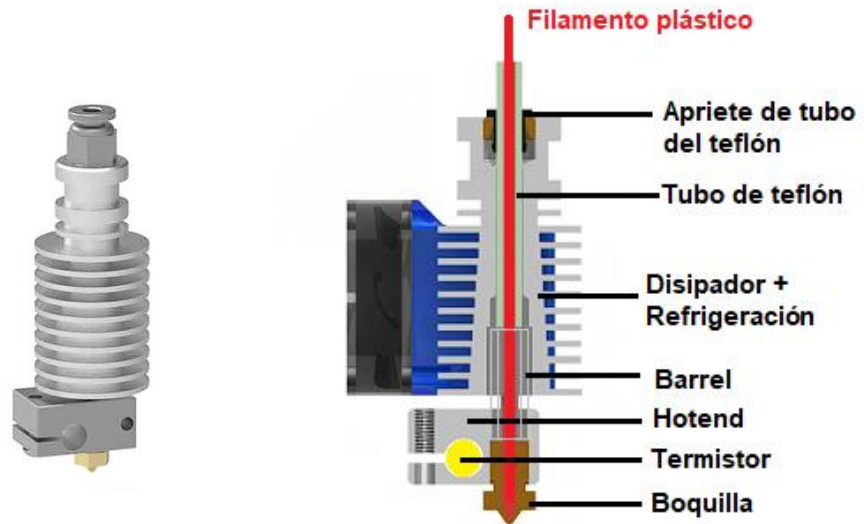


Figura 4.17: Fusor y componentes.

En la colocación (Figura 4.18) del tubo de teflón encontramos varias configuraciones [17, secc. 2.3.1]:

- Allmetal: El tubo de teflón llega hasta el *barrel* y el filamento continúa por el *barrel* hasta el *hotend* y posteriormente la boquilla.
- Liner: Un tubo de teflón de 1.75 mm llega hasta la boquilla pasando por el *barrel*.
- Tubo de teflón de 4,1 mm hasta la boquilla: El tubo de teflón llega hasta la boquilla pasando por el *barrel*. Esta resulta la mejor configuración para el filamento flexible y el material PLA, evitando desbordamientos de material.

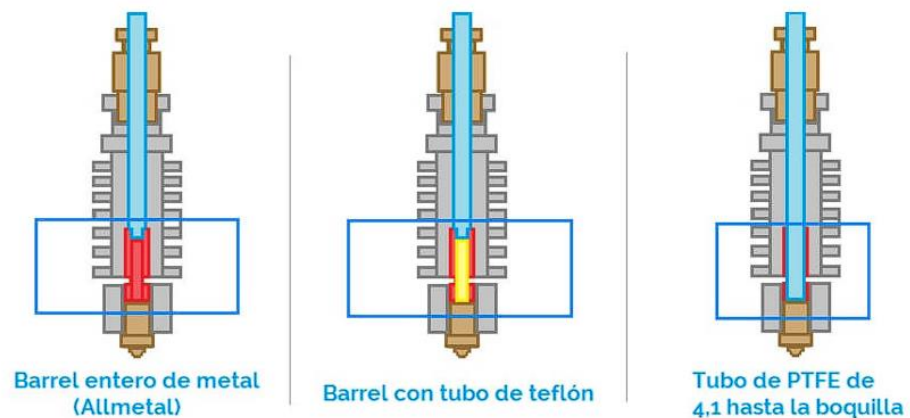


Figura 4.18: Configuraciones del tubo de teflón en el fusor. [17, secc. 2.3.1]

También podemos contemplar la posibilidad de tener una doble extrusión. Esto resulta muy útil en algunas impresoras, ya que puede imprimirse la pieza en un material y los soportes en otro material que sea más fácil de desechar, como el PVA, visto en el Capítulo 4.2. Las configuraciones usadas son [17, secc. 5]:

- Varios extrusores *Bowden* y un fusor *hotend* con varias entradas.
- Varios extrusores directos y un *hotend* para cada uno.
- Un sistema de extrusión *Bowden* que cambie de filamento para el *hotend*.

La calibración para *hotend* doble resulta complicada con respecto a la referencia de la superficie de impresión. Lo más común en el mercado de la impresión 3D FDM es tener un doble extrusor y una sola salida de *hotend* (Figura 4.19) [17, secc. 5, fig. 2-3]:



Figura 4.19: Triple extrusión hotend Diamond (izquierda) y doble extrusión hotend Cyclops (derecha). [17, secc. 5, fig. 2-3]

4.3.3. ELEMENTOS DE POSICIONAMIENTO.

Cada impresora tiene unos ejes de trabajo determinados, como se estudiará en los tipos de impresoras del *Capítulo 4.4*. Para desplazar el carro extrusor o la plataforma de trabajo en cada uno de ellos necesitamos de una fuerza externa que lleve a cabo ese desplazamiento (motores) y de guías para absorber las vibraciones y corregir la trayectoria en cada eje.

Para llevar a cabo ese esfuerzo y guiar correctamente estos movimientos se suelen utilizarlos siguientes componentes mecánicos.

A. Husillos, acoples flexibles o sólidos y tuerca collarín.

Los husillos se fijan al eje de un motor paso a paso mediante acoples sólidos o flexibles. Su finalidad es la de levantar los elementos en el eje Z. El motor gira y solidario a él, el husillo también haciendo de tornillo sin fin, levantando la tuerca collarín y los elementos unidos a ella (*Figura 4.20*). [17, secc. 2.5]

Dependiendo del tipo de rosca del husillo y sus parámetros, se tendrá un mayor o menor avance por vuelta del motor paso a paso en los elementos unidos a la tuerca collarín. Además, el motor deberá ejercer mayor o menor par (Ncm) dependiendo de estos parámetros. Es por ello importante conocer bien los parámetros del motor y seleccionar correctamente los husillos.

Los husillos suelen ser de rosca doble trapezoidal, pero también podemos utilizar varillas roscadas de métrica unificada con tuercas collarín compatibles para la misma métrica.



Figura 4.20: Husillo trapezoidal y tuerca collarín (izquierda), acople sólido (centro) y acople flexible (derecha).

B. Varillas guía y rodamientos.

Para guiar las piezas móviles suelen utilizarse varillas lisas de acero cromado o inoxidable, siendo el segundo el más recomendado. Las piezas que se deslizan por ellas, lo hacen montadas en rodamientos de bolas lineales (*Figura 4.21*). [17, secc. 2.3]

Cuanto mayor sea el diámetro de las varillas, mayor será la absorción de vibraciones en el desplazamiento. Lo mismo ocurre con el rodamiento lineal, ya que cuanto mayor longitud tenga, menos holgura habrá entre la varilla y el mismo.



Figura 4.21: Varillas de acero lisas (izquierda) y rodamientos lineales LMU (derecha).

C. Carril lineal guía y patín.

Su función es la misma que la de las varillas guía, solo que poseen numerosas ventajas que la han convertido en mejor opción a costa de un mayor precio (*Figura 4.22*).



Figura 4.22: Carriles lineales y patines (sobre los carriles). Diferentes tamaños y tipos de carriles y patines Hiwin, en este caso.

Destacan por su alta precisión de funcionamiento, su larga vida útil, su alta velocidad y reducida fuerza motriz, capacidad de aguantar cargas en todas las direcciones del espacio, su sencilla instalación e intercambiabilidad y su fácil lubricación.

D. Ruedas rodadas en perfiles.

Otra manera de guiar el movimiento de partes móviles, es el uso de ruedas. Éstas, solidarias a la pieza, ruedan por el canal del perfil pudiendo guiar el desplazamiento (*Figura 4.23*).

Se suelen utilizar por su sencillez y bajo coste, pero no son el método guía más preciso. Su utilización no es recomendable para impresoras 3D FDM CORE XY, ya que su sistema de correas requiere de gran precisión en desplazamientos.

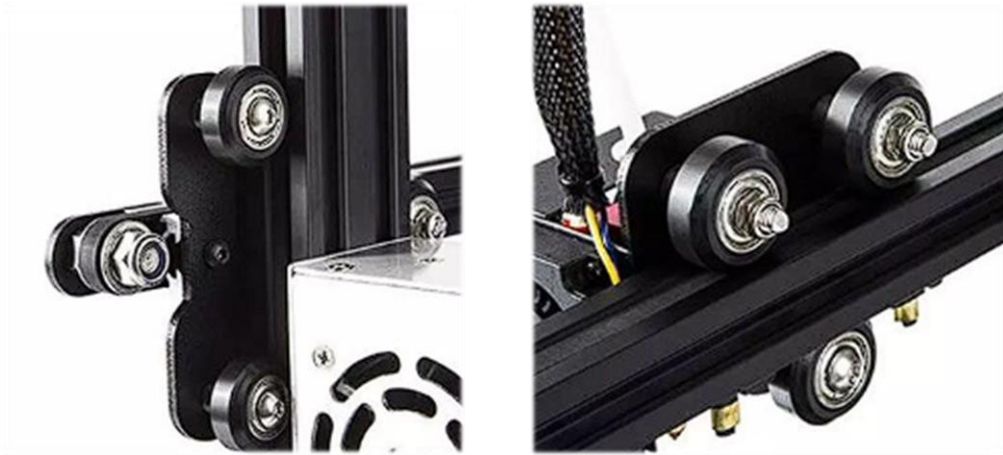


Figura 4.23: Ruedas guía rodando sobre canales de perfilera de aluminio.

E. Correas, poleas, poleas dentadas.

Las correas utilizadas en las impresoras FDM tienen como función el desplazamiento de las partes móviles de la impresora, ya sean de la plataforma de impresión o del fusor. Están dentadas puesto que para desplazar estas partes móviles han de abrazar una polea dentada solidaria a un motor paso a paso, llamada polea GT, con el fin de pasar de un movimiento rotativo (del motor) a uno lineal para las piezas móviles (*Figura 4.24*). [17, secc. 2.4]

Este sistema de correas sigue un recorrido redirigido por poleas (sin dientes) sujetando la pieza a mover por dos puntos diferentes. Es muy importante que las correas estén tensas y alineadas para un correcto funcionamiento.

Dependiendo de la impresora se necesitan de más de un sistema de correas por eje.



Figura 4.24: Correa dentada, poleas dentadas GT (izquierda) y poleas sin dientes (derecha).

4.3.4. SISTEMA DE CONTROL.

En las diferentes máquinas de impresión 3D debe de existir un sistema que permita controlar y recibir información de la propia máquina de manera que se puedan controlar la posición del cabezal extrusor, sus desplazamientos, así como el de la cama, las velocidades para los motores, temperatura de deposición de material y de la cama caliente.

Está constituido por:

- Hardware.
- Software o firmware.

Donde el software se halla instalado en el hardware, más concretamente, en la placa base. Un componente esencial que tiene conexión con el resto de electrónica de la máquina. De esta manera el software permite controlar y recibir la información de cada uno de los componentes conectados a ella.

La programación intrínseca del software dependerá del tipo de placa base y de cada uno de los componentes conectados a ella, debiendo adaptarse a ellos y a las necesidades para un cómodo control del usuario.

A. Placa base.

Es un elemento esencial ya que su función es la de controlar el resto de elementos electrónicos de la impresora 3D y la de recibir las órdenes con respecto a la impresión (lectura y control del *gcode*). Es interesante destacar sus componentes principales [17, secc. 3.2]:

- Procesador: Procesa los datos y realiza los cálculos para interpretar las instrucciones ordenadas y llevar a cabo la impresión desde el *gcode* generado del archivo STL.
- Controladores y entradas de pines: Se encargan de controlar el voltaje y la potencia para los motores paso a paso.
- Lector de tarjetas SD, USB y conexiones: entradas para lectura de los archivos a imprimir.

En el mercado actual existen placas base con fácil programación estandarizada (ver *Figura 4.25*), pero de la misma manera hay softwares y placas base personalizadas por parte de empresas especializadas. También existe la opción de utilizar

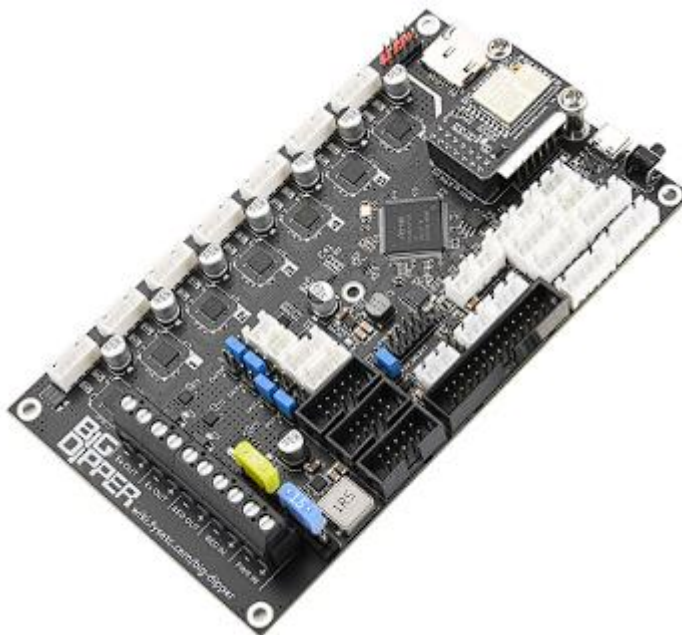


Figura 4.25: Placa base Duet 3 Mini 5.

Para poder manipular los parámetros de la impresión y obtener información de la misma del propio software, a la placa base pueden añadirse diferentes sistemas como una pantalla LCD y panel de control analógico o una tarjeta de red.

B. Pantalla LCD y panel de control.

La pantalla muestra información acerca de la impresión y el panel de control permite interacción con la impresora para dar las órdenes de trabajo (ver ejemplo *Figura 4.26*). Ambas se encuentran conectadas a la placa base y sincronizadas con el software.

Es una opción cómoda y barata para manipular los parámetros básicos de la impresión, pero la navegación entre sus menús de configuración puede ser confusa.



Figura 4.26: Módulo de pantalla y panel de control. Modelo LCD2004.

C. Módulo de red y control digital.

Las placas base más modernas ya constan de un módulo de red (ver *Figura 4.27*) que permite enviar y recibir información desde un ordenador. Esto se consigue gracias a la conexión del ordenador a la placa base través de una dirección IP generada por el módulo de red.

Su utilización requiere de la programación adecuada y de un control externo por ordenador. La red IP a la que se conecta el ordenador puede ofrecer un menú más claro y completo que cualquier pantalla LCD gracias a las posibilidades de diseño web.

Una de las principales ventajas de su uso es la posibilidad de realizar todas las órdenes de control desde la estación de trabajo, pudiendo incluso enviar los archivos *.gcode* desde ella a la placa.

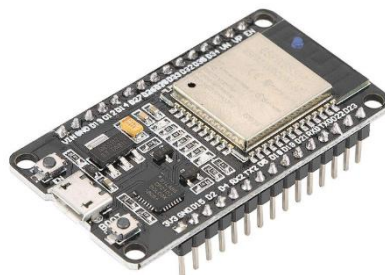


Figura 4.27: Módulo WiFi ESP32, Módulo de doble núcleo inalámbrico de placa de desarrollo WiFi para IOT.

Las variables de entrada y salida desde la placa base son:

- Pines de paso para los motores: La señal en los pines provoca un paso en el motor.
- Pines de dirección de motores: Indican la dirección de giro del motor en sentido horario o antihorario.
- Pines de habilitación: Permiten el movimiento de los motores.
- Pines de sensores de final de carrera: Conectan con los sensores de final de carrera y al activarse indican el final o el comienzo del eje.
- Pines de calentadores: Encargados de activar o desactivar el fusor y la cama caliente.
- Pines de termistores: Reciben la señal analógica de los sensores a la temperatura del sistema.
- Entrada fusor: Es la encargada de calentar la resistencia del *hotend*.
- Entrada cama caliente: Encargada de transmitir la potencia para calentar la cama caliente.
- Adaptador LCD: Su conexión aporta la señal para la pantalla LCD y panel de control.
- Adaptador módulo de red: Permite la transferencia de datos vía WiFi a una plataforma de trabajo u ordenador externo.
- Entrada ventilador *hotend*: Necesaria para dar funcionamiento al ventilador que abraza las costillas del fusor y evitar sobrecalentamientos.
- Entrada para ventiladores de capa: Necesaria para controlar los ventiladores que enfrían las capas reduciendo el tiempo de solidificación del material.
- Entrada para ventilador de la placa base: su conexión y control es necesaria para evitar altas temperaturas y sobrecalentamientos en la placa base.
- Conexión a la fuente de alimentación: Para dotar a la placa y por ende al resto de componentes de la potencia de funcionamiento necesaria.

Las variables digitales a tener en cuenta en la programación del software son:

- Comandos: Son implementados en el *gcode* y su finalidad es la de realizar las funciones básicas de la impresora. Algunas de ellas serían la de coordinar los movimientos lineales de los motores, realizar movimientos absolutos o incrementales en ellos, obtener información acerca de los termistores y controlar la temperatura del fusor y la cama caliente o mostrar información en pantalla.
- Interpretación de órdenes y código: Capacidad de lectura del *gcode* generado mediante software externo.
- Algoritmo del sistema de posicionamiento: Dependerá del tipo de impresora y su sistema de desplazamiento para el extrusor y la cama. El sistema planteado deberá llevarse a código de programación junto con el uso de los motores paso a paso.

4.3.5. ELECTRÓNICA DE LA IMPRESORA.

En esta sección podemos englobar los componentes principales presentes en todas las impresoras 3D FDM.

A. Fuente de alimentación.

Como se ha mencionado anteriormente en el *Capítulo 2.3* necesitamos de una fuente de energía para hacer funcionar la máquina. La fuente de alimentación se encarga de convertir la tensión alterna de la red eléctrica en corriente continua para poder alimentar los componentes eléctricos de la impresora (*Figura 4.28*).

Suele encontrarse acoplada en el marco estructural y está conectada a la placa base. En caso de tener una impresora con cama caliente, provista de siliconas calefactoras, se conectarán con ellas mediante un relé de estado sólido.

Obviamente, la potencia de la fuente de alimentación y su voltaje de trabajo es importante en vistas al resto de electrónica de la impresora. Se ha de calcular el consumo de cada uno de sus componentes.



Figura 4.28: Fuente de alimentación de 12V, 30 A y 360 W.

B. Motores paso a paso.

Son motores eléctricos caracterizados en su uso en la impresión 3D por su precisión y capacidad de repetir movimientos. Normalmente suelen utilizarse motores bipolares por su gran par motor. Su control electrónico es sencillo gracias a sus drivers de configuración y proporcionan un buen par motor para el tamaño que tienen. No permiten grandes velocidades de giro, pero esto no sugiere tanto un problema, ya que su rotación es convertida en un movimiento lineal por medio de husillo o correas y normalmente éste no supera los 200 mm/s (*Figura 4.29*). [18, secc. 2]

El movimiento de los motores se realiza en intervalos fijos llamados pasos. Si un motor posee 1.8° por paso, girará por cada vuelta (360°), 200 pasos. [18, secc. 2]



Figura 4.29: Motor paso a paso. Modelo Nema 17 (bipolar). [18, secc. 2, fig. 1]

Es muy importante elegir el motor y driver adecuado y posteriormente llevar a cabo un calibrado eléctrico. Si esto no es así, pueden surgir problemas como la pérdida de pasos en los ejes de la impresora debido a la falta de fuerza, el sobrecalentamiento de componentes electrónicos u otras razones. Este problema puede provocar saltos de capa en la pieza; capas de material desplazadas con respecto a sus anteriores.

En la mayoría de motores eléctricos u mayor voltaje se traduce en mayor velocidad de giro (rpm) y, una mayor corriente en una mayor fuerza par (Nm). Esto conlleva las siguientes premisas [18, secc. 3]:

- Voltaje nominal bajo, de 3-5 V.
- Con voltajes mayores al nominal la transición de un paso al siguiente es más rápida. Cuanto mayor sea el voltaje, mayor serán los pasos por segundo (mayor velocidad). No es común aplicar voltajes muy superiores al nominal. Sabemos que, por la Ley de Ohm, cuanto más voltaje, más corriente habrá. Si la corriente es mayor de lo admitido para los motores estos pueden sobrecalentarse y quemarse.
- Para evitar sobrecalentamientos se utilizan los drivers adecuados al motor, limitando la corriente.

Es por ello importante conocer el funcionamiento de los drivers del motor paso a paso [18, secc. 4].

Los drivers son específicos para cada motor. Reciben señales de control de la placa base en cuanto a movimiento (avance de un número de pasos en la dirección indicada)

y los llevan a los motores con la forma de onda (representación gráfica del voltaje o corriente en función del tiempo) y potencias adecuadas.

Éstos, mueven al motor un número exacto de pasos. Incluso algunos pueden enviar subdivisiones de pasos completos, comúnmente llamados micropasos. Permitiendo al motor moverse 1/8 de paso, 1/16, 1/32, etc. Aumentando con ellos la suavidad y movimientos de los motores. [18, secc. 4.1]

En la *Figura 4.30* se ve una forma de onda (voltaje) para un motor paso a paso bipolar con los micropasos activos. En ella se puede ver una semejanza con una onda periódica sinusoidal en el caso de los micropasos activos. Para el caso de paso completo el resultado es una forma cuadrada con un período de 4 pasos.

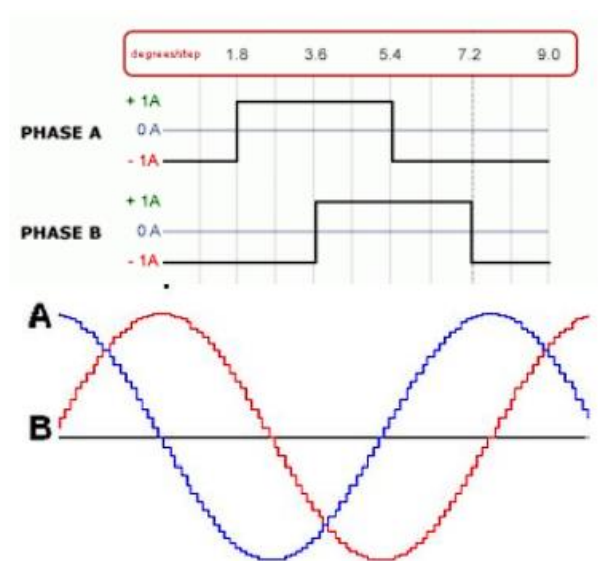


Figura 4.30: Formas de onda para un motor paso a paso bipolar en modo paso completo (arriba) y por micropasos (abajo). [18, secc. 4.1, fig. 1]

Los drivers más comunes en el mercado son el chip *A4988 Allegro* y el *DRV8825* de *Texas Instruments*.

C. Cama caliente y superficie de impresión.

Como hemos mencionado anteriormente en el *Capítulo 4.3.1*, la cama de la impresora 3D es parte de la estructura de la plataforma y sobre ella se encuentra la superficie de impresión, donde se deposita el filamento. También puede darse el caso de tener una cama que actúe como propia superficie de impresión.

Algunas camas están provistas de calefacción para poder imprimir piezas con mayor facilidad en materiales como el ABS. A estas se las conoce como camas calientes y están reguladas por temperatura desde la placa base, mediante el uso de termistores.

Existen diferentes tipos de cama caliente:

- PCB (Printed circuit Board):

Ligeras y económicas, trabajan en 12V o 24V y se pueden encontrar en diferentes tamaños. Necesitan de un cristal para imprimir sobre ellas, dotándolas de la rigidez y planitud de la que carecen (*Figura 4.31*). [19, secc. 2.1]

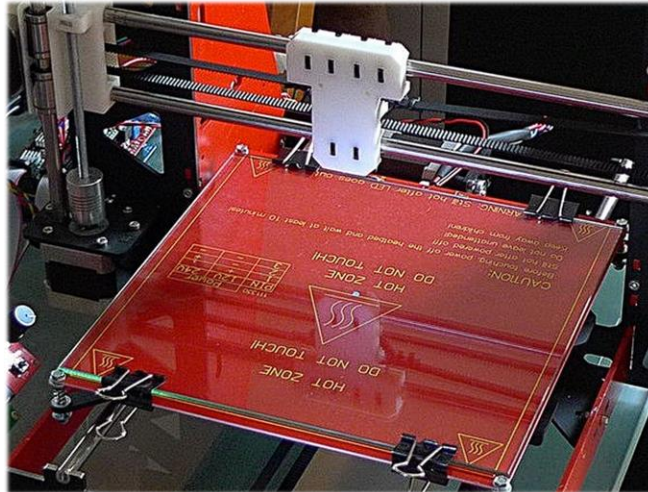


Figura 4.31: Cama caliente PCB con cristal acoplado.

- Aluminio:

Destacan por ser ligeras en relación con la rigidez y planitud que poseen. Se calientan uniformemente. En este caso, el calor transferido a ellas proviene de una PCB soldada al aluminio. Sin embargo, el método más utilizado hoy día es la adhesión de siliconas calefactoras (*Figura 4.32*). [19, secc. 2.2] Esta tecnología necesita de un relé eléctrico de estado sólido que haga de interruptor entre las siliconas, la placa base y la tensión alterna a la que van conectadas. Hay gran variedad de tamaños y su principal ventaja es la velocidad con la que se calienta la cama, mucho mayor que las PCB. Gracias al uso del relé de estado sólido se puede trabajar en los 12V o 24V entre ellas y la placa base. Su principal problema es su coste. En este caso el aluminio puede usarse a su vez como superficie de impresión.



Figura 4.32: Silicona calefactora para aluminio (izquierda) y relé de estado sólido (derecha).

- Magnética:

Se usan con bases de impresión imantadas ya que utilizan imanes en su parte inferior. Trabajan a 24V con alta potencia, pudiendo calentar rápidamente. Poseen buena rigidez y planitud, pero necesitan obligatoriamente una superficie de impresión. Las ventajas de esta cama es que las superficies añadidas pueden ser flexibles facilitando la extracción de las piezas (Figura 4.33). [19, secc. 2.3]



Figura 4.33: Cama caliente magnética, palca de acero y superficies flexibles. Modelo de impresora Prusa DIY. [19, secc. 2.1, fig. 1]

A su vez, también se tienen diferentes tipos de superficies de impresión:

- Cristal templado de borosilicato:

Es muy utilizado por sus buenos resultados. Se une con pinzas a la cama caliente y se le añade laca para asegurar la adhesión de las piezas impresas sobre ella, aunque

requiere un lavado tras varios rociados. Es aconsejable despegar las piezas de ella cuando estén en frío pues en caliente se pueden deformar. Resulta una opción barata y cómoda en cuanto a manipulación, dejando resultados brillantes al estar pulido. Pero si existen arañazos, las piezas también lo tendrán (*Figura 4.34*). [19, secc. 3.1]



Figura 4.34: Cristal templado de borosilicato. [19, secc. 3.1, fig. 1]

- Cama caliente de aluminio sin superficie adicional:

Se imprime directamente sobre la cama de aluminio usando laca para añadir adherencia. Aunque el aluminio tiene planitud, puede acabar rayándose con el tiempo. Por ello es preferible que estos desperfectos los asuma un cristal, ya que es más barato y cómodo a la hora de intercambiarlo. [19, secc. 3.2]

- Cristal con recubrimiento microporoso tipo Ultrabase:

Es sencillo de adherir, ya que consta de adhesivo en uno de sus lados. No se recomienda su uso con las PCB por la falta de rigidez. La superficie microporosa permite una mayor adhesión de la pieza en ella, sin necesidad del uso de laca. Se limpia fácilmente, pero si se daña no es reparable y su reemplazo es complicado por su adhesivo. [19, secc. 3.3]

- Bases de impresión magnéticas:

Se han convertido en la opción más popular por su comodidad de uso y su compatibilidad con camas de aluminio o camas magnéticas (*Figura 4.35*). Tras las impresiones podemos retirarla y flexionarla despegando las piezas con mucha facilidad. Deja un acabado rugoso en la superficie de contacto con la pieza.



Figura 4.35: Bases de impresión magnéticas. Lámina metálica y flexible recubierta de polvo de PEI por ambos lados

D. Interruptores de final de carrera.

Su función es la de delimitar el origen y el rango máximo en los movimientos de los ejes X, Y, Z de la impresora (*Figura 4.36*). Funcionan a modo de interruptor, ya que al ser pulsados transmiten a la placa base la coordenada origen o máxima del eje. Pueden ser un elemento necesario o no para la impresora dependiendo del firmware de la placa base y suelen estar colocados de manera que el punto origen quede en la esquina inferior o superior izquierda en el caso de impresoras cartesianas o CORE XY.



Figura 4.36: Módulo de final de carrera.

E. Refrigeración.

Existen varios componentes que necesitan de refrigeración para un correcto funcionamiento:

- Refrigeración de la placa base:

Es un componente muy susceptible a sobrecalentamientos, es por ello es necesario que conste de un sistema de refrigeración. En la placa base las conexiones con los motores y la resistencia del bloque calentador del fusor pueden llegar a alcanzar altas temperaturas. Lo más común es utilizar disipadores y un ventilador.

- Refrigeración en motores paso a paso:

Resulta conveniente añadir ventilación a los motores si se van a mantener funcionando de manera constante largos intervalos de tiempo, alargando su vida útil. Aunque no son necesarios fuera de estos casos.

- Refrigeración en fusor (ventilador *hotend*):

Es necesaria la refrigeración en el disipador de costillas, ya que el *hotend* alcanza altas temperaturas y pueden alcanzar componentes superiores. Esto puede provocar desbordamientos de material por fundido previo al *hotend* y sobrecalentamientos en otros componentes (*Figura 4.37*).



Figura 4.37: Ventilador para disipación de hotend.

- Ventiladores de capa:

En este caso, la refrigeración consiste en enfriar las capas del plástico que conforman la pieza para reducir el tiempo de solidificación y así evitar deformaciones.

No debemos confundirlo con la refrigeración del fusor. Su uso es fundamental para poder imprimir en PLA y en PETG.

F. Cableado.

Por su puesto, cada componente utiliza su propio cableado. Dependiendo de cada uno, encontraremos mayores diámetros y filamentos de cable. Se debe diferenciar entre cableado de control y cableado de potencia.

- Cableado de control: Es aquel que conecta los motores, los sensores de final de carrera, termistores, ventiladores, pantalla LCD y panel a la placa base. Su sección es inferior a la del cableado de potencia, pues el cableado de control trabaja con amperajes inferiores.
- Cableado de potencia: Es utilizado para la conexión de la fuente de alimentación. Además, debe utilizarse para las conexiones con altas condiciones térmicas como la que suministra potencia en forma de calor al *hotend* y a la cama caliente.

Según la norma UNE HD 60364-5-52:2014, las temperaturas máximas a las que pueden estar sometidos los aislantes de los conductores son de 70°C en caso de revestimientos termoplásticos (PVC y polietileno) y de 90°C en revestimientos termoestables (Polietileno reticulado y etileno-propileno).

Para el cálculo de secciones del cableado en caso de corriente alterna, según la Ley de Ohm:

$$\Delta V = RI \cos \varphi$$

$$I = \frac{P}{V}$$

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

Si despejamos la sección:

$$S = \frac{L \cdot I \cdot \cos \varphi}{V \cdot \sigma}$$

Donde:

- V es la tensión de salida en voltios.

- $\cos \varphi$ con valor de monofásica = 1.
- I es la intensidad en amperios.
- P es la potencia en vatios.
- ρ es la resistividad del conductor (cobre o aluminio) con conductividad $\sigma = 1/\rho$. $\rho_{Cu} = 0,017$
- L es la longitud del cable en mm.
- S la sección del cable en mm^2 .

Cuando se obtiene la sección, se ajusta a la comercializada más próxima y se comprueba que la intensidad máxima sea menor que la intensidad máxima admisible del cable, que podemos comprobar en la siguiente *Tabla 4.2* perteneciente a la norma UNE HD 60364-5-52:2014 [20]. En caso contrario, se aumenta la sección del cable.

TABLA C.52-1 bis (UNE-HD 60364-5-52: 2014)																			
Intensidades admisibles en amperios Temperatura ambiente 40 °C en el aire																			
Método de instalación de la tabla B.52-1	Número de conductores cargados y tipos de aislamiento																		
A1		PVC 3	PVC 2				XLPE 3	XLPE 2											
A2	PVC 3	PVC 2				XLPE 3	XLPE 2												
B1				PVC 3	PVC 2					XLPE 3	XLPE 2					XLPE 2			
B2			PVC 3	PVC 2					XLPE 3	XLPE 2									
C						PVC 3			PVC 2			XLPE 3					XLPE 2		
E							PVC 3				PVC 2			XLPE 3			XLPE 2	XLPE 2	
F									PVC 3				PVC 2		PVC 2		XLPE 3	XLPE 3	XLPE 2
1	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	8a	8b	9a	9b	10a	10b	11	12	13	13
Sección mm²																			
Cobre																			
1,5	11	11,5	12,5	13,5	14	14,5	15,5	16	16,5	17	17,5	19	20	20	20	21	23	—	—
2,5	15	15,5	17	18	19	20	20	21	22	23	24	26	27	26	28	30	32	—	—
4	20	20	22	24	25	26	28	29	30	31	32	34	36	36	38	40	44	—	—
6	25	26	29	31	32	34	36	37	39	40	41	44	46	46	49	52	57	—	—
10	33	36	40	43	45	46	49	52	54	54	57	60	63	65	68	72	78	—	—
16	45	48	53	59	61	63	66	69	72	73	77	81	85	87	91	97	104	—	—
25	59	63	69	77	80	82	86	87	91	95	100	103	108	110	115	122	135	146	—
35	—	—	—	95	100	101	106	109	114	119	124	127	133	137	143	153	168	182	—
50	—	—	—	116	121	122	128	133	139	145	151	155	162	167	174	188	204	220	—
70	—	—	—	148	155	155	162	170	178	185	193	199	208	214	223	243	262	282	—
95	—	—	—	180	188	187	196	207	216	224	234	241	252	259	271	298	320	343	—
120	—	—	—	207	217	216	226	240	251	260	272	280	293	301	314	350	373	397	—
150	—	—	—	—	—	247	259	276	289	299	313	322	337	343	359	401	430	458	—
185	—	—	—	—	—	281	294	314	329	341	356	368	385	391	409	460	493	523	—
240	—	—	—	—	—	330	345	368	385	401	419	435	455	468	489	545	583	617	—
Alu- minio																			
2,5	11,5	12	13	14	15	16	16,5	17	17,5	18	19	20	20	20	21	23	25	—	—
4	15	16	17	19	20	21	22	22	23	24	25	26	28	27	29	31	34	—	—
6	20	20	22	24	25	27	29	28	30	31	32	33	35	36	38	40	44	—	—
10	26	27	31	33	35	38	40	40	41	42	44	46	49	50	52	56	60	—	—
16	35	37	41	46	48	50	52	53	55	57	60	63	66	66	70	76	82	—	—
25	46	49	54	60	63	63	66	67	70	72	75	78	81	84	88	91	98	110	—
35	—	—	—	74	78	78	81	83	87	89	93	97	101	104	109	114	122	136	—
50	—	—	—	90	94	95	100	101	106	108	113	118	123	127	132	140	149	167	—
70	—	—	—	115	121	121	127	130	136	139	145	151	158	162	170	180	192	215	—
95	—	—	—	140	146	147	154	159	166	169	177	183	192	197	206	219	233	262	—
120	—	—	—	161	169	171	179	184	192	196	205	213	222	228	239	254	273	306	—
150	—	—	—	—	—	196	205	213	222	227	237	246	257	264	276	294	314	353	—
185	—	—	—	—	—	222	232	243	254	259	271	281	293	301	315	337	361	406	—
240	—	—	—	—	—	261	273	287	300	306	320	332	347	355	372	399	427	482	—
Aislamientos termoestables (90°C)																			
XLPE: Polietileno reticulado										EPR: Etileno-propileno					PVC: Policloruro de vinilo				

Tabla 4.2: TABLA C.52-1 bis (UNE 60364-5-52: 2014) acerca de las intensidades admisibles a 40 °C. [20].

Para cables unipolares se designa el número 2 junto al recubrimiento correspondiente (PVC). El caso de la mayoría de cables que portan las impresoras 3D es el del subapartado F, que según la norma UNE HD 60364-5-52:2014, se designan a cables unipolares en contacto al aire libre (ver Tabla 4.3). Para corriente continua se designa el número [20].

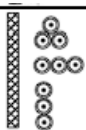
	Cables unipolares en contacto al aire libre Distancia al muro no inferior al diámetro del cable	F	Tabla C.52-1 bis columna 10a	Tabla C.52-1 bis columna 8a	Tabla C.52-1 bis columna 13	Tabla C.52-1 bis columna 11
---	--	----------	------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------

Tabla 4.3: Extracto de contenido de TABLA C.52-1 (UNE 60364-5-52: 2014) acerca de las intensidades admisibles a 40 °C. [20].

4.3.6. AISLAMIENTO DE LA IMPRESORA

Las impresoras comerciales suelen estar cubiertas por su propia estructura y un cajón superior resultando en un aislamiento adecuado. Esto unido al uso de las camas calientes permite una mejor impresión y la posibilidad de imprimir en material de altas temperaturas de deposición, como el ABS. Sin embargo, debe de seguir habiendo una circulación de aire debido a que los propios componentes electrónicos internos de la impresora, pueden llegar a sobrecalentarse.

La temperatura que se debe mantener en la impresora para poder trabajar con plástico ABS es alrededor de 35 – 45 °C. En ambientes donde no se alcance esta temperatura será necesario de un aislamiento que conserve el calor generado por la cama caliente haciendo viable la impresión.

Tanto en impresoras comerciales como personalizadas, una buena opción de aislamiento es el uso de paneles de metacrilato, ya que resultan buenos aislantes y su transparencia, permite visualizar el comportamiento interno de la impresora. Aunque también es común encontrar estructuras de aluminio cerradas con cristal templado en sus puertas, como puede verse en la Figura 4.38.



Figura 4.38: Impresora CREALITY CR 5 – Pro con aislamiento al exterior.

4.4. TIPOS DE MECANISMOS PARA IMPRESORAS 3D FDM.

En la fabricación por impresión 3D FDM encontramos diferentes configuraciones acerca del funcionamiento de la máquina o impresora. Estas configuraciones han permitido que la impresión 3D sea más accesible y barata aumentando sus ventas en el mercado actual.

Los tipos de impresora FDM más destacados en el mercado y sus características son las siguientes:

A. Impresoras Delta.

Trabajan con coordenadas cartesianas y se caracterizan por una plataforma de trabajo con superficie de impresión fija en la cual un cabezal dirigido por tres brazos articulados separados entre sí 120° posa el filamento del material extruido (por un motor) capa por capa. A esta configuración triangular se le denomina “Delta” (*Figura 4.39*). [21, secc. 1.1]

La computación de la impresora es compleja ya que debe transformar las coordenadas cartesianas a movimientos verticales y horizontales en los seis ejes que trabaja para los tres brazos (dos ejes por cada brazo). [21, secc. 1.1]

Destacan por tener un diseño que les permite imprimir piezas de gran altura a altas velocidades. Sin embargo, a nivel de precisión no llegan a tener resultados en precisión comparables con las impresoras cartesianas o CORE XY.

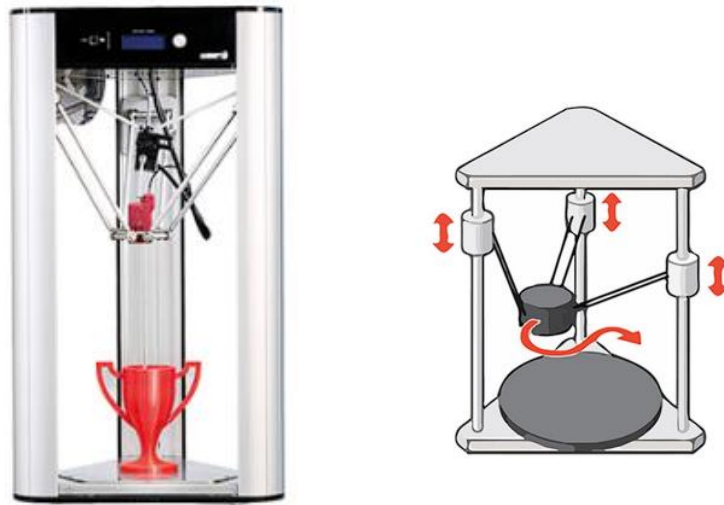


Figura 4.39: Modelo de impresoras 3D Delta.

B. Impresoras Cartesianas:

Trabajan con coordenadas cartesianas (XYZ). La plataforma de fabricación en la que se halla la superficie de impresión recorre el eje Y, mientras que el cabezal inyecta el plástico (extruido por un motor) sobre ella, capa a capa moviéndose en el eje X y el eje Z. [21, secc. 1.2]

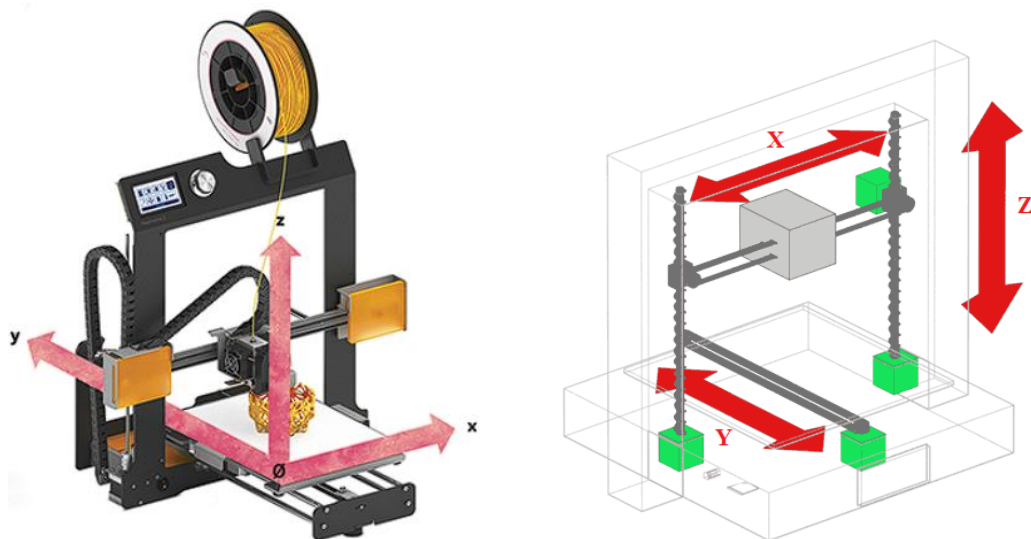


Figura 4.40: Modelo de impresoras 3D cartesianas.

Tanto el eje X como el Y pertenecen al plano horizontal, el eje Z es la vertical. En la *Figura 4.40* se puede ver de forma más clara.

Es el tipo de impresora más común en el mercado y existen numerosas variantes basadas en el mismo sistema de coordenadas para su movimiento tridimensional. Se

necesitan de dos motores para elevar el extrusor (accionado por un motor) en el eje Z, un motor para el movimiento en X y un motor para el desplazamiento de la cama en el eje Y. [21, secc. 1.2]

C. Impresoras CORE XY:

Trabajan con coordenadas cartesianas (XYZ) y se diferencia de las impresoras cartesianas anteriormente descritas en que esta vez la plataforma de trabajo sube la superficie de fabricación en el eje Z y, el extrusor inyecta el material en ella recorriendo los ejes del plano horizontal X e Y (Figura 4.41).

La principal ventaja con respecto a las cartesianas es que se utiliza un mecanismo llamado “CORE XY” que permite la reducción de inercia en el carro extrusor pudiendo obtener alta precisión y calidad con velocidades altas. [21, secc. 1.5] Esto se debe a que son dos motores los encargados del movimiento X/Y, excepto para los movimientos a 45°, donde con el funcionamiento de un solo motor se consiguen diagonales perfectas. Además, suelen ser destacables por la rigidez y estabilidad de la estructura y permite mayor eficiencia de espacio de trabajo.

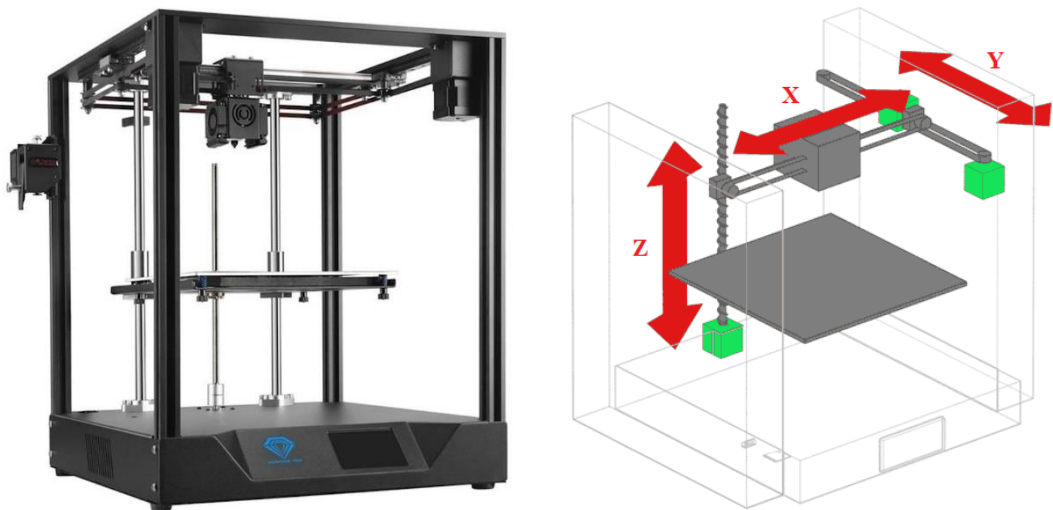


Figura 4.41: Modelo de impresoras 3D CORE XY.

Los inconvenientes que envuelven al sistema CORE XY es la dificultad de su montaje, ya que se debe tener un muy buen ajuste y alineamiento de correas. Esto es así porque como se trata más adelante, los movimientos dependen de un equilibrio de fuerzas en las correas del sistema, las cuales deben estar perfectamente alineadas entre sí con tal de llegar a la gran precisión de la que es capaz de dar la máquina.

Utiliza dos motores generalmente para elevar la plataforma de fabricación en el eje Z, otros dos para el movimiento en X/Y además de un quinto para el extrusor.

D. Impresoras Polares:

Definen la posición de impresión mediante coordenadas polares (*Figura 4.42*). Es decir, las coordenadas vienen definidas por un ángulo, un radio y una altura en el eje Z (o también por otro ángulo y otro radio más). [21, secc. 1.3]

Su característica principal es que funcionan con dos motores (más un tercero para el extrusor). Esto tiene como ventajas un mayor volumen de trabajo en un espacio reducido. [21, secc. 1.3]

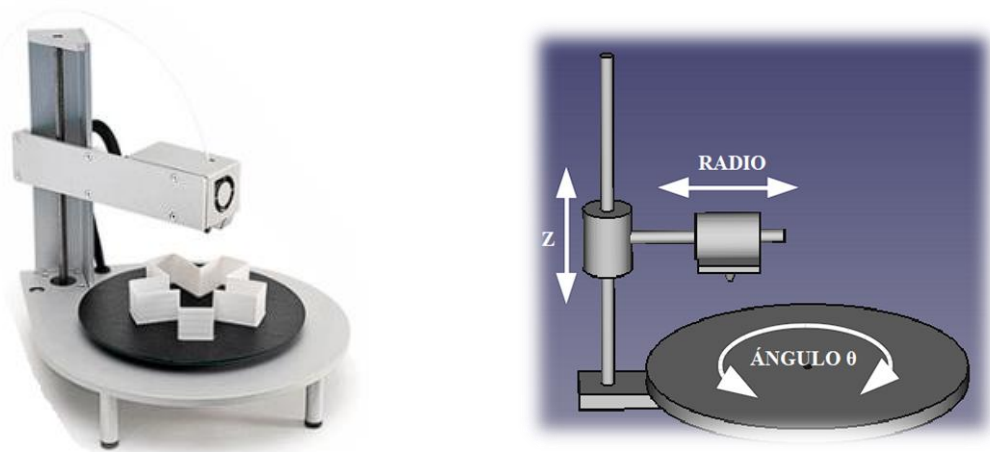


Figura 4.42: Modelo de impresoras 3D Polares.

E. Impresoras con brazo robótico:

Este método está aún en desarrollo ya que los brazos robóticos suelen utilizarse para el montaje de piezas, no para la extrusión de filamento de materiales de impresión 3D (*Figura 4.43*). Su principal ventaja es que no necesita superficie de fabricación fija y posee mayores grados de libertad en su movimiento que las impresoras anteriormente descritas, por lo que se resulta interesante su desarrollo para grandes piezas en el mundo de la impresión 3D. [21, secc. 1.4]

Sin embargo, el principal inconveniente es su inestabilidad estructural, debido a que el brazo actúa como un voladizo en movimiento. Esto se traduce en la necesidad de rigidizar su punto de apoyo y disminuir la versatilidad de la misma. [21, secc. 1.4]

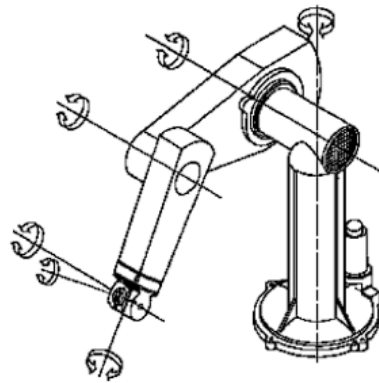


Figura 4.43: Modelo de impresoras 3D por brazo robótico.

Dependiendo de cada modelo de impresora podemos encontrar componentes y tecnologías que resultan interesantes de implementar para mejorar la impresión en diferentes aspectos. Puesto que este tipo de máquinas han de ser accesibles para recambios, mejoras y añadidos de sus propias piezas. Más adelante en el capítulo 3.3, se disponen las tecnologías de las que disponen las impresoras de manera más concreta.

4.5. METODOLOGÍA DE CÁLCULO MECÁNICO PARA UNA IMPRESORA 3D FDM CORE XY.

Para poder realizar un correcto diseño inicial de la máquina, antes es necesario realizar un estudio con el fin de conocer los principales factores mecánicos a tener en cuenta. Estos factores serán condicionantes y ayudarán en el diseño y selección de los componentes correctos para la impresora, con especial atención al sistema CORE XY.

En el caso de la impresora CORE XY, los cálculos teóricos más relevantes los encontramos en el sistema de desplazamientos. Por ello, en este punto se van a desarrollar los factores principales que afectarían a su configuración.

4.5.1. CONDICIONANTES DE UNA IMPRESORA 3D FDM CORE XY.

Cada vez es más común el uso de impresoras 3D de carácter doméstico, con la finalidad de crear piezas decorativas. Sin embargo, para impresiones de carácter industrial, en la fabricación de prototipos o piezas funcionales para taller u otros proyectos, se necesita un alto nivel de precisión de impresión y resistencia mecánica.

Como se ha visto anteriormente en el *Capítulo 4.4*, cada tipo de impresora posee unas ventajas concretas, pero también unos condicionantes. Los principales condicionantes a tener en cuenta para la impresora 3D CORE XY son los siguientes.

A. Rigidez en la estructura.

La estructura de la impresora Core XY debe ser rígida para soportar las vibraciones generadas en los desplazamientos. La selección de tornillería y elementos de unión vienen precedidos por el tipo de perfilera utilizada. Las dimensiones y distribución dependerán además del tamaño de la plataforma de impresión o cama.

B. Rigidez en la cama y en la superficie de impresión.

La cama también debe tener una estructura rígida, pero a la vez ligera, adaptada a las dimensiones de la superficie de fabricación, que debe poseer buenas aptitudes de rigidez y planitud.

C. Materiales de filamento plástico.

El fusor de la impresora debe ser capaz de alcanzar las temperaturas deseadas para fundir los plásticos descritos en el *Capítulo 4.2*. Además, se necesita de cama caliente y un aislamiento de la impresora para imprimir en algunos de los materiales con mejores propiedades mecánicas, como el ABS.

D. Sistema de desplazamientos CORE XY.

Ya se han comentado las características y ventajas de este sistema en el *Capítulo ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.*, pero no las condiciones que se necesitan para su correcto uso. Este sistema depende de:

- Una alineación y tensado de las correas
- El sistema de guiado es muy importante ya que se necesita de una precisión muy alta si se quiere aprovechar el potencial que ofrece el

sistema CORE XY. Cuanta más suavidad y menor factor de rozamiento exista en los desplazamientos de los ejes X e Y, menor será la fuerza par y mayor velocidad que podrán proporcionar los dos motores encargados del movimiento reduciendo el tiempo de fabricación.

- Cuanta mayor sea la velocidad, mayor es la inercia que el sistema debe de aguantar, por lo que es importante una buena rigidez que la aguante.

E. Sistemas de desplazamientos verticales (eje Z).

En este punto es vital conocer el peso de la cama y la superficie de impresión ya que los motores deben tener la fuerza suficiente para bajar y subir la cama. Esta fuerza es procurada por el husillo (o también varilla roscada) solidario a los motores y la tuerca collarín anclada a la cama, ya que sus parámetros de paso y avance determinarán la fuerza con la que se puede llegar a subir y bajar la cama en función de la velocidad de giro.

Mayor fuerza para una cama grande y pesada conlleva menor velocidad. Por ello, aunque se traten de superficies de impresión grandes, se busca una buena rigidez y ligereza en la cama.

F. Programación y electrónica.

La placa base de la impresora debe llevar el control de todos los componentes electrónicos de la máquina conectados a ella. Su programación interna es altamente compleja y está condicionada por parámetros y relaciones necesarias para el funcionamiento correcto de la impresora.

Estos parámetros y relaciones incluyen:

- El sistema de desplazamientos y los tipos de motores utilizados.
- Temperaturas y velocidad de extrusión (controlando el motor del extrusor).
- El uso de cama caliente y su control mediante termistor y uso de relé de estado sólido.
- Control manual de la impresora. En este aspecto se podría prescindir de ordenador y tener una pantalla LCD con control o, al contrario, pudiendo incluso mandar las piezas a imprimir directamente a la placa base remotamente.

- Refrigeración de la placa base. Los MOSFET que controlan los motores y la conexión para calentar el fusor pueden producir sobrecalentamientos en la placa y por ello, debe de disponer de un sistema de disipación.

G. Calidad de impresión.

La calidad de la impresión depende principalmente de:

- La calibración total de la impresora, teniendo tanto una configuración correcta a nivel mecánico (montaje) como a nivel de programación de la placa base y del *gcode* generado para la pieza, donde se encuentran definidos los parámetros de impresión.
- Algunos de estos parámetros son directamente dependientes de la boquilla utilizada para la impresión por su diámetro de salida del filamento en la deposición del material. Cuanto menor sea este diámetro, mejor será el acabado de la pieza, a costa de mayor tiempo de fabricación y la posibilidad de obstrucciones. Se podría aumentar la velocidad de extrusión y de desplazamiento e intentar compensar el tiempo de fabricación. Por el contrario, con boquillas de mayor diámetro se aumenta la rapidez de impresión a costa de calidad en el acabado. Aunque con una buena configuración pueden conseguirse acabados muy buenos.

Cada máquina conlleva un estudio y tiempo ajuste hasta poder llegar a fabricar las piezas deseadas.

4.5.2. SISTEMA DE DESPLAZAMIENTOS VERTICAL (Z).

En una impresora 3D CORE XY, la plataforma de impresión realiza el movimiento vertical en el eje Z, bajando a la altura de capa configurada para la impresión. Y de igual manera, debe subir para llegar a la coordenada de referencia. Esto siempre es así para este tipo de configuración, ya que si el extrusor se desplazara en los tres ejes del espacio se producirían mayores vibraciones y, por tanto, habría que aplicar una disminución en la velocidad de impresión. Para evitar esto, el desplazamiento en Z lo lleva a cabo la cama o plataforma de impresión, quitando un grado de libertad al sistema de posicionamiento del extrusor.

El movimiento de la cama en el eje Z se basa en la transformación de un movimiento rotacional a lineal. Se utilizan motores paso a paso a los que se les acoplan husillos o varillas roscadas, haciéndolos girar solidariamente con el movimiento rotacional generado por los motores. En las varillas o husillos se encuentran roscadas unas tuercas collarín, que a su vez se encuentran fijadas a la cama. Éstas generan una fuerza de empuje vertical que permitirá subir o bajar la cama.

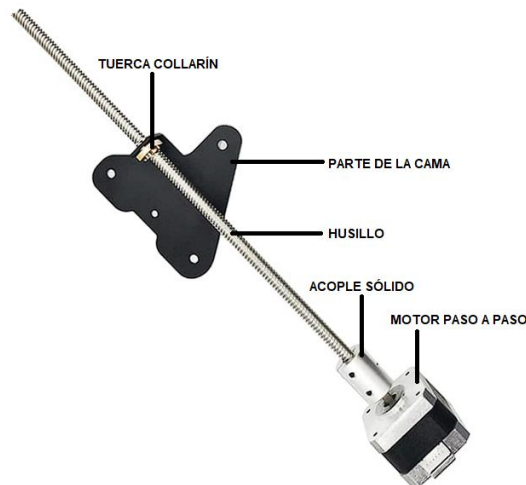


Figura 4.44: Conjunto montado; Motor paso a paso, husillo, tuerca collarín y parte de una cama genérica.

Se necesita una buena fijación de los motores y además tener en cuenta que la tuerca collarín solo se desplazará verticalmente a lo largo del husillo o varilla roscada si se encuentra unida a la cama y esta tiene restringido el giro. Es decir, que ni la tuerca ni la cama tengan permitido el giro entorno al husillo, pues es este el que realiza la rotación para poder pasar de un movimiento rotacional a lineal (*Figura 4.44*). Esto se puede conseguir con el uso de un segundo mecanismo de elevación posicionado simétricamente con respecto a la cama o con el uso de rodamientos lineales acoplados a la misma y varillas guías (*Figura 4.45*).

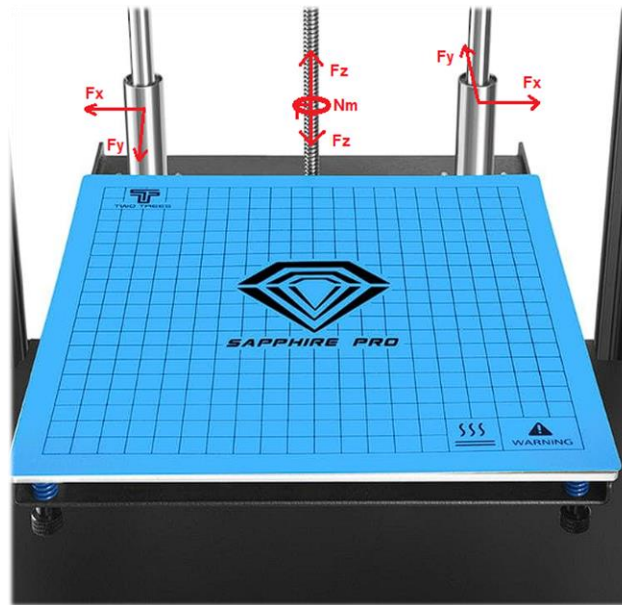


Figura 4.45: Conjunto cama montado con guías; El par generado por el motor y transmitido al husillo pasa a movimiento lineal gracias a la tuerca collarín acoplada a la cama y a las guías que restringen el movimiento de la misma en X e Y, dejando libre el eje Z.

De esta manera, los parámetros necesarios para levantar o bajar la plataforma de trabajo se reducen a conocer el par de subida y de bajada que existe entre el husillo o varilla roscada y tuerca collarín acoplada a la cama. Con este dato se pueden escoger los motores paso a paso que puedan ofrecer el par necesario en función del resto de parámetros definidos por el resto de componentes.

Antes de comenzar con los cálculos es necesario conocer los parámetros que encontraremos en ellos:

A) Tipo de rosca de husillo o varilla.

En el caso de utilizar husillos, se deben tener en cuenta parámetros de rosca trapezoidal (Figura 4.46).

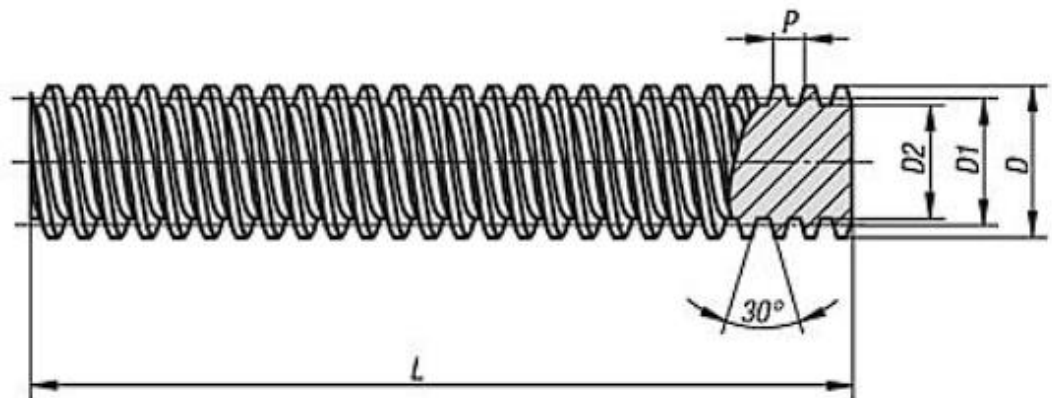


Figura 4.46: Perfil roscado de husillo trapezoidal.

En el caso de varillas roscadas podemos encontrar entre otras; roscas unificadas métrica, rosca cuadrada o rosca Acme (Figura 4.47).

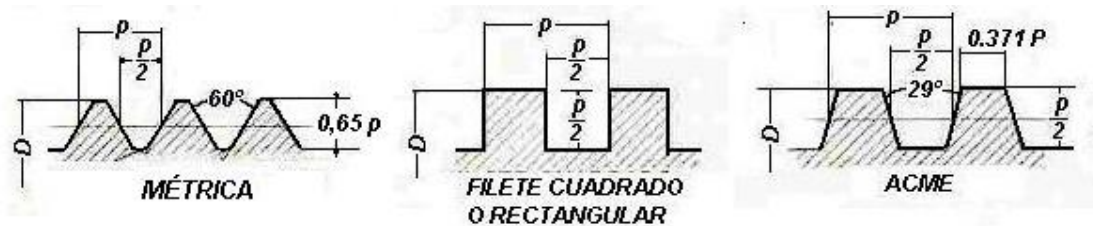


Figura 4.47: Perfiles roscados; Métrica unificada (izquierda), rectangular (centro), Acme (derecha).

Tanto el husillo trapezoidal como estas roscas vienen parametrizadas por:

- D (Diámetro mayor), D1 (Diámetro de paso), D2 (Diámetro menor) (mm).
- Ángulo de hélice.
- Paso (P) (mm).
- Posibilidad de roscas dobles (avance equivalente a dos veces el paso)

B) Tuerca collarín.

La tuerca collarín se caracteriza por su diámetro de collarín, D_c , donde se encuentran las uniones a la cama en este caso. Su roscado dependerá del tipo de varilla o husillo a utilizar y viceversa (Figura 4.48).

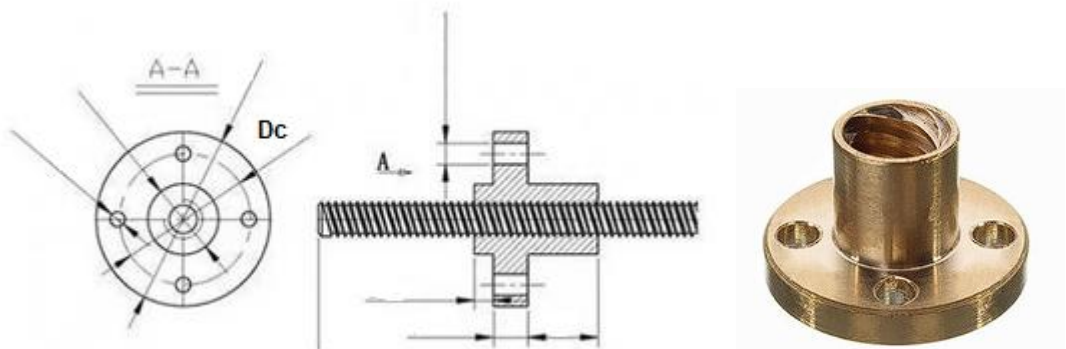


Figura 4.48: Tuerca collarín con rosca para husillo de métrica 8 mm.

- D_c (Diámetro de collarín) (mm).

Conocidos estos parámetros podemos pasar a las ecuaciones correspondientes. Para ello, se han utilizado las ecuaciones de tornillos de potencia del libro de *Diseño en ingeniería Mecánica de Shigley*. [22] En ellas se puede encontrar el par de potencia necesario para subir o bajar la carga.

Primero se deben analizar las fuerzas existentes entre el tornillo (el husillo o varilla roscada) y la tuerca (*Figura 4.49*) [22, fig. 8.5]:

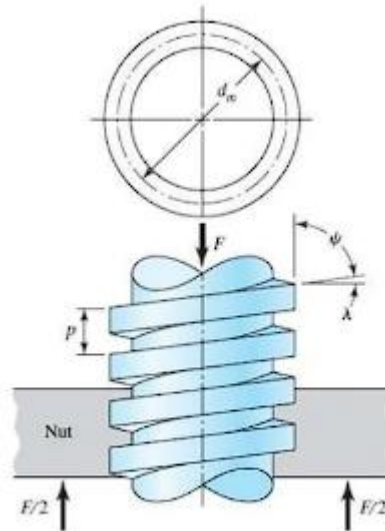


Figura 4.49: Parte de un tornillo de potencia. [22, fig. 8.5]

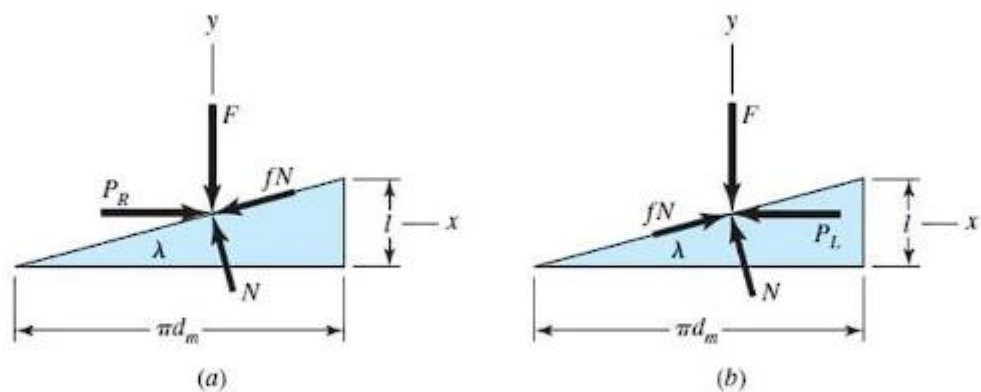


Figura 4.50: Diagrama de fuerzas al subir la carga (a) y al bajarla (b). [22, fig. 8.6].

En una vuelta de rosca se obtiene un diagrama de fuerzas para el caso de subida y bajada (*Figura 4.50*) [22, fig. 8.6], donde se hallan la fuerza axial del peso de la cama F , el factor de rozamiento f , la normal N y la fuerza para vencerlo P_R .

Para el primer caso de elevación de la carga [22, pp. 397, a]:

$$\sum F_x = P_R - N \operatorname{sen} \lambda - f N \cos \lambda = 0$$

$$\sum F_y = -F - f N \operatorname{sen} \lambda + N \cos \lambda = 0$$

Ec.1

Para el segundo caso, bajando la carga [22, pp. 397, b]:

$$\sum F_x = -P_L - N \operatorname{sen} \lambda + f N \cos \lambda = 0$$

$$\sum F_y = -F + f N \operatorname{sen} \lambda + N \cos \lambda = 0$$

Ec.2

Despejando P y eliminando N de los sistemas de ecuaciones, para subir la carga (Ec.3) y para bajarla (Ec.4) tenemos [22, pp. 398, c-d]:

$$P_R = \frac{F (\operatorname{sen} \lambda - f \cos \lambda)}{\cos \lambda - f \operatorname{sen} \lambda}$$

Ec.3

$$P_L = \frac{F (f \cos \lambda - \operatorname{sen} \lambda)}{\cos \lambda + f \operatorname{sen} \lambda}$$

Ec.4

Se divide el numerador y el denominador entre el coseno de λ y se utiliza la relación $\lambda = l / \pi d_m$ que obtenemos de la *Figura 4.30*. Donde l es el avance, que depende del paso y del tipo de rosca. Obteniendo así [22, pp. 398, e-f]:

$$P_R = \frac{F [(fl / \pi d_m) + f]}{1 - (fl / \pi d_m)}$$

Ec.5

$$P_L = \frac{F [f - (fl / \pi d_m)]}{1 - (fl / \pi d_m)}$$

Ec.6

Como el par de torsión es el producto de la fuerza P y el radio medio $d_m/2$, el par de elevación (Ec. 7) y de bajada (Ec.8) resulta [22, pp. 398, Ec. 8-1, Ec. 8-2]:

$$T_R = \frac{F d_m}{2} \left(\frac{l + \pi f d_m}{\pi d_m - fl} \right)$$

Ec.7

$$T_L = \frac{F d_m}{2} \left(\frac{\pi f d_m - l}{\pi d_m + fl} \right) \quad \text{Ec.8}$$

El par de torsión de elevación es el requerido para superar la fricción y elevar la carga, el de bajada es para superar la fricción de igual manera y bajarla. Sin embargo, hay que añadir un par torsional referente al rozamiento de la tuerca collarín [22, pp. 398, Ec. 8-4]:

$$T_c = \frac{F f_c d_c}{2} \quad \text{Ec.9}$$

Sumando éste al par de subida y bajada tenemos [22, pp. 399, Ec. 8-5, Ec. 8-6]:

$$T_R = \frac{F d_m}{2} \left(\frac{l + \pi f d_m}{\pi d_m - fl} \right) + \frac{F f_c d_c}{2} \quad \text{Ec.10}$$

$$T_L = \frac{F d_m}{2} \left(\frac{\pi f d_m - l}{\pi d_m + fl} \right) T_c + \frac{F f_c d_c}{2} \quad \text{Ec.11}$$

Estas ecuaciones son válidas para roscas cuadradas, pero en caso de roscas tipo Acme o unificadas hay que tener en cuenta que la fuerza normal N no es paralela al eje longitudinal del tornillo en un ángulo α (mitad del ángulo de la rosca). Por tanto, si se divide entre $\cos \alpha$ donde interviene la fricción f .

$$T_R = \frac{F d_m}{2} \left(\frac{l + \pi f d_m \sec \alpha}{\pi d_m - fl \sec \alpha} \right) + \frac{F f_c d_c}{2} \quad \text{Ec.12}$$

$$T_L = \frac{F d_m}{2} \left(\frac{\pi f d_m \sec \alpha - l}{\pi d_m + f \sec \alpha l} \right) T_c + \frac{F f_c d_c}{2} \quad \text{Ec.13}$$

Estas ecuaciones son las que definirán qué par necesitarán los motores paso a paso para poder subir o bajar la plataforma de fabricación. En la comparativa del par motor calculado y el que puede dar el motor realmente hay que tener en cuenta que cada motor paso a paso cuenta con una curva de trabajo que relaciona el par motor (Ncm) en función de la velocidad de giro (rpm).

La velocidad lineal para la cama resultará del producto de la velocidad de giro del motor por el paso del husillo o varilla roscada $V = n \cdot \text{paso}$.

4.5.3. PANDEO EN HUSILLOS.

Los husillos o varillas roscadas con los que trabaje la impresora pueden verse comprometidos por la compresión a la que están sometidos, ya que tienen que soportar el peso de la cama y su subida y bajada. Esto puede derivar en el pandeo de los mismos y por ello es necesario plantear un estudio teórico que ayude a su selección.

Este pandeo puede causar:

al movimiento de la cama con un vaivén y por consiguiente afectar al nivelado de la misma, resultando en impresiones con defectos por el desnivelado (conocido como *warping*), incorrecto recorrido en la deposición de capas de material e incluso falta de adhesión entre ellas.

El pandeo del husillo o varilla roscada en el eje Z dependerá del tipo de fijación respecto al motor, tuerca y extremo final del husillo, quedando en cuatro configuraciones:

A. Empotrado libre.

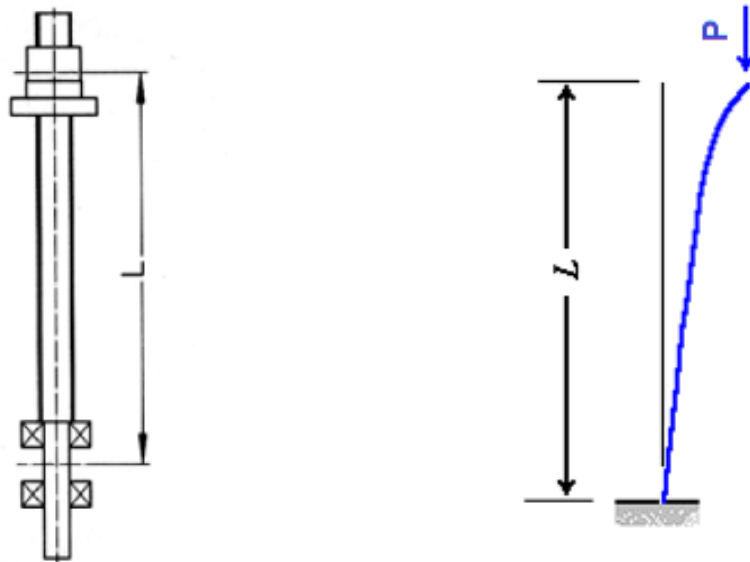


Figura 4.51: Fijación de husillo o varilla roscada empotrada libre; el husillo se encuentra empotrado por un extremo en el motor, con la tuerca collarín libre a una distancia L.

En este caso se define una constante C que depende de las condiciones en los extremos de $C = \frac{1}{4}$ (Figura 4.51).

B. Apoyado - Apoyado.

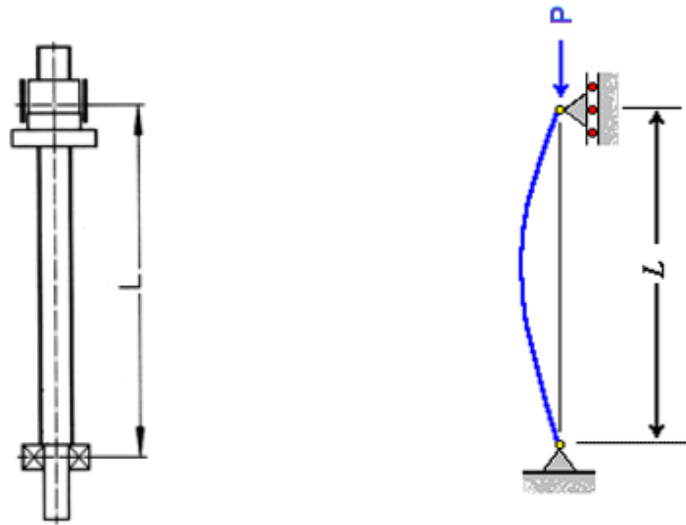


Figura 4.52: Fijación de husillo o varilla roscada apoyado - apoyado; el husillo se encuentra apoyado por un extremo en el motor, con la tuerca collarín apoyada a una distancia L .

En este caso se define una constante C que depende de las condiciones en los extremos de $C = 1$ (Figura 4.52).

C. Empotrado - Apoyado.

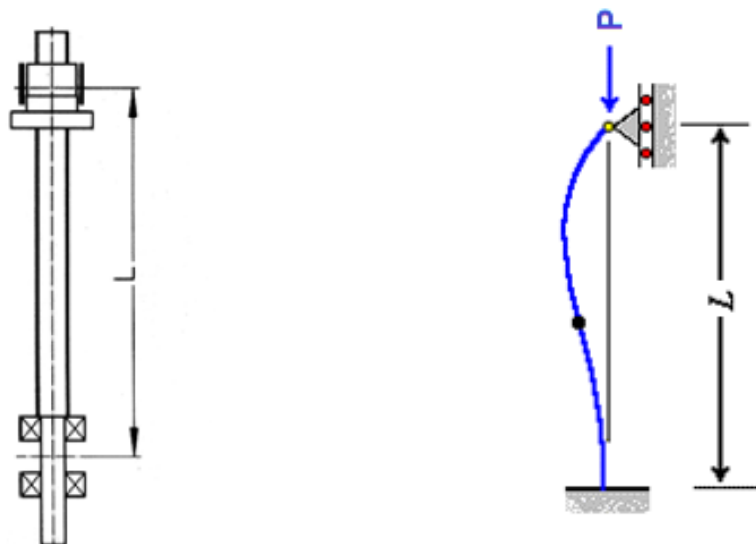


Figura 4.53: Fijación de husillo o varilla roscada empotrado - apoyado; el husillo se encuentra empotrado por un extremo en el motor, con la tuerca collarín apoyada a una distancia L .

En este caso se define una constante C que depende de las condiciones en los extremos de $C = 2$ (Figura 4.53).

D. Empotrado - apoyado - empotrado.

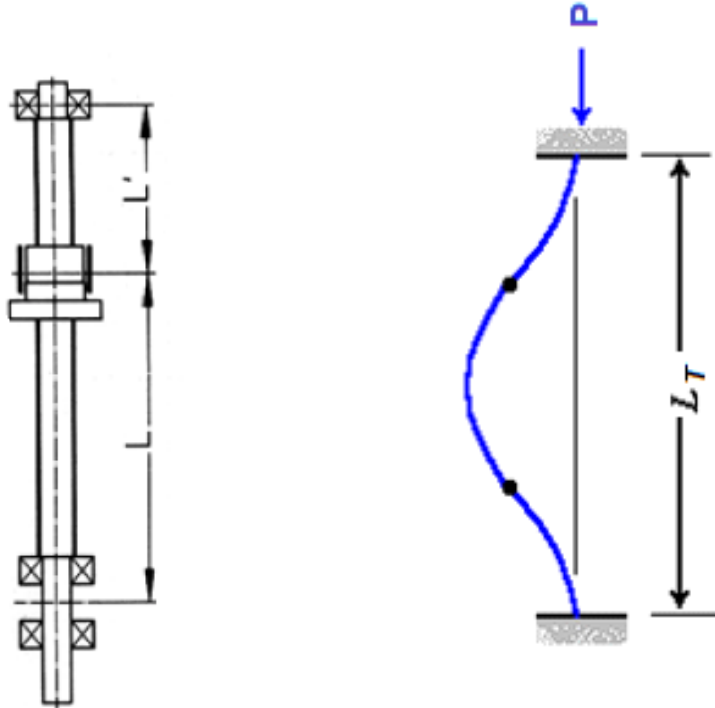


Figura 4.54: Fijación de husillo o varilla roscada empotrado – apoyado - empotrado; el husillo se encuentra empotrado por un extremo en el motor, con la tuerca collarín apoyada a una distancia L y un empotramiento del extremo del husillo a una distancia L' .

En este caso se define una constante C que depende de las condiciones en los extremos de $C = 4$. Para L' tenemos $C' = C - 2$ (Figura 4.54).

Una vez conocidas las flexiones que puede producir la carga P (el peso de la cama), con el uso de las ecuaciones encontradas en *Diseño en ingeniería Mecánica de Shigley* [22, pp. 175] se puede conocer la carga crítica a partir de la cual se produce la deformación por flexión o pandeo para el caso 2. [22, pp. 176, Ec. 4-43]

$$P_{CR} = \frac{\pi^2 E I}{l^2} \quad \text{Ec.14}$$

Esta, también es conocida como *fórmula de Euler para columnas*. Donde E es el módulo de Young o elasticidad que depende del material (N/mm^2) e I es el momento de

inercia del cuerpo (mm^4). Ésta puede extenderse para el resto de casos descritos de manera que [22, pp. 176, Ec. 4-43]:

$$P_{CR} = \frac{C \pi^2 E I}{l^2} \quad \text{Ec.15}$$

Conociendo los parámetros de la varilla roscada o husillo y cuál de los cuatro casos anteriores se tiene, la carga crítica puede calcularse y ser comparada con el peso que debe aguantar (P). Si $P > P_{CR}$, existirá pandeo en ellas. [22, pp. 176]

4.5.4. CICLOS DE VIDA EN HUSILLOS.

Los husillos o varillas roscadas utilizadas en la impresora están sometidas a cargas axiales constantes, por lo que existe un esfuerzo a fatiga que puede ser interesante a conocer en vistas a su ciclo de vida y rotura.

En este caso los esfuerzos cortantes en los husillos se consideran nulos, debido al uso de rodamientos y guías que reducen el esfuerzo en el husillo a esfuerzos axiales. Una carga axial que varía su posición en función de la longitud de la cama al acople del motor (*Figura 4.55*).

La geometría en este caso no es compleja ni contiene concentradores de tensión. Consideramos el caso de un eje sometido a cargas axiales.



Figura 4.55: Cargas axiales en husillo o varilla roscada.

Para el cálculo del límite de resistencia a fatiga, se utilizan las ecuaciones descritas en *Diseño en ingeniería Mecánica de Shigley* [22, pp. 269]. Donde tenemos que el límite para una muestra de viga rotativa S_e' se define como [22, pp. 175, Ec. 6-8]:

$$S_e' = 0.5 S_{ut} \quad \text{Ec.16}$$

Donde S_{ut} es la resistencia a la tensión mínima, valor que dependerá del material y del tipo de procesamiento, encontrado en *Diseño en ingeniería Mecánica de Shigley Anexos Tabla A.22*. [22, pp. 1007]

Existe una región de fatiga que va desde $N = 1$ ciclo hasta casi 10^3 ciclos. En esa región la resistencia a fatiga S_f es un poco inferior que la resistencia a la tensión S_{ut} . En el caso de altos ciclos, el caso se extendería de 10^3 hasta 10^6 ciclos. Esto lo podemos comprobar en la *Figura 4.56*. [22, pp. 262, fig. 6-10]

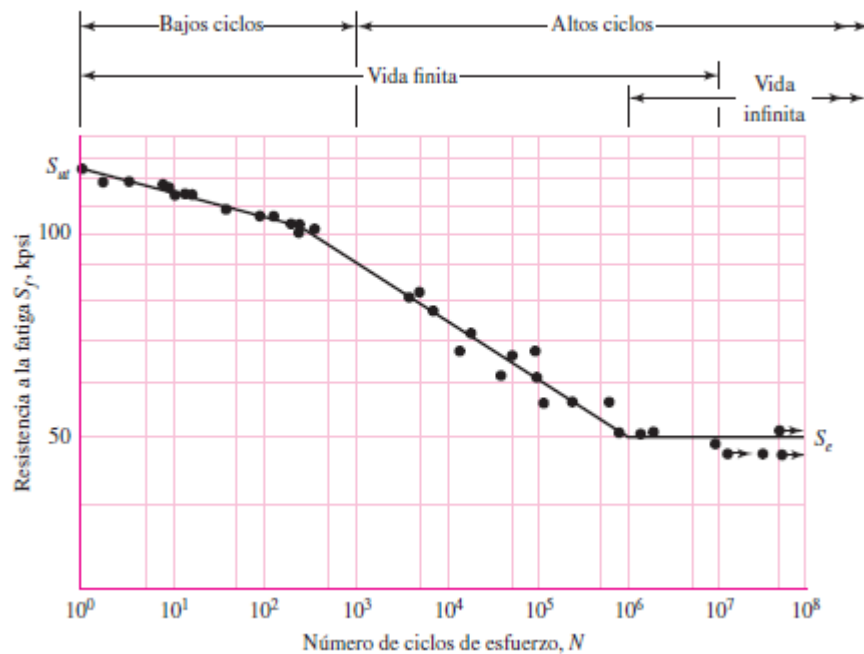


Figura 4.56: Diagrama S – N graficados a partir de ensayos de fatiga axial de material de acero UNS G41300. [22, pp. 262, fig. 6-10]:

Para conocer el número de ciclos, se utiliza la expresión que relaciona la resistencia a fatiga S_f con el número de ciclos N hasta la rotura o fallo y las constantes a y b , definidas por los puntos 10^3 para $(S_f)_{10^3}$ y 10^6 para $(S_f)_{10^6} = f S_{ut}$. Donde f es un factor de resistencia a la fatiga que puede conocerse en la *Figura 4.57*. [22, pp. 271, Ec. 6-13, Ec. 6-14, Ec. 6-15]

$$S_f = a N^b$$

Ec.18

$$a = \frac{(f S_{ut})^2}{S_e} \quad \text{Ec.19}$$

$$b = -\frac{1}{3} \log \left(\frac{f S_{ut}}{S_e} \right) \quad \text{Ec.20}$$

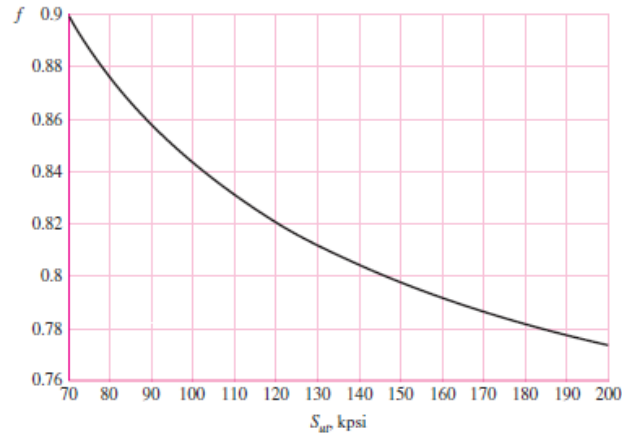


Figura 4.57: Fracción de resistencia a la fatiga, f , de S_{ut} a los 10^3 ciclos para $S_e = S_e' = 0.5 S_{ut}$. Del libro [22, pp. 272, fig. 6.18]

Si se realiza un esfuerzo completamente invertido σ_{inv} , haciendo que $S_f = \sigma_{inv}$ en la Ec. 18 tenemos que el número de ciclos al fallo se expresa como [22, pp. 272, Ec. 6-16]:

$$N = \left(\frac{\sigma_{inv}}{a} \right)^{\frac{1}{b}} \quad \text{Ec.21}$$

Se debe tener en cuenta que para el cálculo de la tensión σ_{inv} solo te tendrían en cuenta cargas axiales a compresión, por lo que $\sigma_{inv} = F/A$. Donde F sería el peso que tendría que aguantar el husillo y A la sección donde se produce la compresión. [22, pp. 272]

4.5.5. SISTEMA DE DESPLAZAMIENTOS EN X-Y.

En la impresora FDM CORE XY el fusor se desplaza en las coordenadas X e Y. Para ello, es acoplado a un carro al que también podría acoplarse el sistema de extrusión.

Este carro se mueve en las direcciones X e Y gracias a las guías que determinan el desplazamiento en ambos ejes, con el sistema de guiado del eje X montado sobre el sistema en el eje Y. De manera que visto desde la planta superior:

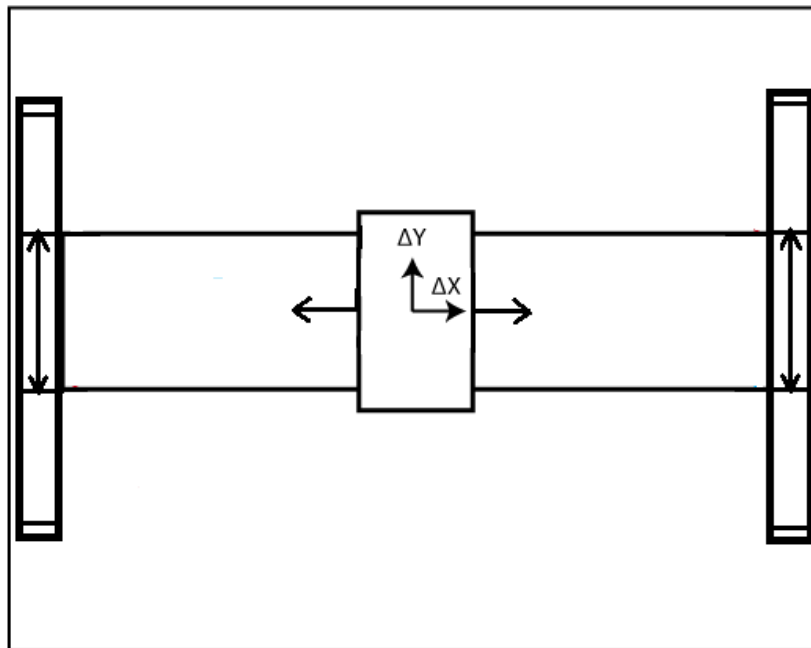


Figura 4.58: Sistema de guiado del carro fusor-extrusor en los ejes X e Y

Para poder dotar de movimiento al carro y lleve a cabo el desplazamiento por el guiado descrito en la *Figura 4.58*, el sistema CORE XY utiliza un sistema de correas dentadas que tiran del carro por el accionamiento de dos motores paso a paso con poleas dentadas y el redireccionado de las correas utilizando poleas de igual manera.

El sistema se basa en la combinación de dos circuitos de correas, cada una corresponde a un motor. En el caso de que solo trabaje un motor, el movimiento obtenido será a 45° en X/Y, en el resto de casos trabajan los dos motores a la vez.

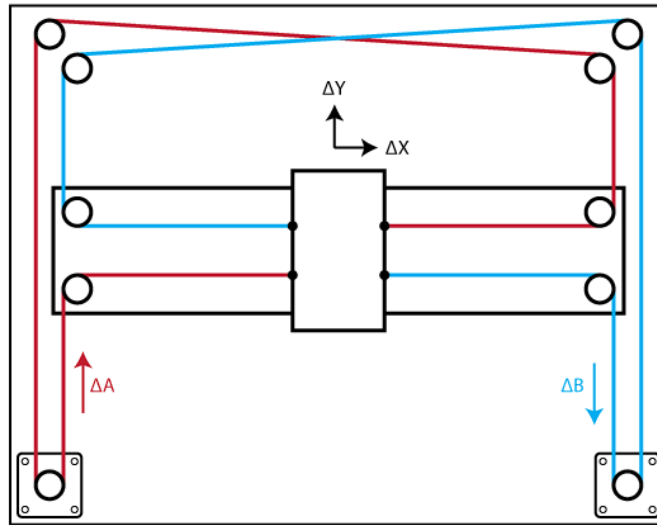


Figura 4.59: Sistema CORE XY

Como puede verse en la *Figura 4.59*, existen dos circuitos de correas dentadas simétricos (rojo y azul) que estarían a diferentes alturas para no colisionar. En ambos casos la correa se encuentra amarrada a un lado del carro del fusor, continuando siendo redireccionada por una polea hasta un motor donde es transmitido el movimiento giratorio pasando a lineal, volviendo al otro lado del carro fusor siendo redireccionada por otras poleas. La combinación de ambos sistemas resulta en un mecanismo con dos grados de libertad que permite el posicionamiento del fusor en el plano.

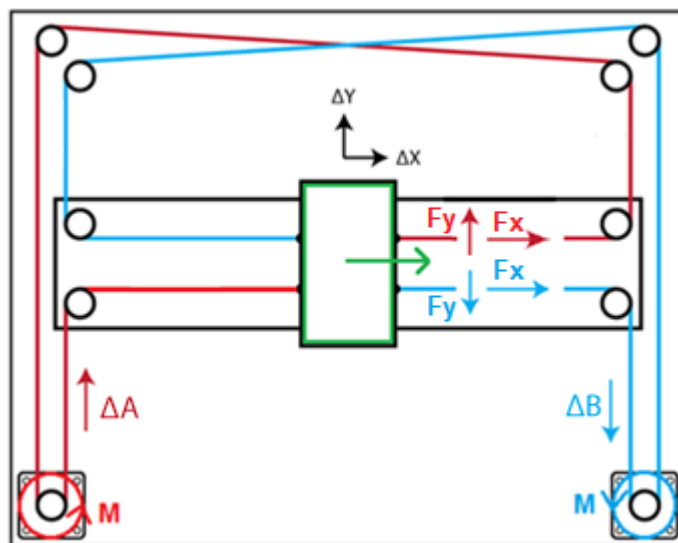


Figura 4.60: Sistema de fuerzas a tracción en las correas del sistema CORE XY para un desplazamiento horizontal en X a la derecha.

En la *Figura 4.60* se plantea el sistema de fuerzas para el caso de desplazamiento solo en el eje X, donde ambos motores dan el mismo par M . Se puede ver que, si se realiza una sumatoria de fuerzas, en Y se anulan las componentes verticales y en X se suman, obteniendo mayor fuerza en el desplazamiento X.

Cambiando el sentido de giro de los motores a horario, cambiamos el sentido de desplazamiento del carro a la izquierda en X, como vemos en la *Figura 4.61*; De manera análoga, realizando una sumatoria de fuerzas en ambos ejes, tenemos anulación de fuerzas en Y, y suma de fuerzas en X, resultando en un desplazamiento a la izquierda en el eje X.

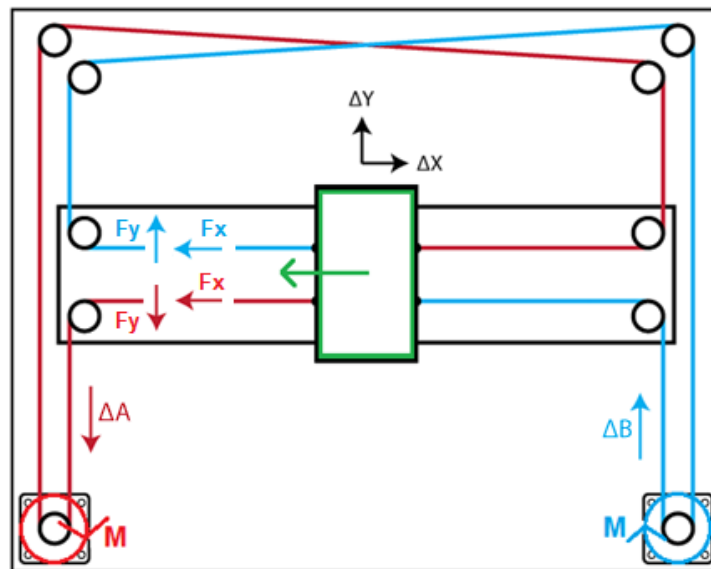


Figura 4.61: Sistema de fuerzas en el sistema CORE XY para un desplazamiento horizontal en X a la izquierda.

Si los dos motores giraran en sentido contrario, la dirección del desplazamiento pasaría a ser en Y. Esto puede comprobarse en la *Figura 4.62*. Esta vez, en el sumatorio de fuerzas son las componentes en Y las que se suman y las de X las que se anulan.

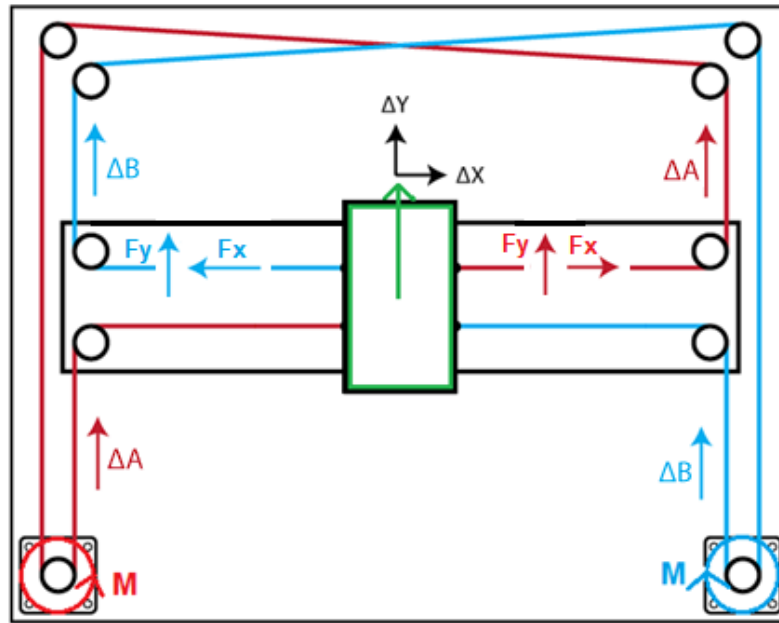


Figura 4.62: Sistema de fuerzas en el sistema CORE XY para un desplazamiento en Y hacia arriba.

Cambiando el sentido de ambos, se consigue un desplazamiento vertical hacia abajo, como puede verse en la siguiente Figura 4.63.

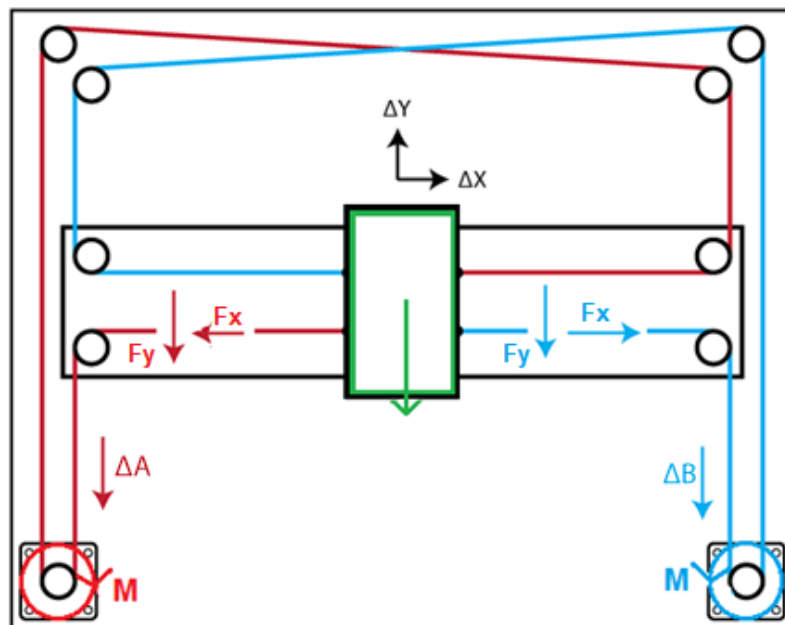


Figura 4.63: Sistema de fuerzas en el sistema CORE XY para un desplazamiento en Y hacia abajo.

En el caso de que trabaje un solo motor, el resultado será de una fuerza en la componente Y de igual magnitud a otra en la componente X formando una resultante diagonal a 45° de ambas, como se ve en la *Figura 4.64*.

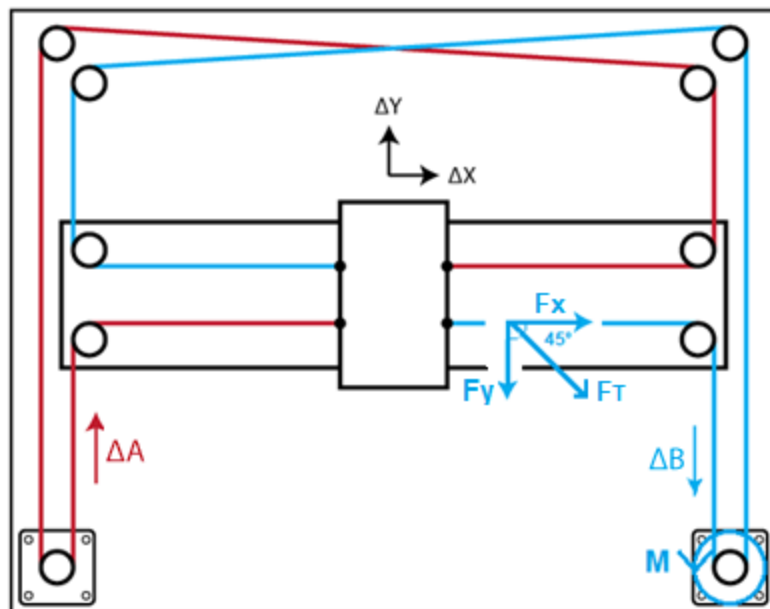


Figura 4.64: Sistema de fuerzas en el sistema CORE XY para un desplazamiento a 45° donde solo trabaja un motor

Si cambiase el sentido de giro del motor de la *Figura 4.64*, el sentido de la resultante sería el opuesto. Y, por último, si fuese el otro motor el que trabajara, la resultante estaría a 90° de la que se ve en la *Figura 4.65*:

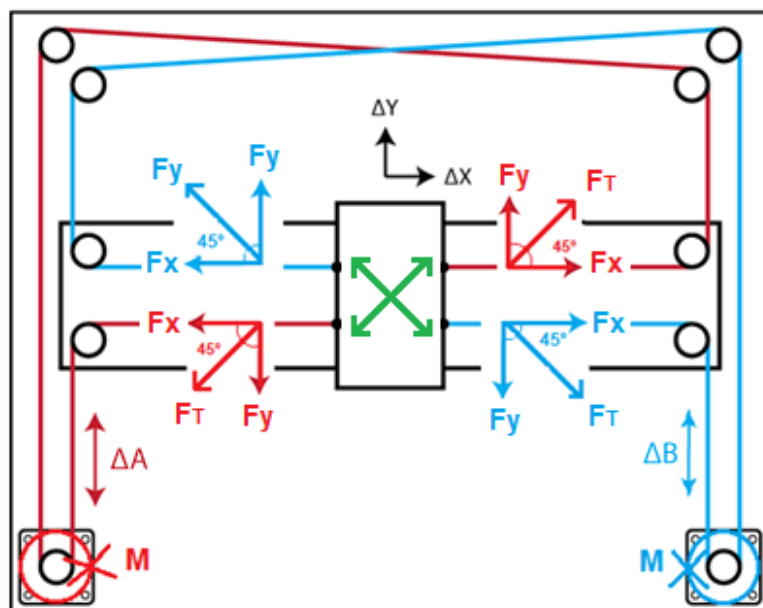


Figura 4.65: Sistema de fuerzas en el sistema CORE XY para un desplazamiento a 45° donde solo trabaja un motor en todas las direcciones y sentidos.

Como se puede ver, el sistema en general trabaja en base a la compensación de fuerzas. El componente que más trabaja son las correas, que tienen que aguantar las mismas. Es sumamente importante que su alineación sea lo más perfecta posible para que haya una correcta compensación en el sistema de fuerzas.

A. Ecuaciones de movimiento del sistema.

Para poder llevar a la computación este sistema, han de plantearse las ecuaciones de movimiento que permitan conocer los desplazamientos en el eje X/Y. Para ello hay que ayudarse de la Figura 4.54, donde se ven dos circuitos de correas A y B simétricos entre sí, ambos unidos al carro de extrusión, desplazados por un motor en sentido de giro antihorario y redirigidos por poleas para completar el circuito.

Teniendo en cuenta el origen X/Y establecido en la Figura 4.54, la distancia de correa desplazada por el motor en el caso de la correa A (ΔA) resulta en la suma de las distancias en X e Y a la que se quiere llevar el carro extrusor desde el origen. En el caso de la correa B la distancia desplazada por el motor (ΔB) sería la resta del desplazamiento en X menos la de Y por ir en sentido contrario a la del origen de coordenadas en Y establecido.

$$\Delta A = \Delta X + \Delta Y$$

Ec.22

$$\Delta B = \Delta X - \Delta Y$$

Ec.23

Con la Ec.22 y la Ec.23, se pueden deducir los desplazamientos en X e Y que precisa el software para las órdenes de movimiento. Para ello se despeja ΔX de ambas ecuaciones:

$$\Delta X = \Delta A - \Delta Y$$

Ec.24

$$\Delta X = \Delta B + \Delta Y$$

Ec.25

Igualando ambas ecuaciones y resolviendo se obtiene ΔY :

$$\Delta A - \Delta Y = \Delta B + \Delta Y$$

Ec.26

$$\Delta A - \Delta B = 2 \Delta Y$$

Ec.27

$$\Delta Y = \frac{1}{2}(\Delta A - \Delta B)$$

Ec.28

Sustituyendo la Ec.28 en la ecuación Ec.25 se obtiene ΔX :

$$\Delta X = \frac{1}{2}(\Delta A + \Delta B)$$

Ec.29

Estas ecuaciones son válidas para cualquier caso de desplazamientos y su programación no resulta complicada puesto que basta con introducirlas tal cual se han deducido.

Por ejemplo, en la *Figura 4.66*; si se estableciera una referencia para el fusor (0,0) y se quisiera llevar a las coordenadas (500, 260), la correa roja tendría que mover una distancia de:

$$\Delta A = 500 \text{ mm} + 260 \text{ mm} = 760 \text{ mm} (\uparrow).$$

$$\Delta B = 500 \text{ mm} - 260 \text{ mm} = 240 \text{ mm} (\downarrow).$$

$$\Delta X = \frac{1}{2} (760 \text{ mm} + 240 \text{ mm}) = 500 \text{ mm} (\rightarrow).$$

$$\Delta Y = \frac{1}{2} (760 \text{ mm} - 240 \text{ mm}) = 260 \text{ mm} (\uparrow).$$

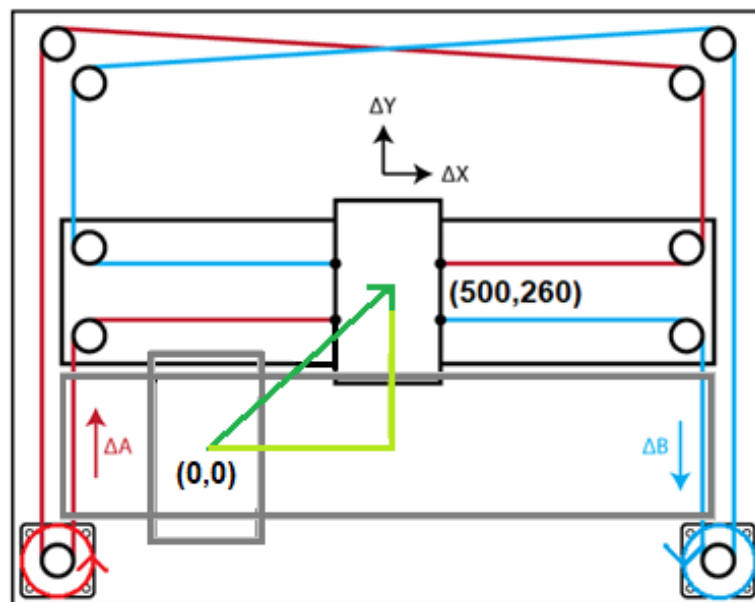


Figura 4.66: Ejemplo de aplicación de ecuaciones de movimiento de sistema CORE XY.

4.5.6. PATINES Y CARRILES GUÍA PARA DESPLAZAMIENTOS X-Y.

Una guía lineal permite el movimiento lineal con la ayuda de elementos rodantes. Es decir, el uso de bolas entre el carril y el patín. Así se puede llegar a alcanzar un movimiento lineal bastante preciso.

Para este proyecto se van a estudiar los parámetros de los patines con referencia a las guías Hiwin con ayuda del manual proporcionado por *Tecnopower; Guías lineales de bolas y rodillos*. [23]

Existen varias series de modelos a escoger, en función de las necesidades de uso, del tamaño y número de patines, la carga máxima que aguanten y su vida útil. En este caso, los factores principales que se tendrán en cuenta para la elección son; las capacidades de carga, la vida útil, la fricción y lubricación y coste.

A) Capacidades de carga.

- Capacidad de carga estática C_0 .

Corresponde a una carga estática que produce una deformación permanente de 0,0001 por el diámetro de la bola en el punto de contacto sometido a la mayor carga. Cada modelo tiene su valor tabulado. La carga estática máxima a la que someta la guía no debe superar la capacidad de carga estática. [23, pp. 6, párr. 1]

- Momento estático admisible M_0 .

Es el par que corresponde a la mayor carga posible de piezas móviles por la capacidad de carga estática en una dirección y magnitud definidas. En estos sistemas de movimiento lineal, el momento estático admisible se define en tres direcciones; M_x , M_y y M_z (Figura 4.67). [23, pp. 6, párr. 2]

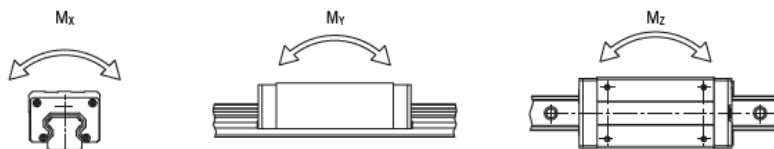


Figura 4.67: Momentos en las tres direcciones aplicados a un patín Hiwin. [23, pp. 6]

- Seguridad estructural estática.

Depende de las condiciones ambientales y de funcionamiento. Se debe de tener en cuenta para sistemas de railes en reposo o movimiento lento. Es importante en vistas a cargas de impacto (ver *Tabla 4.4*). [23, pp. 6, párr. 3]

La seguridad estructural estática F_{sl} se calcula como [23, pp. 6, párr. 3, F 2.1]:

$$F_{SL} = \frac{C_0}{P}; F_{SM} = \frac{M_0}{M}; \quad \text{Ec.30}$$

Donde:

F_{SL} → Seguridad estructural estática.

F_{SM} → Factor de seguridad estática para carga de par.

C_0 → Capacidad de carga estática (N).

M_0 → Momento estático admisible (Nm).

P → Carga de trabajo estática equivalente (N).

M → Momento estático equivalente (Nm).

Carga	$f_{SL}; f_{SM}$ (mín.)
Carga normal	1,25 – 3,00
Con impacto y vibración	3,00 – 5,00

Tabla 4.4: Seguridad estructural estática. [23, pp. 6, párr. 3, T 2.1]

- Capacidad de carga dinámica C_{dyn} .

Es la carga definida (en dirección y magnitud) con la que la guía lineal alcanza una vida útil nominal de 50 km de distancia recorrida para carriles de la serie HG, QH, EG, QE, WE, MG, MG-O, ó 100 km para la serie RG. Este parámetro viene tabulado junto al resto de parámetros según el modelo. Es utilizado para calcular la vida útil de una guía concreta. [23, pp. 6, párr. 4]

B) Cálculo de vida útil.

- Vida útil.

La carga continua y repetida en las bolas sobre una guía debido a las continuas trayectorias puede producir signos de fatiga en las mismas. Esto puede resultar en un deterioro conocido como corrosión por picadura. La vida útil de una guía lineal se define como la distancia recorrida hasta la aparición de este deterioro. [23, pp. 7, párr. 1]

- Vida útil nominal (L).

Es una estimación aproximada de la vida útil de una guía lineal. Corresponde a la distancia total recorrida alcanzada por un grupo de guías idénticas sometidas a las mismas condiciones sin fallar. [23, pp. 6, párr. 2]

La vida útil nominal L (km), se puede calcular utilizando la capacidad de carga dinámica C_{dyn} (N) y la carga dinámica equivalente P (N).

Para series HG, QH, EG, QE, WE, MG, MG-O [23, pp. 7, F 2.2]:

$$L = \left(\frac{C_{dyn}}{P} \right)^3 \times 50 \text{ km} \quad \text{Ec.31}$$

Para series RG, QR [23, pp. 7, F 2.3]:

$$L = \left(\frac{C_{dyn}}{P} \right)^{10/3} \times 100 \text{ km} \quad \text{Ec.32}$$

- Factores que afectan a la vida útil nominal.

A parte de los factores anteriores, se han de tener en cuenta un factor de dureza F_h , un factor de temperatura y un factor de carga.

Las guías lineales tienen una dureza de 58 HRC. Se aplica un factor de dureza de 1. Las series pueden diferir en algunos casos, si no se alcanza la dureza indicada, se reduce la carga permitida. En este caso hay que multiplicar la carga dinámica y estática por el factor de dureza F_h obtenido de la *Figura 4.68*. [23, pp. 7, párr. 5]

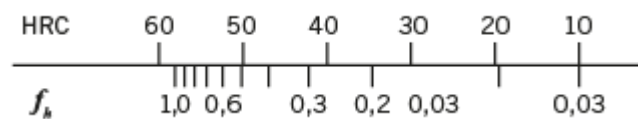


Figura 4.68: Coeficientes de dureza en función de dureza HRC. [23, pp. 6]

Las guías lineales generalmente pueden trabajar desde los -10° a los 80°C . A temperaturas mayores a los 150°C deben utilizarse guías con tapa. Si la temperatura de una guía supera los 100°C se reducen la carga permitida y la vida útil. Del mismo modo, las capacidades de carga estática y dinámica habrían de multiplicarse por el factor de temperatura F_t obtenido de la *Figura 4.69*. [23, pp. 7, párr. 6]

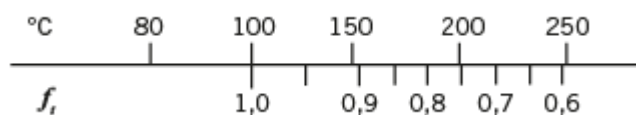


Figura 4.69: Coeficientes de temperatura en función de la temperatura en °C. [23, pp. 7]

El último factor a tener en cuenta es el de carga F_w (Tabla 4.5), que es multiplicado por la carga dinámica equivalente. Incluye los efectos de vibraciones, impactos y alta velocidad. [23, pp. 8, párr. 1]

Tipo de carga	Velocidad de desplazamiento	f_w
Sin impacto y vibración	hasta 15 m/min	1,0 – 1,2
Carga normal	de 15 m/min hasta 60 m/min	1,2 – 1,5
Pocos impactos	de 60 m/min hasta 120 m/min	1,5 – 2,0
Con impactos y vibración	Superior a 120 m/min	2,0 – 3,5

Tabla 4.5: Factor de carga en función del tipo de carga y la velocidad de desplazamiento. [23, pp. 8, T 2.2]

- Ecuaciones de cálculo de vida útil nominal.

Series HG, QH, EG, QE, WE, MG, MG-O [23, pp. 8, F 2.4]:

$$L = \left(\frac{f_h f_t C_{dyn}}{f_w P} \right)^3 \times 50 \text{ km} \quad \text{Ec.33}$$

Series RG, QR [23, pp. 8, F 2.5]:

$$L = \left(\frac{f_h f_t C_{dyn}}{f_w P} \right)^{10/3} \times 100 \text{ km} \quad \text{Ec.34}$$

Donde:

- $L \rightarrow$ Vida útil nominal (km).
- $F_h \rightarrow$ Factor de dureza.
- $C_{dyn} \rightarrow$ Capacidad de carga dinámica (N).
- $F_t \rightarrow$ Factor de temperatura.
- $P \rightarrow$ Carga dinámica equivalente (N).
- $F_w \rightarrow$ Factor de carga.

- Ecuaciones de cálculo de vida útil nominal en horas.

En este caso, se utiliza la velocidad y la frecuencia de movimiento para obtener las horas a partir de las Ec. 29 y Ec. 30.

Series HG, QH, EG, QE, WE, MG, MG-O [23, pp. 8, F 2.6]:

$$L_h = \frac{L}{v \times 60} = \frac{\left(\frac{C_{dyn}}{P}\right)^3 \times 50.000}{v \times 60} \quad \text{Ec.35}$$

Series RG, QR [23, pp. 8, F 2.7]:

$$L_h = \frac{L}{v \times 60} = \frac{\left(\frac{C_{dyn}}{P}\right)^{3/10} \times 100.000}{v \times 60} \quad \text{Ec.36}$$

Donde:

$L_h \rightarrow$ Vida útil (h).

$L \rightarrow$ Vida útil nominal (m).

$v \rightarrow$ Velocidad (m/min).

$C_{dyn}/P \rightarrow$ Proporción entre capacidad de carga y carga.

C) Fricción y lubricación.

- Resistencia a la fricción.

El uso de elementos rodantes en la guía lineal reduce la fricción del rodillo de los elementos rodantes. Como resultado se obtiene un coeficiente de fricción bajo. Generalmente, el coeficiente de fricción es de 0,004 según la serie. Si la carga es del 10% o menor de la carga dinámica, la mayor parte de la fricción estaría causada por el rascador, la grasa y la fricción con los elementos rodantes. Por el contrario, la carga proporcionaría la mayor parte de resistencia de fricción. [23, pp. 11, párr. 1, F 2.8]

$$F = \mu W + S \quad \text{Ec.37}$$

Donde:

$F \rightarrow$ Fuerza de fricción (N).

$S \rightarrow$ Resistencia a la fricción (N).

$\mu \rightarrow$ Coeficiente de fricción.

$W \rightarrow$ Carga (N).

- Lubricación.

En las guías lineales, es necesario un suministro de lubricación. Pueden usarse tanto aceite como grasa. Hay que tener en cuenta que la suciedad puede acumularse y debe eliminarse periódicamente. [23, pp. 11, párr. 2]

4.5.7. COMPRESIÓN EN MUELLES DE LA CAMA.

La cama de las máquinas de impresión 3D deben estar niveladas. Uno de los métodos más utilizados es la nivelación en varios puntos de apoyo mediante la combinación de un tornillo, un muelle y una tuerca (*Figura 4.7*). El nivelado se caracteriza por un apriete de la cama al muelle (trabajando a compresión) mediante el tornillo y la tuerca pudiendo nivelar los puntos de apoyo mediante el apriete y la elasticidad del muelle.

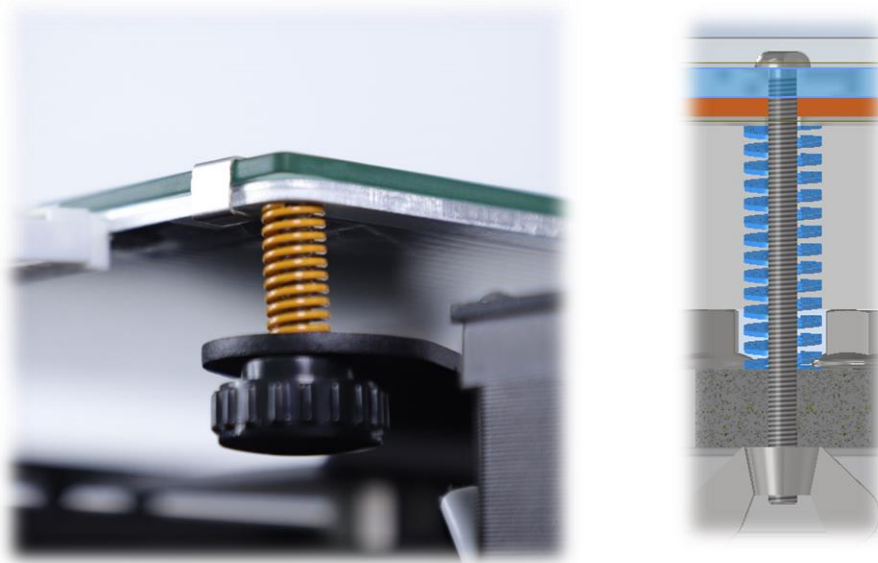


Figura 4.70: Sistema de nivelación de cama mediante tornillo, resorte y tuerca.

Los muelles utilizados en la cama deberán aguantar el peso de la misma y el de las piezas que se impriman sobre ella con tal de que la distancia comprimida del muelle (deflexión) sea la mínima posible, de esta manera el rango de nivelación será mayor y mejor.

Para conocer la deflexión del muelle con respecto al peso de la cama y de la pieza se plantea un supuesto con muelles helicoidales de sección rectangular plana (sección transversal paralela a la dirección de la carga axial). La teoría se deduce de la Norma ISO 7906, Part IV Helical Compression Springs Design Standard. [24]

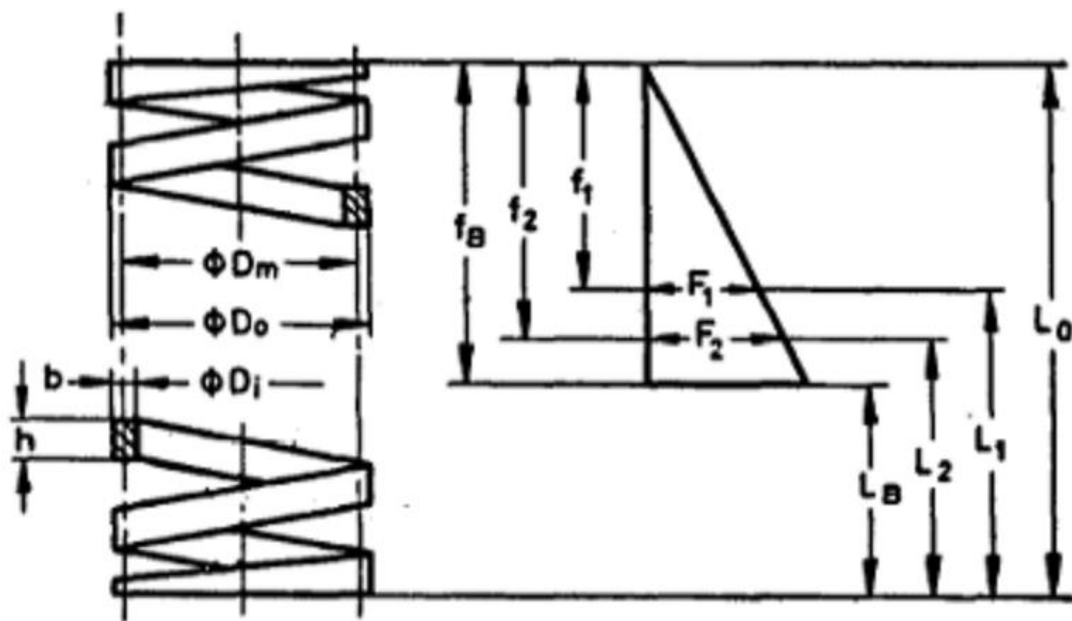


Figura 4.71: Esquema de muelle de sección helicoidal.[24]

Los parámetros a tener en cuenta para la Figura 4.71 y las ecuaciones son:

- $b \rightarrow$ Sección transversal perpendicular al eje del muelle (mm).
- $h \rightarrow$ Sección transversal paralela al eje del muelle (mm).
- $f_1, f_2 \rightarrow$ Deflexiones del muelle correspondientes a las cargas F_1 y F_2 (mm).
- $f_b \rightarrow$ Deflexión del muelle correspondiente a F_b (mm). Donde $f_b = L_0 - L_B$.
- $i_f \rightarrow$ Número de vueltas o bobinas del muelle que trabajan a compresión.
- $i_g \rightarrow$ Número de vueltas o bobinas del muelle totales.
- $W \rightarrow$ Relación de bobinado. Donde $w = D_m / b$.
- $D_o \rightarrow$ Diámetro externo del muelle (mm).
- $D_i \rightarrow$ Diámetro interno del muelle (mm).
- $D_m \rightarrow$ Diámetro medio o principal del muelle (mm).
- $F_1, F_2, \text{ etc} \rightarrow$ Cargas axiales (N) correspondientes a las longitudes de carga $L_1, L_2, \text{ etc}$.
- $G \rightarrow$ Módulo de rigidez (N/mm^2).
- $L_0 \rightarrow$ Longitud libre del muelle (mm).
- $L_1, L_2 \rightarrow$ Longitudes del muelle con carga (mm).
- $L_B \rightarrow$ Longitud del muelle a máxima compresión (mm).
- $R_s \rightarrow$ Tensión a compresión bajo la carga F (N/mm^2).

$S_c \rightarrow$ Cantidad de carga necesaria para comprimir el muelle una distancia específica (N/mm). Donde $S_c = \Delta F / \Delta f$.

$\varepsilon \rightarrow$ Coeficiente de deflexión, dependiente de la relación de la sección rectangular en b/h o h/b .

$\Psi \rightarrow$ Coeficiente de tensión a compresión, dependiente de la relación w y de la relación de la sección rectangular b/h o h/b .

Las ecuaciones de la tensión a compresión bajo la carga axial a la que se somete el resorte (R_s) y la deflexión del mismo (f) son las siguientes [24]:

$$R_s = \frac{\Psi D_m}{b \cdot h \cdot \sqrt{b \cdot h}} F$$

Ec.38

$$f = \frac{\varepsilon \cdot D_m^3 \cdot I_f}{b^2 \cdot h^2 \cdot G} F$$

Ec.39

Para conocer los valores de Ψ , se consulta la *Figura 4.72* relacionando b/h con la relación de bobinado w . [24]

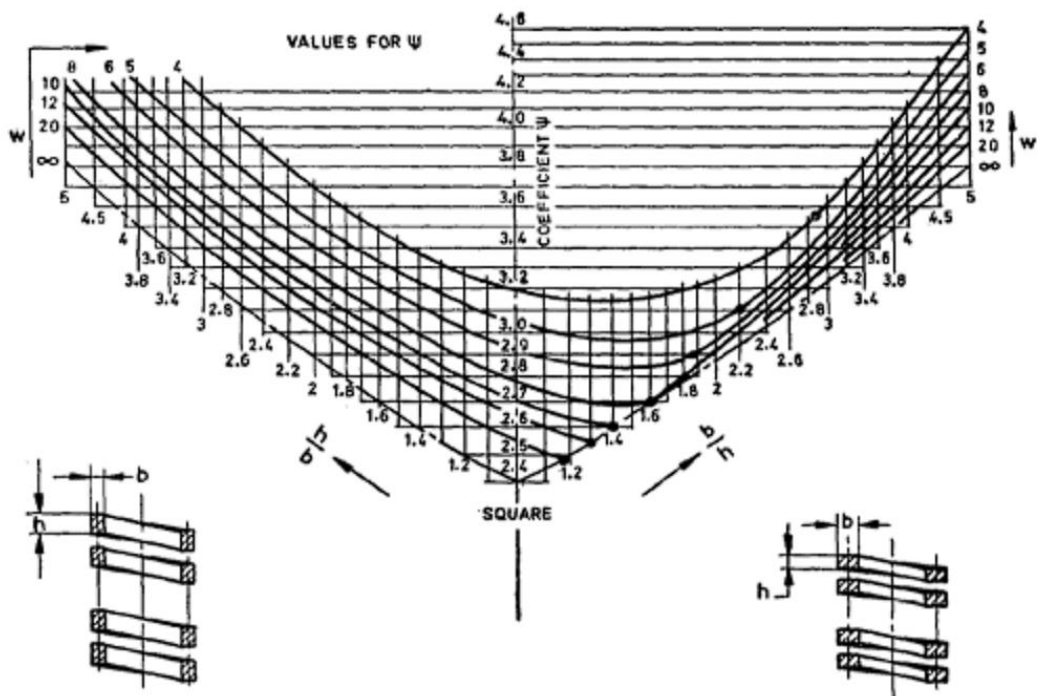


Figura 4.72: Coeficiente de tensión Ψ en relación a la sección y a la relación de bobinado w . [24]

Para conocer los valores de ϵ , se consulta la *Tabla 4.6*. Con la relación de la sección transversal b/h .

b/h	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	
ϵ	5,59	5,61	5,67	5,77	5,88	6,02	6,17	6,33	6,5	6,68	6,87	
b/h	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4	4,5	5
ϵ	7,26	7,67	8,09	8,51	8,95	9,39	9,83	10,28	10,73	11,19	12,33	13,48

Tabla 4.6: Coeficiente de tensión ϵ en relación a la sección transversal b/h . [24]

5. METODOLOGÍA ITERATIVA DE DISEÑO Y FABRICACIÓN.

5.1. PLANTEAMIENTO INICIAL.

Este proyecto fue planteado para el diseño por software 3D de una impresora 3D de modelo por deposición fundida (FDM), con el objetivo de poder explorar no solo las utilidades de las impresoras 3D FDM sino también sus requisitos mecánicos y hacer un banco de ensayo sobre los que poder explorar mejoras por parte de futuros estudiantes. Posteriormente, al diseño se añadió la propuesta de fabricación, montaje y puesta en marcha de la impresora en los Laboratorios de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Superior de Linares.

Esto significa que el proyecto ha sido adaptado a los materiales y presupuesto disponible del departamento en términos de su diseño, componentes y fabricación. Para llevar a cabo su correcto funcionamiento, además, se ha contado con la Asistencia del Servicio Técnico de Apoyo del Dpto. de Ing. De Telecomunicación (con la firma *Turman Dreams*) para realizar el desarrollo de hardware y software de control de la máquina de manera externa.

5.1.1. CONDICIONES DE CONTORNO.

Para comenzar con el planteamiento inicial de la impresora primero se tuvieron en cuenta los factores principales que lo condicionaban.

- Gran tamaño en la superficie de impresión. En un principio se consideró un tamaño mayor al de las impresoras domésticas que suelen rondar superficies de impresión de $20 \times 20 \text{ mm}^2$ con el fin de poder imprimir piezas de gran tamaño.
- Peso de la cama. El peso del conjunto de la cama aumentará con el tamaño de la superficie de impresión.

- Utilización de siliconas calefactoras que permitieran calentar la superficie de impresión para poder imprimir en plástico ABS. Su uso conlleva el uso de relés de estado sólido y el ajuste de la superficie de impresión a ellas.
- Precisión en el posicionamiento del extrusor y la cama. Se quieren obtener resultados con buena calidad.
- Material disponible en los laboratorios de Ingeniería Mecánica y Minera.
- Posibilidad de aislar la impresora de la temperatura exterior.
- Presupuesto para la adquisición de componentes.

De entre los tipos de impresoras 3D FDM vistos anteriormente, se planteó que la impresora CORE XY era capaz de dar resultados de gran precisión con posibilidad de imprimir piezas de gran tamaño sin que se ocupara demasiado espacio para la máquina en general.

Tras un planteamiento inicial se podía dar paso al resto de condicionantes que afectaban a su diseño.

- Tamaño de la cama y de la superficie de impresión.
- Estructura principal y rigidez.
- Diseño de Sistema CORE XY para la impresora en específico.
- Sistema de subida y bajada de la cama en el eje Z.
- Selección de guías y rodamientos para cada eje (X, Y, Z).
- Cálculos iniciales.

5.1.2. DISEÑO INICIAL POR SOFTWARE DE DISEÑO 3D.

El diseño de la máquina se ha realizado mediante el software de diseño 3D *AutoDesk Inventor 2021*. Su proceso de diseño ha pasado por varias fases, realizando cambios desde su diseño inicial hasta el prototipo final debido a su adaptación a los medios, como son el material disponible a primera mano (perfilería y tornillería), componentes encargados a proveedor y presupuestos (*Capítulo 5.1.3*) y maquinaria de trabajo.

En este punto se van a ver las dos fases de desarrollo del modelo 3D en el planteamiento inicial y sus cambios hasta comenzar la fabricación de la máquina.

5.1.2.1. FASE DE DISEÑO INICIAL.

En el desarrollo 3D inicial de la impresora CORE XY se tuvieron en cuenta algunos de los componentes de los que constaban los laboratorios, además de las máquinas de corte para metal y de impresión 3D para el diseño y fabricación de piezas. Partiendo de esto, se hizo un estudio y desarrollo que englobaba la estructura principal, la cama de la impresora y los sistemas de posicionamiento y guiado de la misma.

A. CAMA Y SUPERFICIE DE IMPRESIÓN

Partimos de la idea de tener una superficie de impresión de mayor tamaño a lo habitual, además de poder imprimir con plástico ABS. Para ello se decidió añadir siliconas calefactoras dotando a la superficie de una temperatura de hasta 90 grados con rapidez evitando un cambio brusco de temperatura entre el plástico y la cama. Por ello nos ajustamos a las medidas del fabricante de siliconas, adquiriendo dos unidades de 300x300 mm (piezas naranjas de la *Figura 5.1*); resultando una superficie de impresión de 300x600 mm.

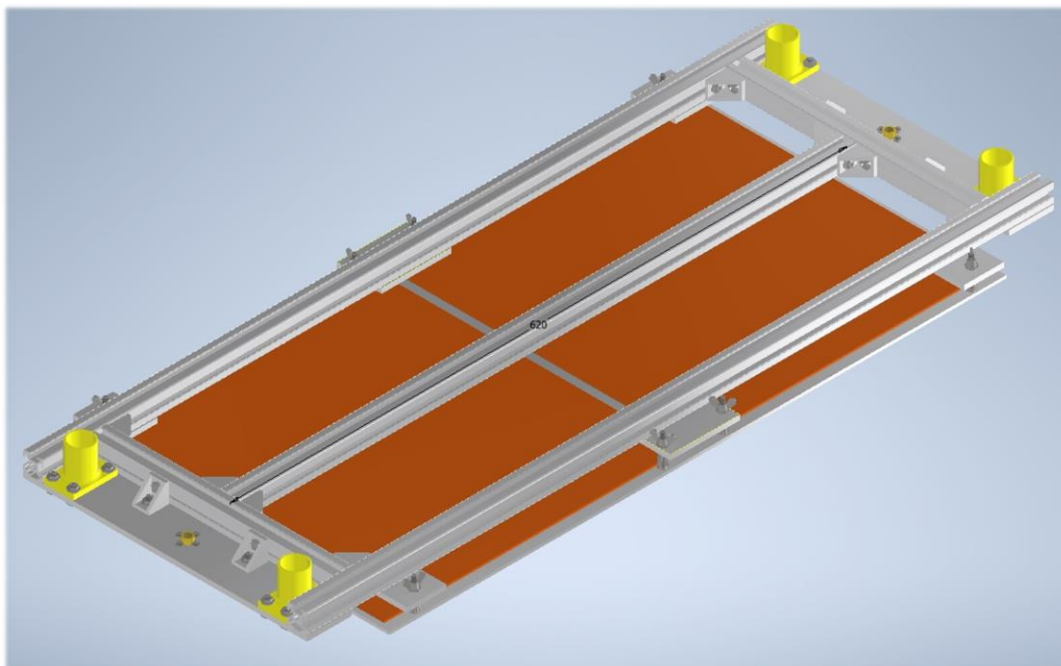


Figura 5.1: Planteamiento inicial para la cama (vista inferior) de la impresora 3D CORE XY realizado por software de diseño 3D.

Con estas medidas como referencia, se toma como superficie de impresión una plancha de aluminio de 330x620 mm de grosor 3 mm (en verde en la *Figura 5.2*). Bajo esta se acoplan las dos siliconas y se crea una estructura con perfiles de aluminio 20x20 mm, escuadras 20x20x17, tornillos M4L10 con tuercas martillo y tornillos avellanados de cabeza plana M4L35 con muelles de 6 mm de diámetro interno y tuercas palomilla para el nivel de la cama. Además de planchas de aluminio de 5 mm de espesor donde se unen dos tuercas de husillo de 8 mm y piezas 3D (piezas de color amarillo en *Figura 5.1*, *Figura 5.2* y *Figura 5.3*) para la sujeción de cojinetes lineales de 12 mm de diámetro interno.

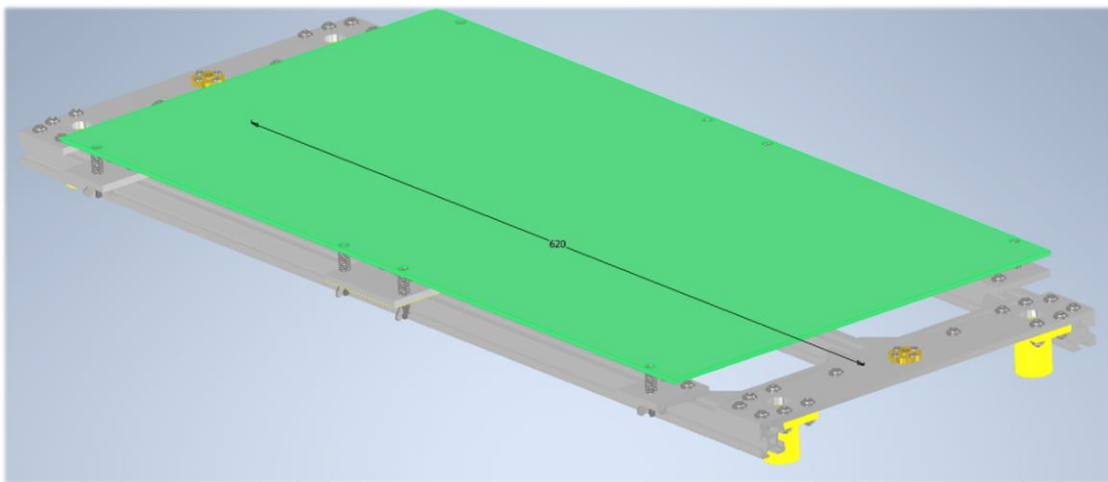


Figura 5.2: Planteamiento inicial para la cama (vista superior) de la impresora 3D CORE XY realizado por software de diseño 3D.

La perfilería de aluminio de 20x20mm procura rigidez a la estructura de la cama, pero ha de tenerse en cuenta su peso ya que es una gran superficie de impresión a elevar y los motores paso a paso pueden no dar el par suficiente.

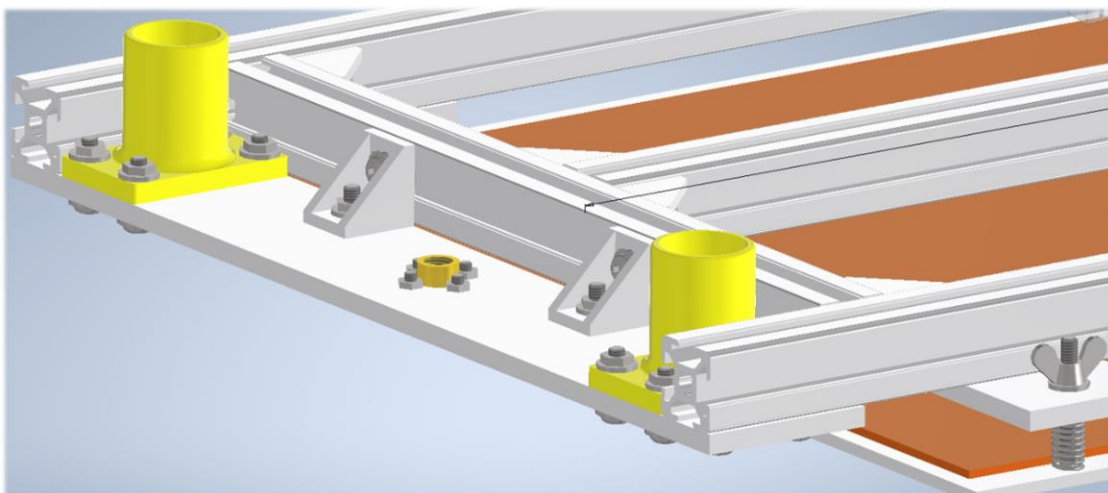


Figura 5.3: Planteamiento inicial para la cama (vista inferior ampliada) de la impresora 3D CORE XY realizado por software de diseño 3D.

C. ESTRUCTURA PRINCIPAL Y SISTEMA DE POSICIONAMIENTO.

La estructura se compone de perfiles de aluminio de 45x45 mm con uniones a escuadra, tornillos de cabeza de martillo y tuercas con brida de métrica 8 mm. Además, se utilizan planchas de aluminio de espesor 5 mm y piezas de impresión 3D para la sujeción de guías y motores (ver *Figura 5.4*).

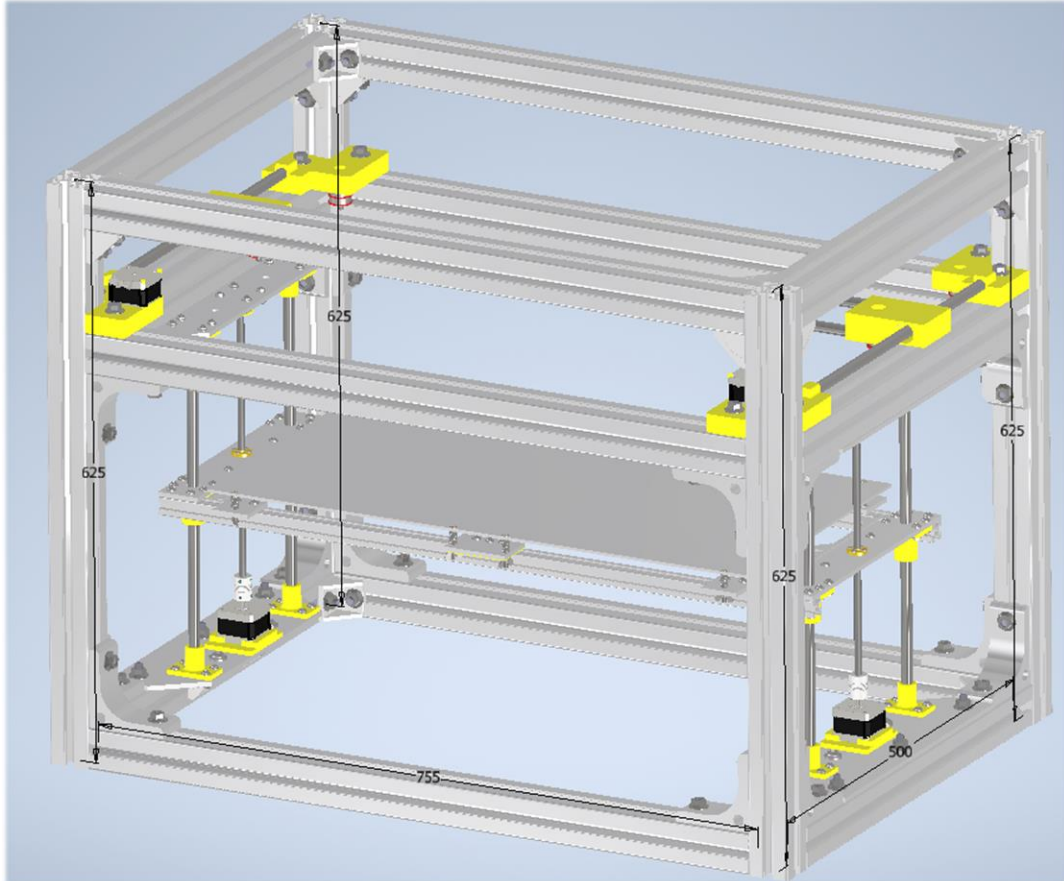


Figura 5.4: Planteamiento inicial para la estructura principal de la impresora 3D CORE XY realizado por software de diseño 3D.

Para poder sostener el sistema de guiado y los motores paso a paso en la estructura se añadieron cuatro planchas de aluminio unidas a la perfilería mediante tornillos de cabeza de martillo y escuadras además de piezas de impresión 3D unidas a las planchas por medio de uniones de métrica 4 mm (*Figura 5.5*).

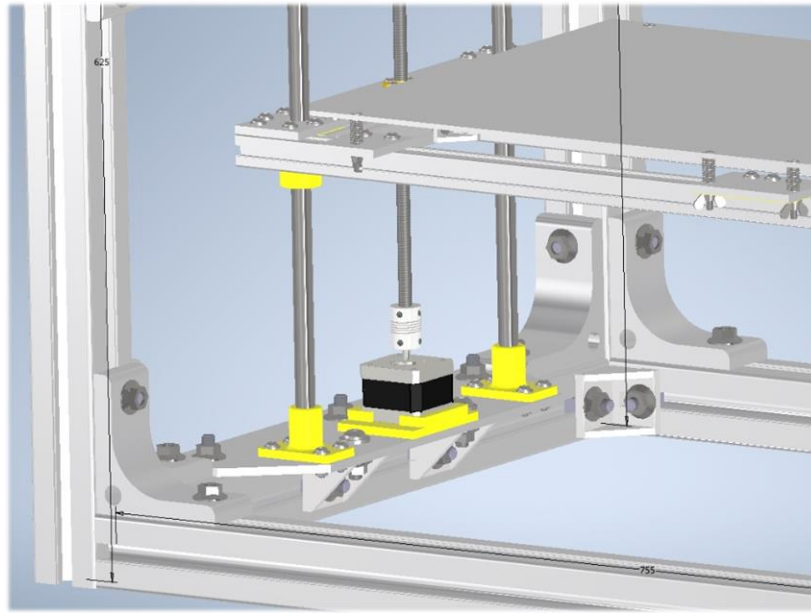


Figura 5.5: Planteamiento inicial para la estructura principal (sistema de posicionamiento) de la impresora 3D CORE XY realizado por software de diseño 3D.

Para las guías de métrica 12 mm se escogieron rodamientos LMU12 de longitud 30 mm. Estos se insertan por apriete en las piezas 3D pudiendo acoplarlos a la estructura de la cama (ver *Figura 5.6*).

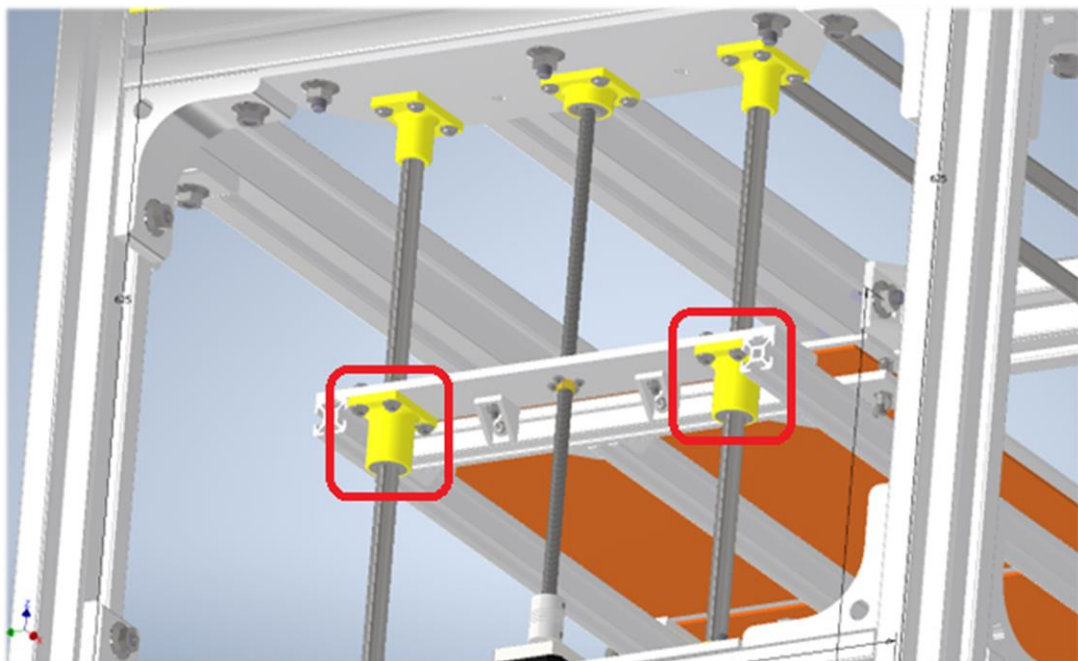


Figura 5.6: Planteamiento inicial para posición de rodamientos en piezas 3D para las guías de la impresora 3D CORE XY realizado por software de diseño 3D.

En el caso del sistema de guiado del carro extrusor se diseñaron piezas de impresión 3D cuya finalidad eran las de sostener las varillas lisas de acero que hacen

de guías para el sistema de poleas y correas que mueve al carro extrusor (ver *Figura 5.7*).

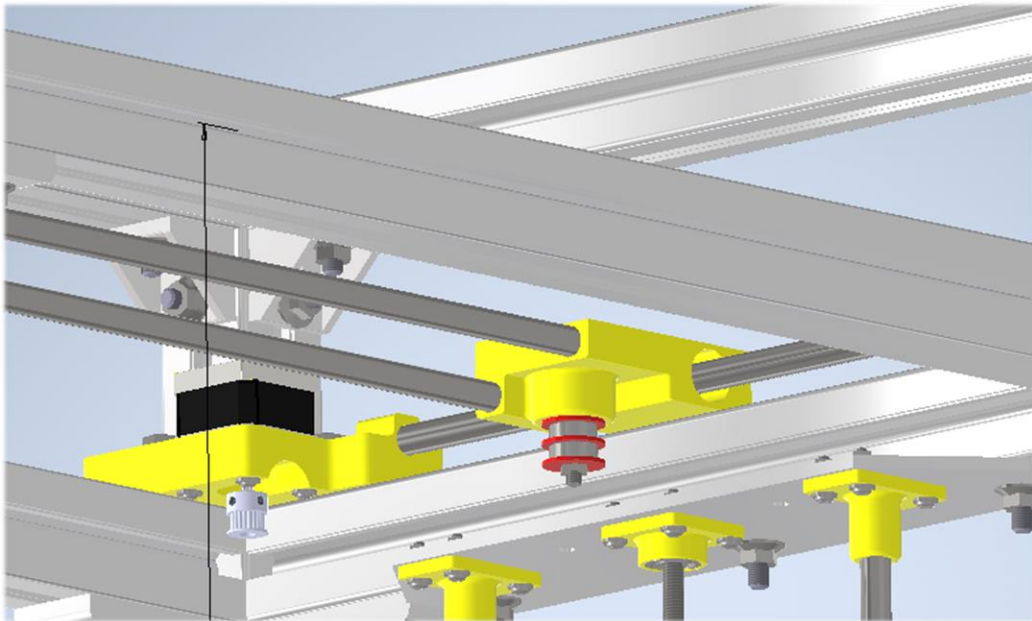


Figura 5.7: Planteamiento inicial para el sistema de desplazamientos del extrusor con guías de varillas lisas de la impresora 3D CORE XY realizado por software de diseño 3D.

Las piezas impresas en material PLA sostendrían las guías y los rodamientos rs 608 que darían lugar al sistema CORE XY. Sin embargo, existían fallos de diseño en ellas (tales como voladizos) que dificultaban su impresión por lo que haría falta un rediseño de las mismas (ver *Figura 5.7* y *Figura 5.8*).

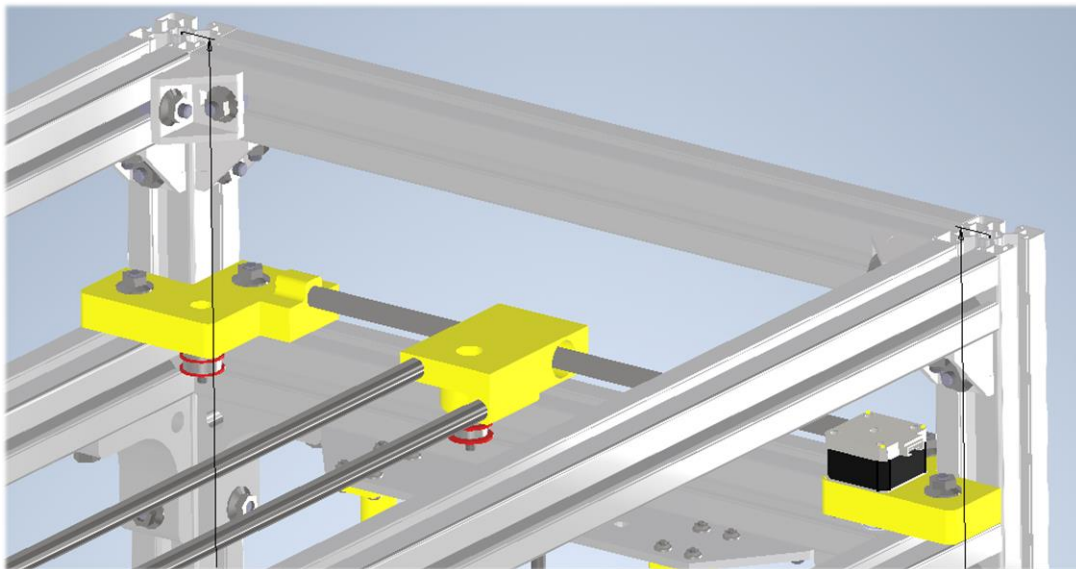


Figura 5.8: Planteamiento inicial para el sistema de desplazamientos del extrusor con guías de varillas lisas (vista superior) de la impresora 3D CORE XY realizado por software de diseño 3D.

La propuesta inicial no llegó a desarrollarse más, debido a cambios que adaptarían piezas impresas 3D y nuevos componentes, como son los carriles y patines guía MGN 12H Hiwin.

5.1.2.2. FASE DE DISEÑO PREVIO A FABRICACIÓN.

Con respecto al diseño inicial, en este punto sí que se llevan al 3D todos los componentes que integran la impresora para dar paso a su fabricación, éstos son los componentes disponibles en el laboratorio y los adquiridos para el montaje de la máquina.

En el diseño se ha mantenido la estructura principal y el sistema de desplazamiento vertical en Z, así como las dimensiones de la superficie de impresión, pero el resto de partes de la impresora han cambiado en diseño o aportación de nuevos elementos.

A. CAMA Y SUPERFICIE DE IMPRESIÓN.

Las dimensiones de la superficie de impresión o de trabajo siguen siendo de 600x300 mm siendo la plancha de aluminio de 620x330 mm. Sin embargo, para evitar el rallado y deterioro de la planitud de la superficie al imprimir en la misma, se decidió aportar un cristal que tiene su apoyo en la plancha de aluminio con unas dimensiones de 600x300x3 mm (superficie de trabajo). Además, los soportes de aluminio de 5 mm de espesor que sujetaban los muelles, las piezas de impresión 3D y las tuercas para los husillos se han sustituido por piezas de PVC de espesor 8 mm (ver *Figura 5.9*).

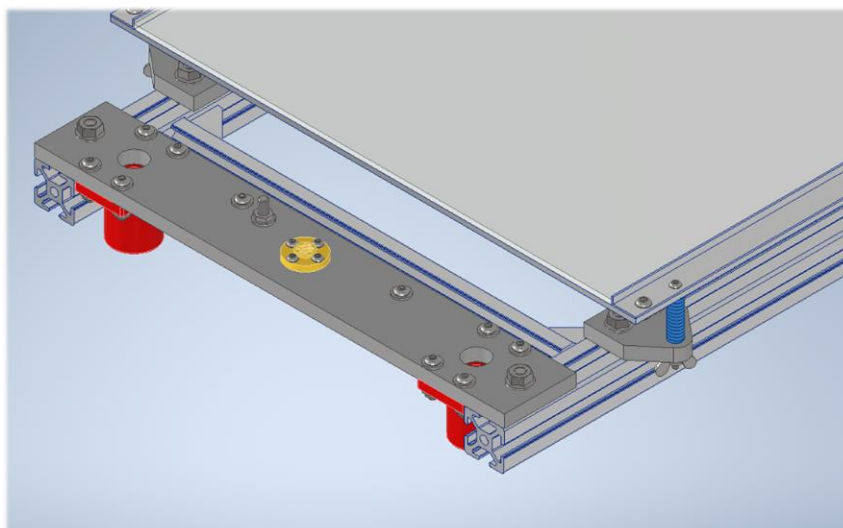


Figura 5.9: Piezas de PVC para apoyos de la estructura de la cama. Además de añadido de resortes, cristal y rigidizadores para la cama de la impresora 3D CORE XY realizado por software

Los resortes también han sido sustituidos por resortes planos de acero. Estos se encuentran apoyados en piezas de PVC unidas a la estructura y regulan el nivel de la cama en 8 puntos mediante el uso de tornillos Allen de cabeza plana (ya no avellanada) y tuercas de palomilla (ver *Figura 5.10*).

Cerca de la tuerca del husillo, se añadió un tornillo con doble tuerca para la regulación de su altura en el apoyo de PVC cuya función es activar el interruptor del sensor final de carrera con el fin de establecer el cero origen del eje Z (ver *Figura 5.9*).

Para evitar la flexión de la plancha de aluminio por el peso de este cristal y las piezas impresas a la misma se añaden dos rigidizadores con forma de “L” longitudinales a cada lado mediante uniones atornilladas y uno tipo “sándwich” de manera transversal (ver *Figura 5.9* y *Figura 5.10*).

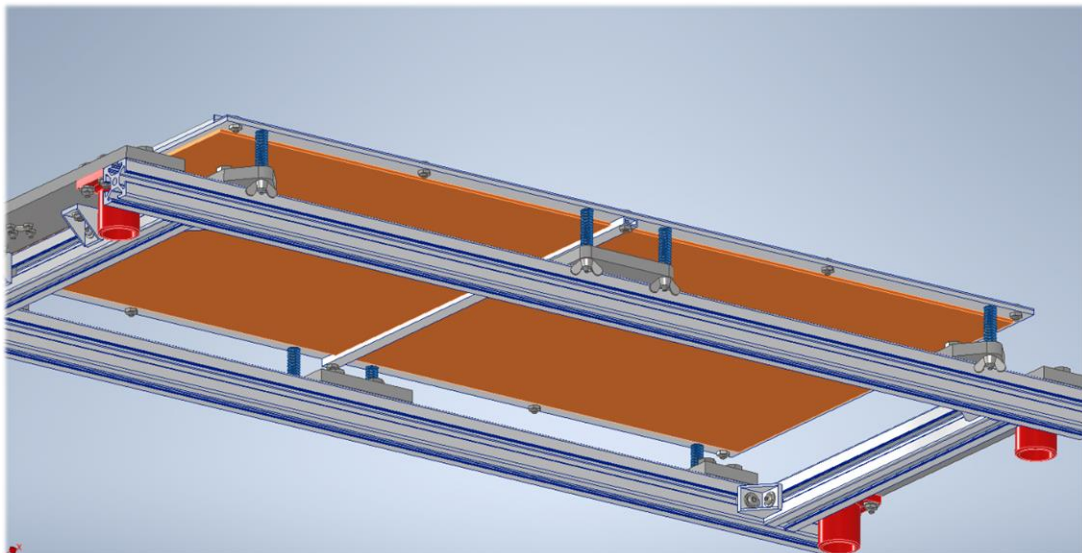


Figura 5.10: Piezas de PVC para apoyos de la estructura de la cama. Además de añadido de resortes, cristal y rigidizadores para la cama de la impresora 3D CORE XY realizado por software de diseño 3D.

Las piezas impresas en PLA o PETG que sujetan los rodamientos lineales LMU12 que guían la cama se rediseñaron con mayor grosor de pared manteniendo un diámetro interno ajustado al exterior de los rodamientos para una sujeción por apriete (ver *Figura 5.11*).

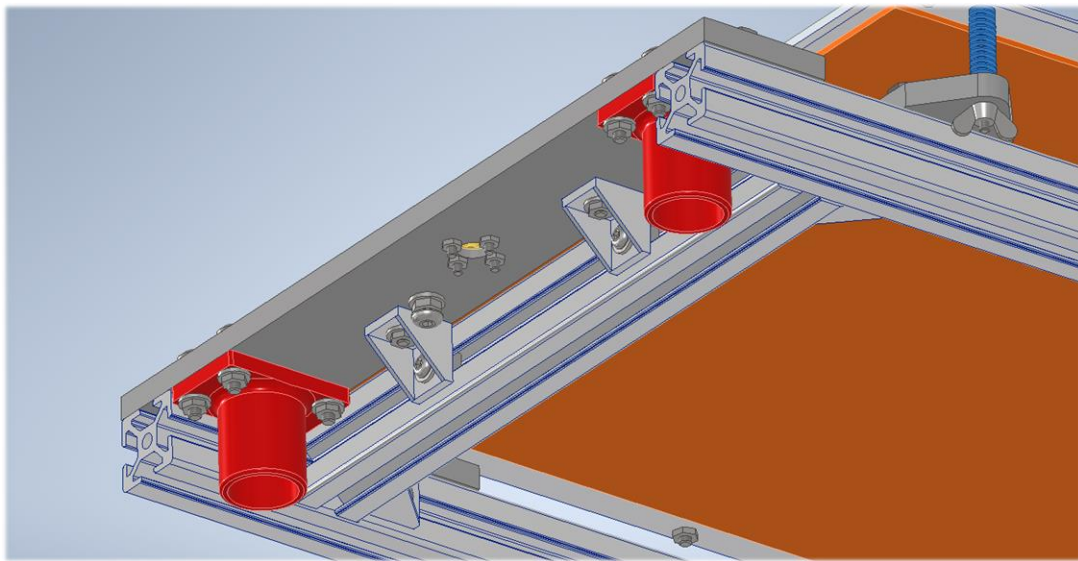


Figura 5.11: Piezas de impresión 3D para rodamientos LMU12 unidas al apoyo de PVC, unidos a su vez por tornillos cabeza de martillo a la estructura de la cama de la impresora 3D CORE XY realizado por software de diseño 3D.

En cuanto a su estructura, se mantiene la perfilería de aluminio de 20x20 mm con la diferencia de tener un perfil longitudinal menos. Esto es así debido a que la estructura posee la rigidez suficiente y no necesita ese perfil, es a la plancha de la cama la que se debe de dotar de rigidez con los perfiles descritos anteriormente. Las uniones a la perfilería para los apoyos de PVC son tornillos de cabeza de martillo y tuercas de brida de métrica 6, excepto para las escuadras que utilizan tornillos de métrica 6 y tuercas hexagonales y cuadradas (para encaje y roscado en el canal de 6 mm del perfil).

B. ESTRUCTURA PRINCIPAL Y SISTEMA DE POSICIONAMIENTO Z.

La estructura principal se compone de perfiles de aluminio de 45x45 y planchas de aluminio de 5 mm de espesor, como se planteó en la idea inicial. Las uniones se realizan mediante escuadras de 42x42x42 mm, escuadras de 86x86x42 mm y tornillos de cabeza de martillo con tuerca de brida de métrica 8 mm.

Con respecto al planteamiento inicial existen pocos cambios a nivel estructural. Se tuvo en cuenta el añadido de varios componentes a la estructura principal, tales como planchas de metacrilato de espesor 5 mm para el aislamiento de la impresora, piezas impresas 3D para el apoyo del rollo de filamento, apoyo en la zona superior para la sujeción del tubo de cables que va al carro extrusor o el acople de la fuente de alimentación, placa base y ventilador (ver *Figura 5.12*).

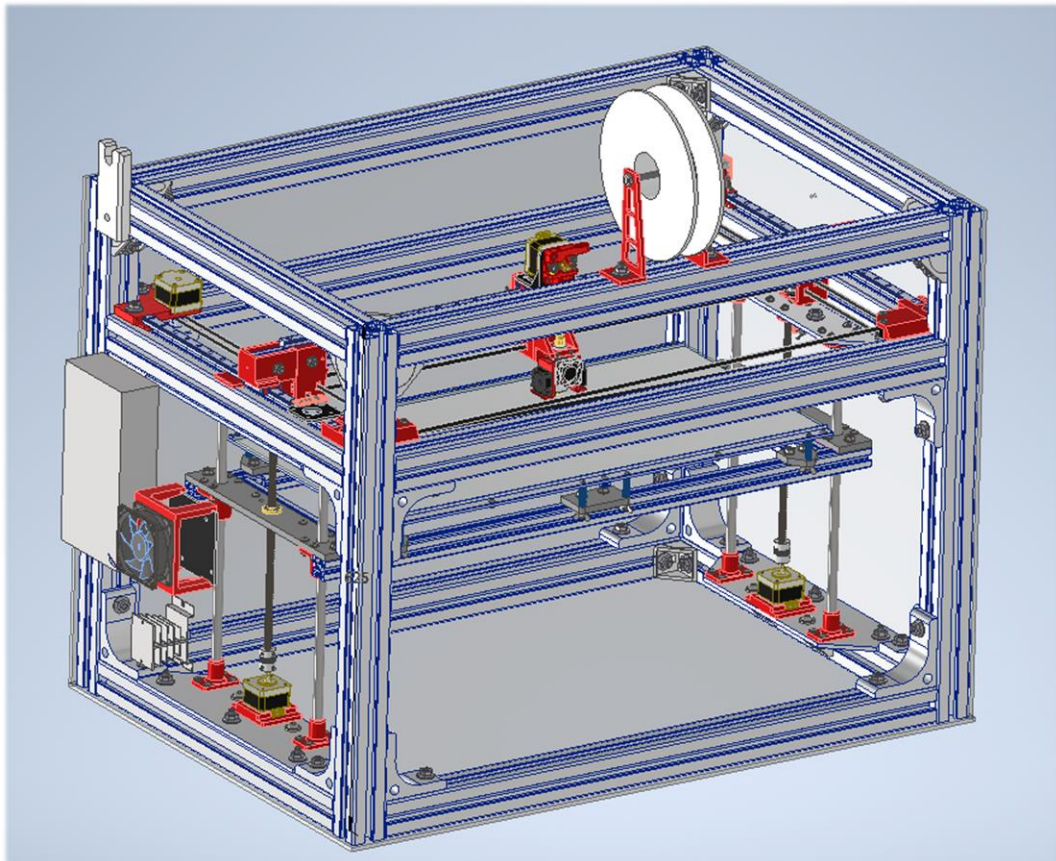


Figura 5.12: Diseño previo a fabricación de la impresora 3D CORE XY realizado por software de diseño 3D (vista a acceso frontal).

Como puede verse en la *Figura 5.12* se mantiene la posición de los motores en las planchas de aluminio inferiores. Los motores sujetan al husillo de métrica 8 mediante un acople flexible de relación de métrica 5/8. En las planchas superiores de aluminio encargados de sujetar el sistema de guiado vertical se añade una pieza de impresión 3D encargada de sujetar un sensor final de carrera que es pulsado por un tornillo de la cama en su subida para establecer el cero de referencia en el eje Z. Además, el husillo es sujetado en su tramo superior por un rodamiento de bolas rs 608 (ver *Figura 5.13*).

El recorrido vertical de la cama equivalente a la altura total de impresión para las piezas es de 250 mm con esta configuración de diseño. Las dos varillas lisas de métrica 12 mm a cada lado del husillo de diámetro 8 mm ayudan a que los rodamientos absorban las vibraciones en la subida y bajada de la cama con el giro de los husillos.

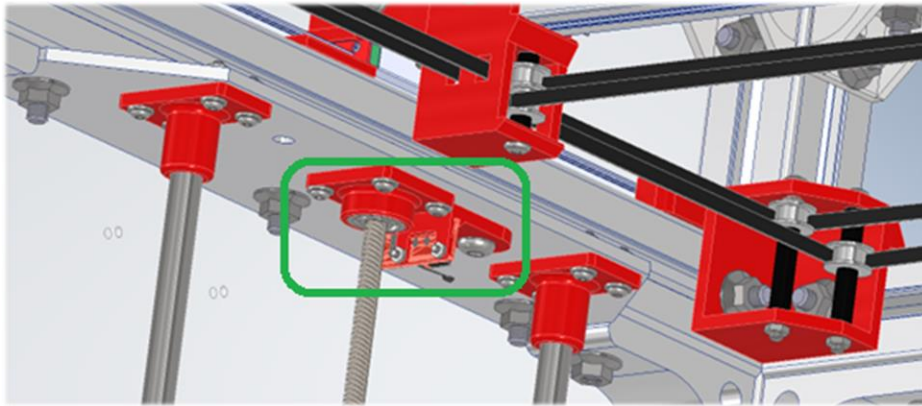


Figura 5.13: Acople del husillo al rodamiento. Sensor final de carrera unido a pieza realizada por impresión 3D. Todo ello de la parte superior de la impresora 3D CORE XY realizado por software de diseño 3D.

C. CARRO EXTRUSOR - INYECTOR.

Para el diseño del carro extrusor se han tenido en cuenta principalmente los componentes:

- Fusor YOTINO V6 Hotend junto a Ventilador de refrigeración del fusor y ventiladores de capa (Figura 5.14).

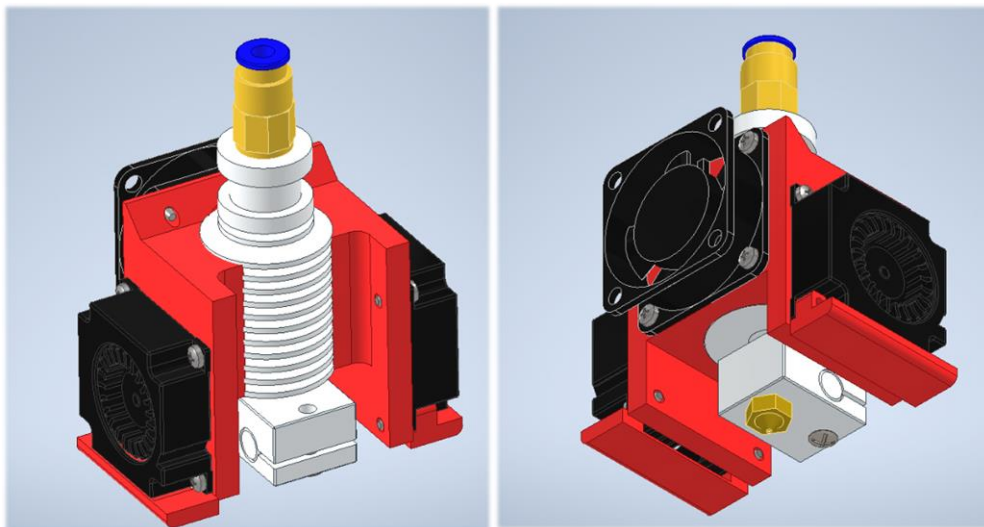


Figura 5.14: Modelados 3D del Fusor YOTINO V6 Hotend + ventilador refrigerador fusor y ventiladores de capa de la impresora 3D CORE XY realizado por software de diseño 3D.

- Extrusor MK8 junto a motor Nema 17 (Figura 4.15).

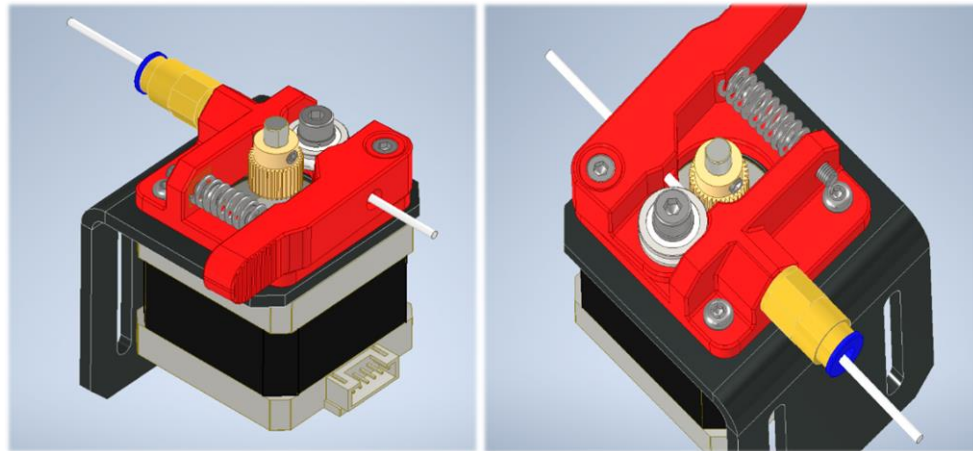


Figura 5.15: Modelados 3D del Extrusor MK8 + Motor Nema 17 con escuadra de acero de la impresora 3D CORE XY realizado por software de diseño 3D.

- Patín MGN 12H junto a carril guía de longitud 750 mm (Figura 5.16).

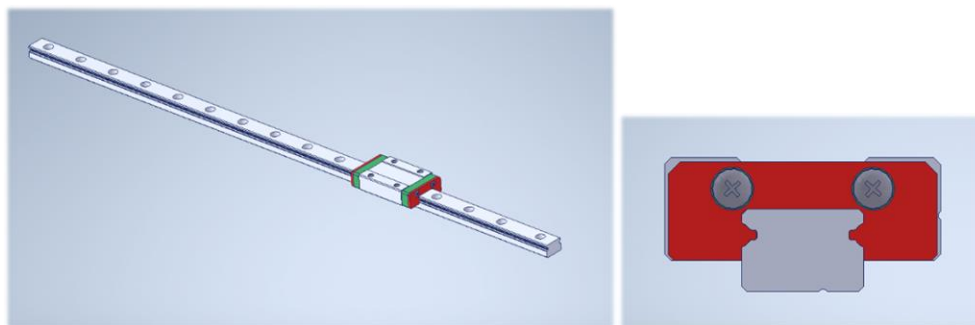


Figura 5.16: Modelados 3D del patín MGN 12H y su carril para guiar al carro extrusor de la impresora 3D CORE XY realizado por software de diseño 3D.

- Sensor de final de carrera.
- Perfil de aluminio de 25x25 mm con longitud de 835 mm

Teniendo en cuenta la geometría de cada uno de estos componentes y del perfil de aluminio de 25x25 sobre el que se une el carril del patín, se diseña un carro capaz de sostener el fusor junto al resto de ventiladores, el extrusor para una extrusión directa con el tubo de teflón tipo *all metal* y el sensor final de carrera.

Está compuesto por cinco piezas realizadas por impresión 3D en material PLA o PETG. Su objetivo es el de transportar el conjunto a lo largo del eje X mediante la tracción de las correas que los sujetan en sus laterales y que forman parte del sistema CORE XY. El extrusor se posiciona justo encima del fusor, apoyado sobre el techo del

carro, unido a este y al patín. De esta manera el extrusor y el motor, que son los elementos más pesados del conjunto, quedan en la parte superior del patín (el cual aguanta el peso) (Figura 4.17).

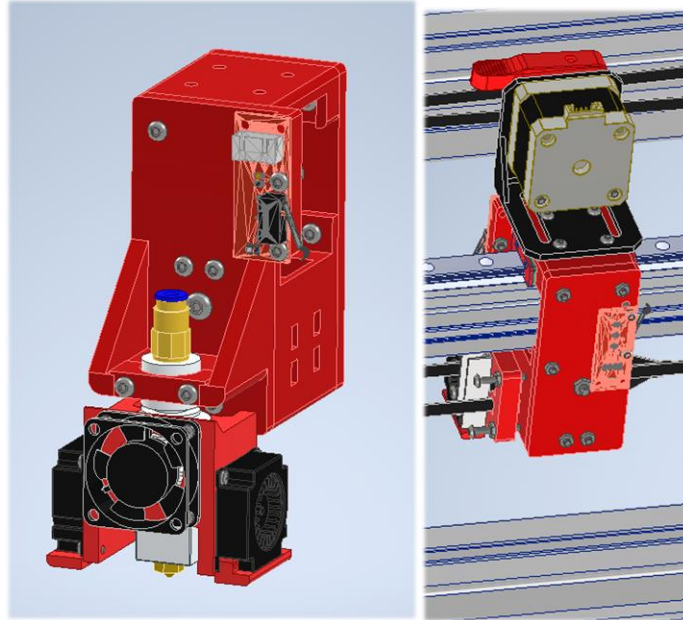


Figura 5.17: Modelados 3D del carro extrusor de la impresora 3D CORE XY realizado por software de diseño 3D.

La posición del extrusor es de tipo directa y no de tipo *Bowden* debido a que las distancias que recorre el carro son grandes por el tamaño de la superficie de impresión y en este caso el propio movimiento del carro ayudaría a tirar del rollo de filamento quitando esfuerzo al motor del extrusor (Figura 5.17 y Figura 5.18).

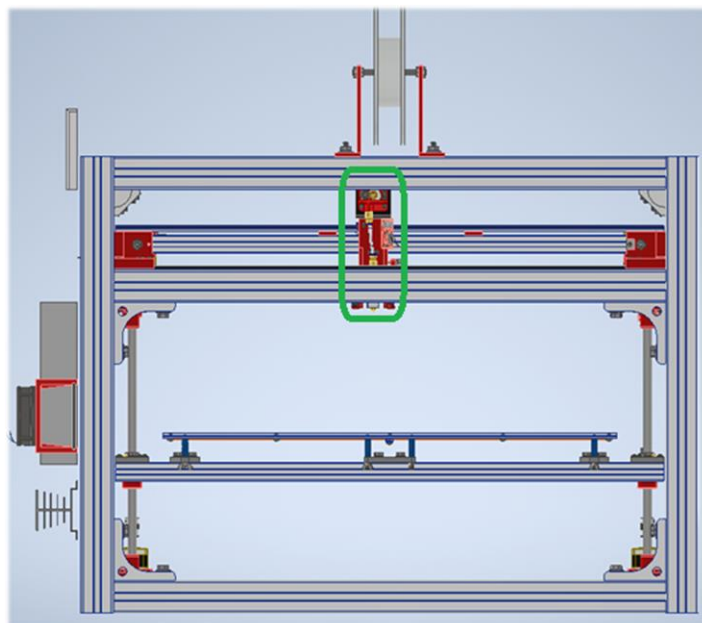


Figura 5.17: Modelados 3D del carro extrusor (vista frontal) de la impresora 3D CORE XY realizado por software de diseño 3D.

D. SISTEMA CORE XY.

Para el sistema de correas y poleas se diseñaron una serie de piezas adaptadas a la fabricación por impresión 3D. Estas portan las poleas que sustituyen a los rodamientos del diseño inicial y a los dos motores que mueven el sistema CORE XY. Los motores se sitúan en la parte posterior y el cruce de correas en la parte frontal de la impresora, como puede verse en la *Figura 5.19* que muestra una vista superior de la máquina.

Las piezas fabricadas por impresión 3D que portan las poleas y los motores están unidas a las cuatro esquinas de la parte superior de la estructura principal, manteniendo las dos correas del sistema CORE XY a distintos niveles (ver *Figura 5.20*).

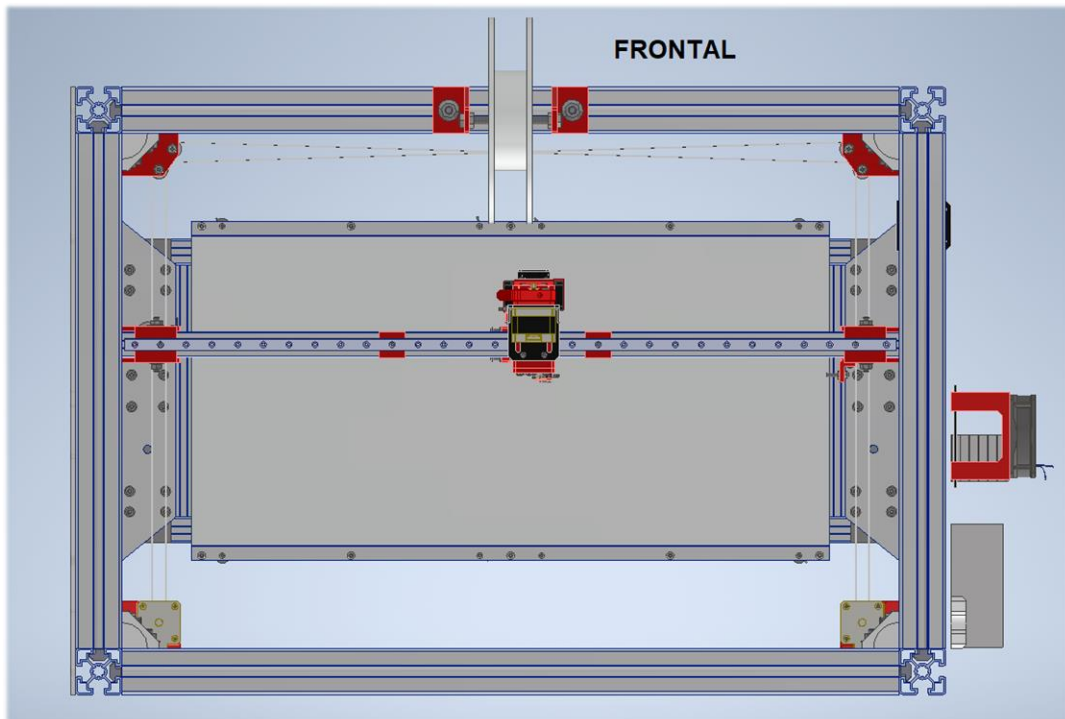


Figura 5.19: Vista superior de la impresora 3D CORE XY realizado por software de diseño 3D. En ella puede verse el sistema de correas y el posicionamiento del carro extrusor.

Para el sistema de desplazamientos del sistema CORE XY se opta por el uso de patines y carriles guía. Esto es así ya que tanto su montaje como su suavidad en el desplazamiento permiten aprovechar al máximo la precisión y velocidad del sistema. El eje X del carro compuesto por el perfil de aluminio de 25x25 mm y el carril unido a él, se encuentra apoyado a su vez en dos patines que deslizan en carriles paralelos de 400

mm de longitud de manera que se añada otro grado de libertad para el desplazamiento en el eje Y.

Para ello se utilizan cuatro piezas fabricadas por impresión 3D; dos a cada lado del perfil de aluminio de 25x25 mm con longitud 835 mm. Primero se introducen a cada lado del perfil las piezas que portan las poleas de redirección de las correas y dan tope al desplazamiento del carro (eje X). Posteriormente se montan las dos piezas restantes en los patines de carriles paralelos del eje Y y se introduce todo el eje X, apoyándolo y uniéndolo quedando el sistema listo para el montaje de las correas (*Figura 4.20*).

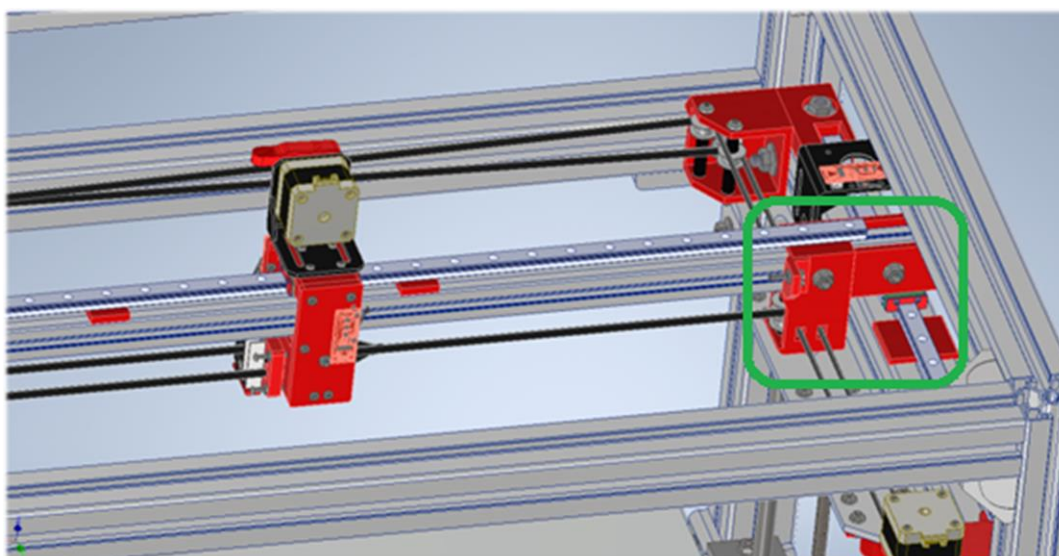


Figura 5.20: Piezas de impresión 3D; Pieza porta poleas introducido en el perfil y pieza de acople al patín en extremos de la impresora 3D CORE XY (Vista trasera) realizado por software de diseño 3D. Al extremo izquierdo de la imagen se encontrarían las mismas piezas colocadas de la misma forma.

Los carriles paralelos entre sí de los patines que hacen de guía para el desplazamiento en Y se encuentran apoyados sobre otras piezas de impresión 3D en varios puntos, evitando así su deflexión. Estas piezas a su vez están ancladas a la perfilería de aluminio de 45x45 mm.

Los sensores de final de carrera se deben de activar (para dar su cero de referencia) en la esquina superior izquierda del frontal de la impresora, por lo que para el eje X el sensor se acopla en el carro extrusor y en el eje Y se añade al final del carril con una pieza acoplada al perfil de aluminio (ver *Figura 5.20*).

La superficie de impresión o trabajo que puede recorrer el sistema CORE XY es de 580x300 mm con esta configuración.

Estos componentes (*Figura 5.21*) procuran gran rigidez y estabilidad a la estructura. Además, se han añadido unas patas de apoyo para la estructura (*Figura 5.22*) de base poliamida. Es por esto y por su disponibilidad en los laboratorios que se han escogido para la composición de la estructura principal.

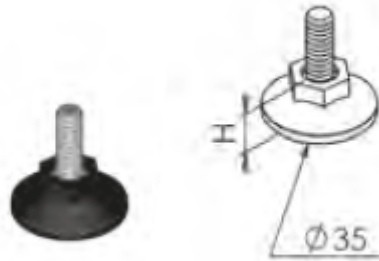


Figura 5.22: Componentes que conforman la estructura principal de la impresora; Pie ajustable de base poliamida con métrica 8 mm para perfiles de 45x45 mm.

Los componentes de la estructura son:

- 6 Uds. Perfiles de aluminio 45x45 mm, L= 755 mm.
- 4 Uds. Perfiles de aluminio 45x45 mm, L= 625 mm.
- 6 Uds. Perfiles de aluminio de 45x45 mm, L= 500 mm.
- 8 Uds. Escuadras 84x84x40 mm de aluminio adonizado.
- 26 Uds. Escuadras 42x42x42 mm de aluminio fundido.
- 4 Uds. Pie ajustable de base poliamida M8L25.
- 126 Uds. Tronillos cabeza de martillo y tuercas con brida de M8L25.

B. SISTEMA DE POSICIONAMIENTO VERTICAL (Z).

La elevación se lleva a cabo mediante dos husillos de métrica 8 con rosca de paso 2 mm con longitud de 300 mm. Éstos están propulsados por dos motores Nema 17 modelo 17HS19-2004S1, haciendo solidario su giro al husillo con acoples flexibles de aluminio 5/8 mm.

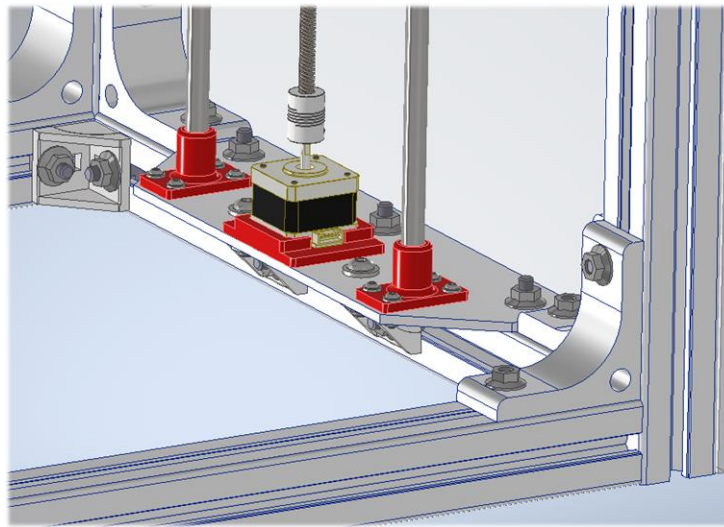


Figura 5.23: Componentes que conforman el sistema de posicionamiento vertical de la impresora; Soporte de aluminio de 5 mm de espesor, motor paso a paso Nema 17, husillos, guías y piezas de impresión 3D.

El guiado se lleva a cabo mediante el uso de varillas lisas de acero inoxidable de métrica 12 mm con longitud de 350 mm como guía con rodamientos LMU12 de longitud 30 mm.

Las varillas guía llevan un acople impreso en plástico PLA a cada extremo. Con el extremo del husillo pasa lo mismo; un rodamiento insertado en una pieza impresa en PLA sujeta el extremo superior del mismo. Además, de una pieza más en PLA para sujetar el sensor de final de carrera.

Para poder posicionar todos estos elementos se utilizan 4 planchas de aluminio de 5 mm que se unen a la estructura principal siguiendo la tornillería descrita en la estructura (ver *Figura 5.13* y *Figura 5.23*).

Los componentes utilizados para el sistema de posicionamiento vertical son:

- 4 Uds. Pieza “B.1” de aluminio de 5 mm de espesor al corte por agua.
- 2 Uds. Motor paso a paso Nema 17 modelo 17HS19-2004S1.
- 2 Uds. Acople flexible 5/8.
- 2 Uds. Husillos M8 paso 2 mm, L = 300 mm.
- 2 Uds. Rodamiento de bolas rs 608.
- 4 Uds. Varillas lisas de acero M12 mm, L = 350 mm.
- 1 Uds. Sensor Final de carrera.
- 4 Uds. Pieza “B.8” impresa en PLA. Corresponde a la sujeción de las guías.
- 2 Uds. Pieza soporte motores impresa en PLA (Descartada posteriormente).
- 1 Uds. Pieza “B.10” impresa en PLA. Corresponde al soporte de final de carrera.

- 2 Uds. Pieza soporte rodamientos rs 608 impresa en PLA (Descartada posteriormente).
- 32 Uds. Tornillos Allen M4L16 mm.
- 8 Uds. Tornillos Allen M3L16 mm.
- 5 Uds. Tornillos Allen M8L25 mm.
- 32 Uds. Tuercas hexagonales M4 mm.
- 5 Uds. Tuercas hexagonales M5 mm.
- 32 Uds. Arandelas M4 mm.
- 5 Uds. Arandelas M5 mm.

C. CAMA Y SUPERFICIE DE IMPRESIÓN.

La cama se compone de perfiles de aluminio de 25x25 mm con uniones de escuadra de 20x20x17 mm. Utilizando tornillería compatible para el canal de 6 mm del perfil como tornillos cabeza de martillo con tuercas con brida de métrica 6 mm, tuercas cuadradas de métrica 6 y tuercas de cabeza de martillo de métrica 4 (ver *Figura 5.24*).

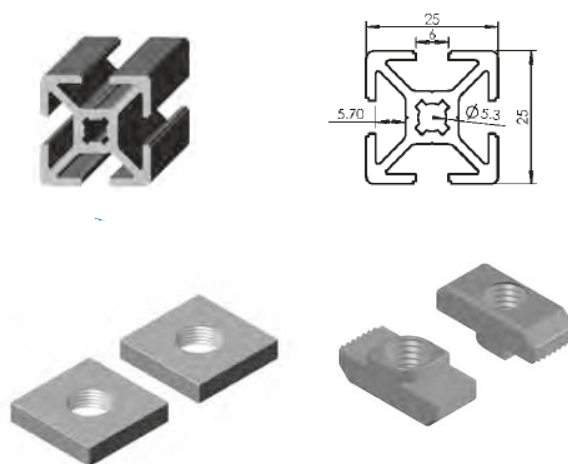


Figura 5.24: Componentes que conforman la cama; Perfil de aluminio de 25x25 (izquierda), tuerca de cabeza de martillo M4 (centro) y tuercas cuadradas M4 (derecha).

Los apoyos de la cama están hechos de PVC; 2 soportes grandes que dan base a las tuercas del husillo y las piezas de impresión 3D de PLA que sujetan los rodamientos LMU12 para el guiado de la cama. Y otros que sirven de base para nivelar la superficie de impresión (ver *Figura 5.11*).

La nivelación se lleva a cabo con 8 muelles de sección rectangular con tornillos de métrica 3 mm y longitud 45 mm junto con tuercas de palomilla. La superficie de impresión es un cristal de 600x300x3 mm apoyado sobre una plancha de aluminio de 620x330x3

mm. A esta se encuentran unidos perfiles rigidizadores en forma de L y de sándwich, respetando el espacio para las siliconas calefactoras que se adhieren a la plancha de aluminio.

El resto de tornillería utilizada en la cama y la superficie de impresión es de métrica 4 y 6 mm, con tuercas hexagonales para ambos casos.

La lista de componentes para la cama y la superficie de impresión es:

- 2 Uds. Perfil de aluminio 25x25 mm, L = 750 mm.
- 2 Uds. Perfil de aluminio 25x25 mm, L = 245 mm.
- 8 Uds. Escuadra 20x20x17 mm de aluminio fundido.
- 2 Uds. Pieza “Soporte eje Y_cama” de PVC.
- 4 Uds. Pieza “Pieza soporte cama” de PVC.
- 2 Uds. Pieza “Pieza soporte cama 2” de PVC.
- 2 Uds. Tuerca collarín M8 mm paso 2 mm.
- 4 Uds. Pieza “D.12” de material PLA. Encargada de sostener los rodamientos LMU12.
- 4 Uds. Rodamientos LMU12.
- 1 Uds. Plancha de aluminio de 620x330x3 mm por corte por agua.
- 2 Uds. Siliconas calefactoras 300x300 mm.
- 1 Uds. Cristal de 600x300x3 mm.
- 2 Uds. Perfil de forma de L de 15x5x1 mm, L = 620 mm.
- 1 Uds. Perfil tipo sándwich 10x5x1 mm, L= 330 mm.
- 8 Uds. Muelles helicoidales de acero de sección cuadrada con diámetro interno de 4 mm.
- 8 Uds. Tornillos Allen M4x16 mm.
- 8 Uds. Tornillo M3L16 mm.
- 8 Uds. Tornillos Allen M4x8 mm.
- 12 Uds. Tornillos Allen M4x10 mm.
- 16 Uds. Tornillos cabeza de martillo y tuerca de brida con M6.
- 1 Uds. Tornillo Allen M5x30 mm (para sensor final de carrera).
- 40 Uds. Tuerca hexagonal M4 mm.
- 10 Uds. Tuerca cuadrada M4 mm.
- 8 Uds. Tuerca palomilla M3 mm.
- 8 Uds. Tuerca hexagonal M3 mm.
- 52 Uds. Arandelas M4 mm.
- 1 Uds. Arandela M5 mm.

D. CARRO EXTRUSOR.

El carro extrusor se desliza sobre el eje X e Y de la impresora. Las piezas fabricadas por impresión 3D que lo componen sujetan el fusor modelo *YOTINO V6 Hotend* junto con sus ventiladores, al extrusor *MK8* y al motor Nema 17 modelo 17HS19-2004S1. A su vez, debe tener espacio para el carril sobre el que se mueve, el sensor final de carrera (establece coordenada origen en X) y el acople de las correas procedentes del sistema CORE XY (*Figura 5.17*).

Entre el extrusor y el inyector se halla colocado un tubo de teflón que facilita el recorrido del filamento plástico y evita su desbordamiento.

Las piezas están unidas entre si mediante tornillos y tuercas de métrica 3 de diferentes longitudes.

La lista de componentes para el carro extrusor es:

- 1 Uds. Fusor *YOTINO V6 Hotend*.
- 1 Uds. Ventilador refrigerador *Hotend* + Ventiladores de capa.
- 1 Uds. Sensor final de carrera.
- 1 Uds. Patín hiwin MGN H12.
- 1 Uds. Conjunto Extrusor MK8.
- 1 Uds. Nema 17 modelo 17HS19-2004S1 + escuadra de apoyo.
- 1 Uds. Pieza "C.17.1" de material PLA. Corresponde a la pieza frontal del carro que sujeta el fusor (Descartada posteriormente).
- 1 Uds. Pieza "C.17.2" de material PLA. Corresponde al cierre de la pieza frontal que sujeta el fusor (Descartada posteriormente).
- 1 Uds. Pieza "C.17.3" de material PLA. Corresponde a un lateral del carro que sujeta el fusor.
- 1 Uds. Pieza "C.17.4" de material PLA. Corresponde a un lateral del carro que sujeta el fusor.
- 1 Uds. Pieza "C.17.5" de material PLA. Corresponde al otro lateral del carro que sujeta el fusor.
- 1 Uds. Pieza "C.17.6" de material PLA. Corresponde a la parte superior del carro y se encarga de sujetar el conjunto extrusor y el patín de deslizamiento.
- 15 Uds. Tornillos Allen M3L12 mm.
- 4 Uds. Varilla roscada M3L45 mm.
- 15 Uds. Tuerca hexagonal M3 mm.

E. SISTEMA CORE XY.

Es el encargado de posicionar el carro extrusor. El sistema se compone de correas dentadas de grosor de 6 mm desplazadas y dirigidas mediante el uso de poleas, poleas dentadas gt2 de 20 dientes y dos motores Nema 17 (ver *Figura 5.17*).

El sistema de desplazamiento utiliza un carril Hiwin de una longitud de 750 mm para el desplazamiento del patín MGN12H que porta el carro del fusor (eje X). Este se une a un perfil de aluminio de 25x25 mm con longitud 835 mm unido a su vez en los extremos a otros dos patines mediante piezas de PLA. Los dos patines se desplazan en paralelo por carriles de 400 mm de longitud (eje Y).

Para dar base a los carriles sobre los que se desplazan los patines Hiwin MGN 12H y al redireccionado de las correas se utilizan piezas impresas en plástico PLA y tornillería de métrica 3 y 4 mm (ver *Figura 5.25*).

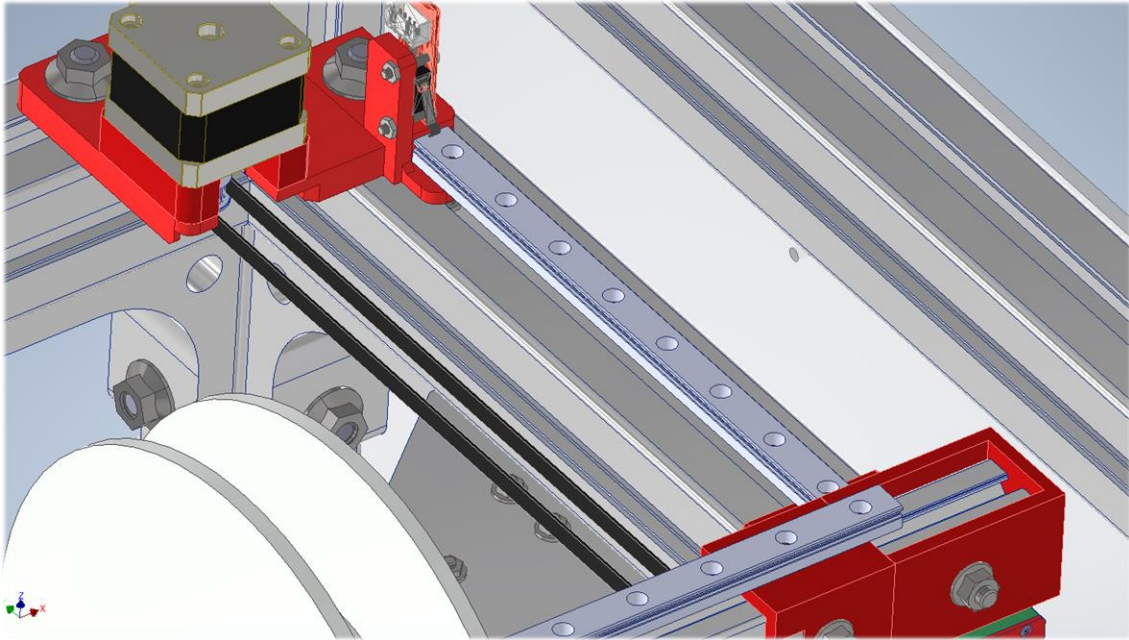


Figura 5.25: Componentes que conforman el sistema CORE XY; Motor Nema 17, polea dentada GT2 20 dientes, piezas de PLA, carriles Hiwin MGN 12H y correa dentada de una parte del sistema.

Para el sistema CORE XY se utilizan los siguientes componentes:

- 1 Uds. Correa dentada L = 5 metros.
- 2 Uds. Nema 17 modelo 17HS19-2004S1.
- 2 Uds. Polea GT2 20 dientes.
- 8 Uds. Polea con rodamiento.
- 2 Uds. Tubo para polea M9L23 mm.
- 2 Uds. Tubo para polea M9L33 mm.
- 2 Uds. Patín Hiwin MGN 12H.

- 2 Uds. Carril Hiwin MGN L400 mm.
- 1 Uds. Carril Hiwin MGN L750 mm.
- 1 Uds. Perfil 25x25 mm. L = 835 mm.
- 1 Uds. Sensor de final de carrera.
- 1 Uds. Pieza "C.10" de material PLA. Corresponde a la pieza que porta poleas a la esquina superior izquierda de la impresora.
- 1 Uds. Pieza "C.11" de material PLA. Corresponde a la pieza que porta poleas a la esquina superior derecha de la impresora.
- 1 Uds. Pieza "C.12" de material PLA. Corresponde a la pieza sujeta el carril Hiwin MGN L400 mm izquierdo sobre el perfil de la estructura principal.
- 1 Uds. Pieza "C.13" de material PLA. Corresponde a la pieza sujeta el carril Hiwin MGN L400 mm derecho sobre el perfil de la estructura principal.
- 2 Uds. Pieza "C.14" de material PLA. Corresponde a la pieza extremo del perfil de aluminio 25x25 mm que une a los patines que desplazan en el eje Y.
- 1 Uds. Pieza "C.15" de material PLA. Corresponde a la pieza interior del perfil de aluminio 25x25 mm que porta las poleas que redireccionan la correa al carro.
- 1 Uds. Pieza "C.16" de material PLA. Corresponde a la otra pieza interior del perfil de aluminio 25x25 mm que porta las poleas que redireccionan la correa al carro.
- 2 Uds. Pieza "C.18" de material PLA. Corresponde a la pieza que da apoyo al carril Hiwin MGN L750 mm y unión al perfil de aluminio de 25x25 mm.
- 2 Uds. Pieza "C.19" de material PLA. Corresponde a la pieza que da apoyo a los carrile Hiwin MGN L400 mm y unión al perfil de aluminio de 45x45 mm (estructura principal)
- 1 Uds. Pieza "C.20" de material PLA. Corresponde a la pieza que da apoyo a al motor Nema 17 superior izquierdo.
- 2 Uds. Pieza "C.21" de material PLA. Corresponde a la pieza que da apoyo a al motor Nema 17 superior derecho.
- 1 Uds. Pieza "C.22" de material PLA. Corresponde a la pieza que da apoyo al sensor final de carrera del eje Y.
- 1 Uds. Pieza "C.23" de material PLA. Corresponde a la pieza que da apoyo de altura extra al motor Nema 17.
- 4 Uds. Tornillo M5L60 mm.
- 2 Uds. Tornillo M5L45 mm.
- 8 Uds. Tornillo M3L5 mm.
- 5 Uds. Tornillo M3L8 mm.

- 26 Uds. Tornillo M3L12 mm.
- 10 Uds. Tornillo M3L40 mm.
- 6 Uds. Tuerca M5 mm.
- 27 Uds. Tuerca M3 mm.
- 6 Uds. Tornillo cabeza martillo M6L27 mm.
- 6 Uds. Tuerca brida M6 mm.
- 12 Uds. Tornillo cabeza martillo M8 mm.
- 12 Uds. Tuerca brida M8 mm.
- 1 Uds. Perfil L final de carrera.

F. CONTROL.

Los componentes de control de la impresora se pueden resumir en la placa base, fuente de alimentación, ventilador y cableado. Todos los componentes electrónicos traen cableado por defecto, pero debe tenerse en cuenta la sección de los cables en el caso de realizar empalmes para aumentar su longitud.

La conexión al bloque calentador del fusor se realiza con dos cables unipolares de sección de 1 mm con un cabezal de 5 mm de diámetro. Estos cables llevan un recubrimiento especial para soportar las altas temperaturas del mismo. Deben ser capaces de aguantar 12 V y 40W. Con las siliconas calefactoras se utilizan los mismos tipos de cables y además un relé de estado sólido.

Para el cableado de control se utilizan cables de sección 0.5 mm. Los componentes del sistema de control son:

- Placa base con procesador ESP32 y firmware desarrollado por Pedro Aguilar.
- Relé de estado sólido SSR 40 D-A.
- Fuente de alimentación DC 12V 30A 360W.
- Cableado de control extra para realizar empalmes.

G. AISLAMIENTO.

El aislamiento de la impresora en este punto no se hallaba desarrollado. Sin embargo, se encuentra desarrollado en la versión final del diseño 3D de la impresora con planchas de metacrilato, perfilaría de aluminio y algunos otros componentes.

H. COMPONENTES A ADQUIRIR Y PRESUPUESTO.

Algunos de los componentes descritos anteriormente se encontraron en los laboratorios, algunos formaban parte de proyectos deteriorados de los que se pudieron

extraer perfilera de aluminio y componentes para sus uniones. El resto de componentes fueron adquiridos de diferentes proveedores.

Para aclarar la procedencia, modelo del producto y coste, a continuación, se desarrolla la *Tabla 5.1* donde se encuentran todas las adquisiciones externas al material de laboratorio.

COMPONENTE	CANTIDAD	COSTE UNITARIO	COSTE
Nema 17 17HS19-2004S1 - 1.7A 0.59Nm (83.6oz.in) - 48mm con 1m 4-Pin Cable + 5Pcs Nema 17 Soporte	1	46,89 €	46,89 €
NEWSTYLE Fuente Alimentación 360 W	1	25,98 €	25,98 €
Fusor YOTINO Kit de metal completo; Hotend 5Pcs Extrusor Latón Print Head, 5Pcs Boquilla tubo extrusión para impresora 3D 1.75mm, ventilador y llave	1	16,99 €	16,99 €
Correa dentada YOTINO Correa de distribución GT2 6 mm de Ancho 5 Metros con 8 Piezas de polea de 20 Dientes, 16 Tornillos, Llave Allen	1	14,99 €	14,99 €
Almohadilla calefactora Tangxi 310x310mm	2	40,00 €	80,00 €
MK8 Extrusor, aluminio, 1.75mm Filament para Creality Ender 3/3 Pro CR-10, CR-10S, CR-10	1	11,99 €	11,99 €
Husillos M8 paso 2 mm pack 2 unidades	1	12,00 €	12,00 €
Relé SSR 40 DA	1	4,08 €	4,08 €
Soporte refrigeración de relé SSR 40 DA	1	2,93 €	2,93 €
Hotend Kit 3 ventiladores 12-24 V	1	15,70 €	15,70 €
Kit de 4 uds. Eje lineal de métrica 12 mm longitud 400 mm	1	30,00 €	30,00 €
Kit poleas de sincronización sin dientes Bore 5 mm Fit 6 mm belt	8	1,00 €	8,00 €

Acoplamiento flexible para motor paso a paso con relación 5/8 mm de diámetros	2	2,05 €	4,10 €
Rodamiento lineal LMU12 mm lote 4 unidades	1	9,97 €	9,97 €
Patín MGN 12 H + carril MGH 12H 400 mm	2	19,20 €	38,40 €
Patín MGN 12 H + carril MGH 12H 750 mm	1	31,60 €	31,60 €
Interruptores de final de carrera lote 8 unidades	1	5,00 €	5,00 €
Resortes helicoidales de acero de sección plana Dint 4 mm Dext 8 mm Longitud libre 25 mm Lote 10 unidades	1	3,50 €	3,50 €
Tuerca Husillo latón M8 mm paso 2 mm	2	0,90 €	1,80 €
Rollo de filamento PLA 1kg	1	20,00 €	20,00 €
Piezas de aluminio soporte 330x97,5x5 mm	4	5,00 €	20,00 €
Pieza de aluminio 620x630x3 mm	1	10,00 €	10,00 €
Cristal 620x300x3 mm	1	8,00 €	8,00 €
Escuadras 20x20x17 REF. 53301	8		15,00 €
Tornillos Cabeza Martillo M6 L16 + Tuerca canal 6. REF. 525113	40		15,00 €
Tuercas cuadradas Métrica Tuercas cuadradas M4 canal 6. REF. 52084	25		10,00 €
		COSTE TOTAL	461,92 €

Tabla 5.1: Componentes a adquirir procedentes del diseño inicial para el montaje de la impresora.

Se debe tener en cuenta que la *Tabla 5.1* solamente equivale al diseño y montaje inicial, el cual carece de aislamiento. Éste es añadido en el diseño final y la estimación de su coste es de 100 euros aproximadamente, en función del proveedor.

Además, decir que en los anexos se encontrarán los planos completos del diseño final de la impresora con todas las modificaciones aplicadas y la lista de componentes.

5.1.4. CÁLCULOS INVOLUCRADOS EN EL DISEÑO INICIAL.

Atendiendo a la metodología de cálculo desarrollada en el *Capítulo 4.5* y a los componentes que forman parte del planteamiento inicial vistos en el *Capítulo 5.1.3*, pueden llevarse a cabo los cálculos que definan si el diseño y los componentes son los adecuados a nivel mecánico.

A. SISTEMAS DE DESPLAZAMIENTO VERTICAL EN (Z).

Con el planteamiento desarrollado en el *Capítulo 4.5.2* y los datos extraídos de los componentes, se pueden calcular los pares (Nm) que necesitarán los motores Nema 17 modelo 17HS19-2004S1 para levantar y bajar la cama y la superficie de impresión.

Para ello primero debemos tener en cuenta el husillo y el collarín que se han descrito en los componentes:

- Husillo de acero de métrica 8 mm, paso 2 mm y longitud 300 mm.
- Tuerca collarín de latón de métrica 8 mm, paso 2 mm.

Para estos se debe de tener en cuenta un tipo de rosca trapezoidal donde:

- D_1 ó D_m (Diámetro de paso) = 8 mm
- Ángulo de hélice = $0.5 \cdot 30^\circ = 15^\circ$
- Paso (P) = 2 mm.
- Avance (l) = $2 \cdot$ Paso (rosca doble) = 4 mm.
- D_c (Diámetro de collarín) = 16 mm.
- f (coeficiente de fricción) = f_c (coeficiente de fricción de la tuerca collarín) = 0.15 (acero – acero).

Considerando para cada motor una masa sobredimensionada de 10 kg, el peso que aguanta cada uno resulta en 98.1 N.

- $F = 98.1$ N.

Con estos datos y la aplicación de las ecuaciones *Ec.12* y *Ec.13* obtenemos los siguientes momentos o par de subida T_R y bajada T_L .

$$T_R = 0.2442 \text{ Nm} = 24.42 \text{ Ncm.}$$

$$T_L = 0.1162 \text{ Nm} = 11.62 \text{ Ncm.}$$

Una vez se tienen los pares necesarios basta con consultar la curva de trabajo que relaciona el par (Nm) que es capaz de dar el motor con su velocidad de giro (rpm). Para ello consultamos la *Figura 5.26* a continuación.

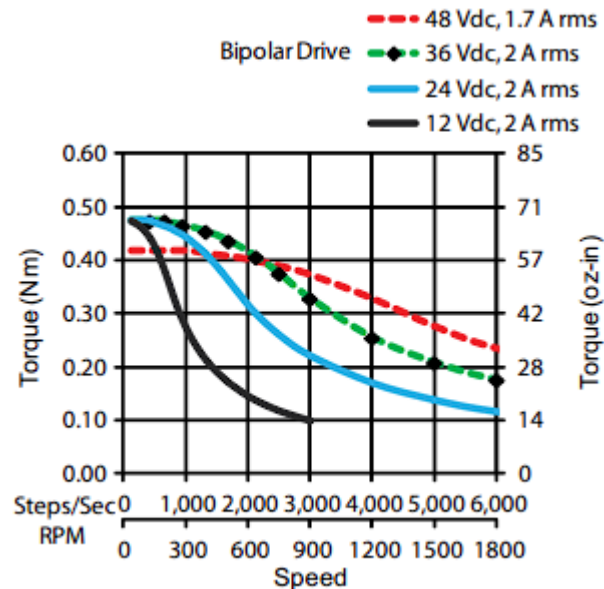


Figura 5.26: Curva de par (Ncm) en relación a la velocidad de giro del motor (rpm) y y frecuencia en pasos por segundo a diferentes voltajes.

Este modelo de motor trabaja a 12 V y 2 A. La velocidad de giro de los motores se mantiene constante por motivos de programación, correspondiente a la velocidad para el par de subida o retención.

Con la *Figura 5.26* se comprueba que con 24 Ncm la velocidad de giro máxima es de 300 rpm aproximadamente. La velocidad lineal máxima de subida y bajada puede calcularse con el producto del avance de la rosca por la velocidad de giro (en rad/s), resultando en 125.6 mm/s.

El motor puede aguantar el par de retención siempre y cuando no se supere la velocidad de 300 rpm con el husillo seleccionado.

B. PANDEO EN HUSILLOS.

Para comprobar si existe pandeo por compresión axial en el husillo, se atiende al planteamiento descrito en el *Capítulo 4.5.3*. La configuración en función de la fijación de los componentes equivale a empotrada – apoyada con constante $C = 2$.

Para comprobar si existe pandeo se calcula la carga crítica de pandeo con la ecuación *Ec. 15*, pero antes se debe conocer los parámetros del husillo:

- E (Módulo de Young del acero) = 210 GPa.

- Radio (radio del husillo) = 4 mm.
- $I_{x,y}$ (Momento de inercia de la sección circular del husillo) = $\frac{1}{4} \pi r^4 = 201.1 \text{ mm}^4$.
- L (Longitud ente el extremo inferior del husillo y la tuerca collarín), a diferentes puntos de altura del husillo:
 - Punto A: $L_A = 250 \text{ mm}$.
 - Punto B: $L_B = 150 \text{ mm}$.
 - Punto C: $L_C = 70 \text{ mm}$.

La carga crítica para los tres puntos de la barra aplicando la ecuación Ec. 15 resulta en:

$$P_{CRA} = 1399.4 \text{ N}$$

$$P_{CRB} = 3887.3 \text{ N}$$

$$P_{CRC} = 17850 \text{ N}$$

La carga crítica para los tres puntos de la barra debe compararse con el peso en esos tres puntos, suma del peso de la plataforma ($P = 50 \text{ N}$) y el de la pieza con diferente volumen a cada altura (o a cada punto).

Este volumen se calcula multiplicando la altura variable de la pieza $H = 290 \text{ mm} - H$ (Punto A, B, C) mm con la sección máxima delimitada por la superficie de impresión, $595 \times 300 \text{ mm}$. El peso en los tres puntos se calcula con la densidad del material utilizado, en el caso del PLA (pieza sólida), 1.24 g/cm^3 .

De manera que para los tres puntos se obtiene que:

- Punto A: $H_A = 40 \text{ mm}$. $\rightarrow P = 9.81 \text{ m/s}^2 \cdot (500 \text{ g} + 1.24 \text{ g/cm}^3 \cdot 59.5 \text{ cm} \cdot 30 \text{ cm} \cdot H_A) \rightarrow P_A = 137 \text{ N}$.
- Punto B: $H_B = 130 \text{ mm}$. $\rightarrow P = 9.81 \text{ m/s}^2 \cdot (500 \text{ g} + 1.24 \text{ g/cm}^3 \cdot 59.5 \text{ cm} \cdot 30 \text{ cm} \cdot H_B) \rightarrow P_B = 333 \text{ N}$.
- Punto C: $H_C = 220 \text{ mm}$. $\rightarrow P = 9.81 \text{ m/s}^2 \cdot (500 \text{ g} + 1.24 \text{ g/cm}^3 \cdot 59.5 \text{ cm} \cdot 30 \text{ cm} \cdot H_C) \rightarrow P_C = 531 \text{ N}$.

Si se compara estas cargas con las críticas, se ve que en ninguno de los puntos se supera la carga crítica de pandeo.

$$P_{CRA} = 1399.4 \text{ N} > P_A = 137 \text{ N}$$

$$P_{CRB} = 3887.3 \text{ N} > P_B = 333 \text{ N}$$

$$P_{CRC} = 17850 \text{ N} > P_C = 531 \text{ N}$$

C. CICLO DE VIDA EN HUSILLOS.

Como se ha visto anteriormente, los husillos de la impresora están sometidos a cargas axiales de manera constante y existe una fatiga que puede llegar a causar la rotura del elemento. El cálculo de los ciclos de vida se halla explicado en el *Capítulo 4.5.4* y ahora con los husillos seleccionados se pueden conocer los datos de entrada para conocerlos.

Para ello, se debe utilizar la ecuación *Ec. 21* donde el número de ciclos queda definido por la tensión de la carga axial en la sección del husillo y las constantes “a” y “b”. Para el cálculo de estas constantes se utilizan las ecuaciones *Ec. 19* y *Ec. 20*. Donde se tienen en cuenta varios factores:

- Valor de S_{ut} (resistencia a la tensión mínima) consultado en la tabla de anexos de *A.22 de Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Para el acero inoxidable recocido del husillo de $S_{ut} = 568 \text{ MPa} = 82.4 \text{ kpsi}$.
- Conocido S_{ut} , con la *Ec. 16* se obtiene que S_e (resistencia a fatiga para viga rotativa), resultando en $S_e = 568/2 \text{ MPa} = 284 \text{ MPa}$.
- Valor del factor de resistencia a fatiga f obtenido de la *Figura 4.57* en relación a S_{ut} con un valor de $f = 0.87$.

Sustituyendo los valores de S_{ut} , S_e y f en *Ec. 19* y *Ec. 20* se obtienen las constantes:

$$a = 859.84 \text{ MPa}$$

$$b = -0.08018$$

La tensión generada viene definida por la carga axial en la sección del husillo. Para la carga axial se considera el valor más desfavorable en el cual el husillo soporta el peso de la cama y el de una pieza impresa con dimensiones máximas, calculado para el punto “C” del apartado anterior sobre pandeo en el husillo con valor de $P_C = 531 \text{ N}$.

La sección del husillo se calcula con diámetro de paso de 8 mm del husillo, resultando en $A = \pi D^2/4 = 50.27 \text{ mm}^2$. La división de P_C / A equivale a la tensión con valor $\sigma_{inv} = 10.56 \text{ MPa}$.

Aplicando la *Ec. 21* para el número de ciclos de vida útil utilizando los valores de tensión y de constantes “a” y “b” se obtiene:

$$N = 6.77 \cdot 10^{23} \text{ ciclos de vida}$$

El resultado es de un número de ciclos de vida mayor a 10^6 , por lo que se deduce que no habrá rotura a fatiga a causa de la carga axial.

C. CARRILES Y PATINES GUÍA PARA DESPLAZAMIENTOS X-Y.

Utilizando carriles MGN 12H para los desplazamientos se obtiene una mayor suavidad en el desplazamiento del carro extrusor a lo largo de los ejes X e Y. Sin embargo, existen una serie de parámetros de cálculo a tener en cuenta, como se ha detallado anteriormente en el *Capítulo 4.5.6*. Las características para el carril MGN 12H vienen dadas por *Tecnopower Transmisión y movimiento lineal* y son las siguientes. [23]

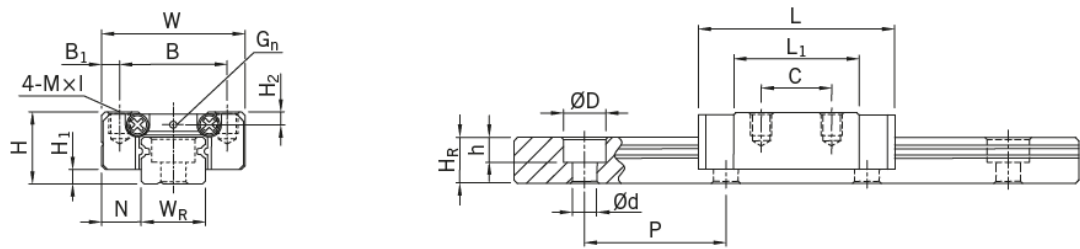


Figura 5.27: Dimensiones de patín Hiwin MGN 12H y carril MGN. [24, pp. 89]

Series / tamaño	Dimensiones instalación (mm)			Dimensiones del patín (mm)										Capacidades de carga (N)		Peso (kg)
	H	H ₁	N	W	B	B ₁	C	L ₁	L	G	G ₁	M x l	H ₂	C _{dyn}	C ₀	
MGN05C	6	1,5	3,5	12	8	2,0	-	9,6	16,0	-	Ø 0,8	M2 x 1,5	1,0	540	840	0,008
MGN05H							-	12,6	19,0					670	1.080	0,010
MGN07C	8	1,5	5,0	17	12	2,5	8	13,5	22,5	-	Ø 1,2	M2 x 2,5	1,5	980	1.245	0,010
MGN07H							13	21,8	30,8					1.372	1.960	0,020
MGN09C	10	2,0	5,5	20	15	2,5	10	18,9	28,9	-	Ø 1,4	M3 x 3	1,8	1.860	2.550	0,020
MGN09H							16	29,9	39,9					2.550	4.020	0,030
MGN12C	13	3,0	7,5	27	20	3,5	15	21,7	34,7	-	Ø 2	M3 x 3,5	2,5	2.840	3.920	0,030
MGN12H							20	32,4	45,4					3.720	5.880	0,050
MGN15C	16	4,0	8,5	32	25	3,5	20	26,7	42,1	4,5	M3	M3 x 4	3,0	4.610	5.590	0,060
MGN15H							25	43,4	58,8					6.370	9.110	0,090

Tabla 5.2: Características de patín Hiwin MGN 12H y carril MGN. [24, pp. 89, T 3.84]

En la *Figura 5.27* y la *Tabla 5.2* pueden verse las características técnicas del patín, necesarias para los cálculos.

La masa que se va a posar sobre los patines se estima en 3 kg, pero para los cálculos se sobredimensiona al doble para asegurar que los componentes siguen siendo válidos en caso de modificaciones futuras. Por lo que el peso utilizado es de $P = m \cdot g = 6 \text{ kg} \cdot 9.81 \text{ m/s}^2 = 58.86 \text{ N}$.

- Capacidades de carga.

La capacidad de carga estática del patín es de $C_0 = 5880 \text{ N}$ según la *Tabla 5.2* y con él y la carga se puede realizar el cálculo del factor de seguridad estructural estática F_{SL} . Para ello se utiliza la *Ec. 30*, de la cual se deduce:

$$F_{SL} = C_0 / P = 99 \text{ N}$$

Si se compara este valor con los mínimos para carga normal y de impacto de la *Tabla 4.4* se ve que el coeficiente está por encima del mínimo por lo se cumple sobradamente para la impresora. De hecho, se necesitarían más de 200 kg para que el factor quedara por debajo del límite según el fabricante.

La capacidad de carga dinámica viene reflejada en la *Tabla 5.2* con valor de $C_{dyn} = 3720 \text{ N}$.

- Cálculo de vida útil nominal con factores de contorno.

Atendiendo a los factores descritos en los fundamentos, tanto el factor de dureza f_h como el de temperatura f_t son de valor la unidad. Esto es debido a que la dureza de las guías lineales es de 58 HRC y a que la temperatura no supera los 100 °C en la máquina, aunque puede rodar los 40 °C.

Para el factor de carga f_w se consulta la *Tabla 4.5* donde se escoge una carga normal con velocidad de desplazamiento de entre 15 m/min y 60 m/min con $f_w = 1.5$.

Utilizando la *Ec.33* y los valores anteriores se puede calcular la vida útil nominal L (km) que realizaría el patín MGN 12H hasta su deterioro y mal funcionamiento. Con la *Ec. 35* puede calcularse la vida nominal en horas teniendo en cuenta la velocidad lineal de desplazamiento, que se estima en 15 m/min. De manera que:

$$L > 1\,000\,000 \text{ km}$$

$$L_H = 14024763 \text{ horas}$$

Los resultados sugieren una vida teórica muy alta debido a la baja carga dinámica (P) que sostienen los patines. Realmente, el patín se deterioraría antes de los valores estimados.

D. DEFLEXIÓN EN LOS RESORTES DE LA CAMA.

En la cama se utilizan ocho resortes helicoidales de sección rectangular de acero. En ellos se posa la plancha de aluminio y el cristal que sirven de superficie de impresión, sumando el peso de las piezas. El punto más desfavorable para los muelles es aquel en el que la cama baja su máximo y se imprime una pieza de volumen sólido máximo de material plástico. Para el peso se escoge el estimado en el apartado de pandeo en los husillos en el punto C, $P_C = 531 \text{ N}$. Esta se divide entre los 8 muelles quedando en $P_{MUELLE} = 66.58 \text{ N}$.

Los parámetros del resorte helicoidal que se deben conocer antes de pasar a los cálculos descritos en el *Capítulo 4.5.7* son:

- $b = 2 \text{ mm} \rightarrow$ Sección transversal perpendicular al eje del muelle (mm).
- $h = 1 \text{ mm} \rightarrow$ Sección transversal paralela al eje del muelle (mm).
- $I_f = 12 \rightarrow$ Número de vueltas o bobinas del muelle que trabajan a compresión.
- $D_m = 6 \text{ mm} \rightarrow$ Diámetro externo (mm).
- $D_o = 8 \text{ mm} \rightarrow$ Diámetro medio o principal del muelle (mm).
- $D_i = 4 \text{ mm} \rightarrow$ Diámetro interior (mm).
- $W = 3 \rightarrow$ Relación de bobinado. Donde $w = D_m / b$.
- $G = 7.85 \cdot 10^4 \text{ MPa}$ (Acero) $\rightarrow$ Módulo de rigidez (N/mm^2).
- $L_0 = 25 \text{ mm} \rightarrow$ Longitud libre del muelle (mm).

Para conocer los valores de Ψ , se consulta la *Figura 4.72* relacionando $b/h = 2$ con la relación de bobinado W obteniendo un valor de coeficiente de tensión de $\Psi = 3.4$. Para conocer los valores de ε , se consulta la *Tabla 4.6*. Con la relación de la sección transversal $b/h = 2$, obteniendo un coeficiente de deflexión de $\varepsilon = 6.84$.

Con estos valores se puede completar la ecuación *Ec. 38* calculando la tensión a compresión R_S (MPa) bajo la carga de $P_{MUELLE} = 66.58 \text{ N}$. Con la *Ec. 39* se obtiene la deflexión f (mm).

$$R_S = 640.3 \text{ MPa}$$

$$f = 3.76 \text{ mm}$$

Cada muelle podría aguantar 6 kg de peso aproximadamente con una compresión de 3.5 mm. En el software de desarrollo 3D *AutoDesk Inventor* se llevó a cabo la simulación de la compresión en estudio estático con la carga P_{MUELLE} y contactos simplificados a dos bases en cada extremo del resorte. El estudio de mallado divide los

componentes en elementos de tamaño medio de 0.1 mm con un refinado del 75 % (ver *Figura 5.28*).

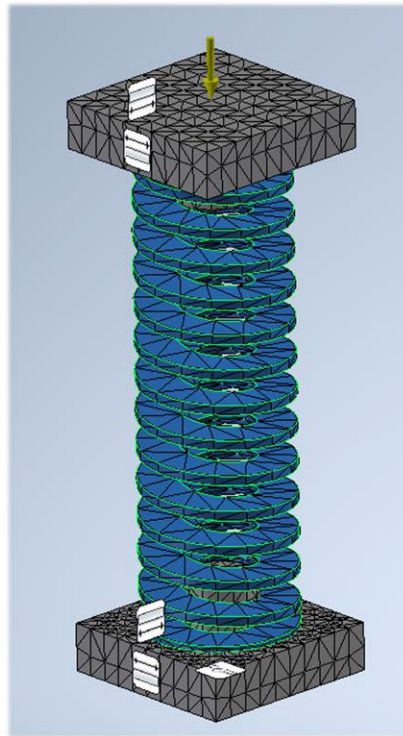


Figura 5.28: Mallado de propuesta de resorte helicoidal. División en 9991 elementos utilizando 17708 nodos.

Con este mallado, los resultados en la tensión Von Mises y desplazamientos verticales son los de la *Figura 5.29* siguiente:

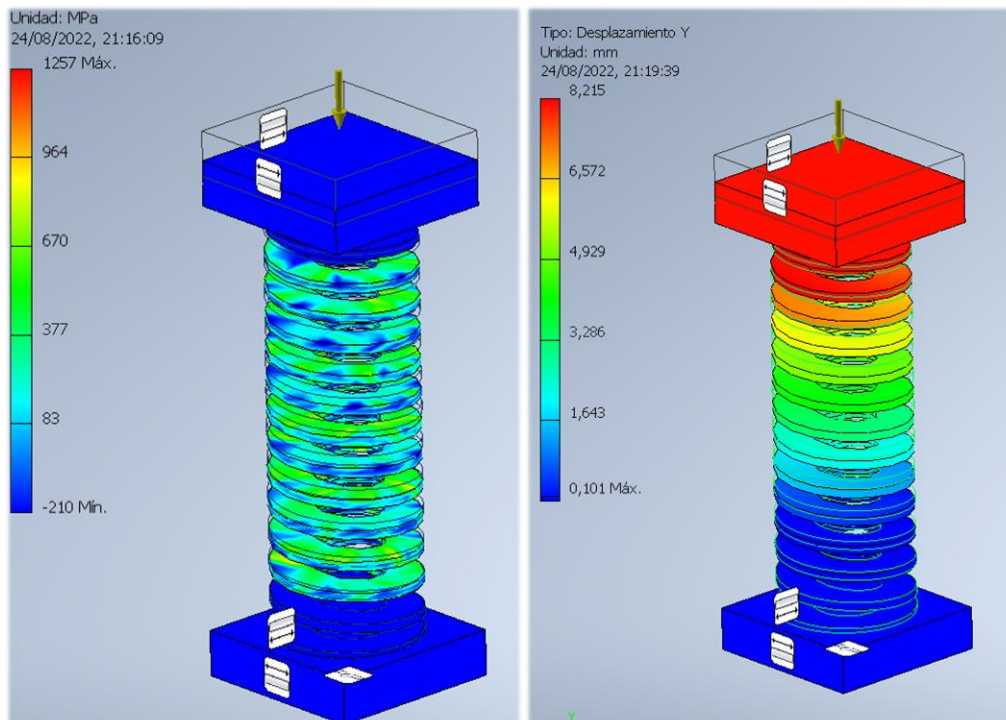


Figura 5.29: Análisis de elementos finitos con restricciones de movilidad lateral. Los resultados a la izquierda indican la tensión de Von Mises (MPa) y los de la derecha la flecha de desplazamiento vertical.

Si comparamos los resultados con los de la Figura 5.29 para la tensión Von Mises y la tensión del resorte obtenemos valores similares. Sin embargo, para el desplazamiento se tienen 5 mm más de compresión.

Se debe tener en cuenta que en cualquiera de los dos casos; teórico y de simulación estática, el resorte no se comprime al máximo en el caso más desfavorable, pues tiene una longitud libre de 25 mm, por lo que en el caso experimental no se tendría problema.

E. SECCIÓN DE CABLES.

El cálculo de sección de cables es necesario para los cables del fusor *hotend*, el cual trabaja con 40 W de potencia a 12 V, deduciendo una intensidad de 3.3 A.

Para el cálculo de secciones del cableado en caso de corriente alterna, según la Ley de Ohm:

$$\Delta V = RI \cos \varphi$$

$$I = \frac{P}{V}$$

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

Si despejamos la sección:

$$S = \frac{L \cdot I \cdot \cos \varphi}{V \cdot \sigma}$$

Donde:

- $V = 12 \text{ V} \rightarrow$ es la tensión de salida en voltios.
- $\cos \varphi$ con valor de monofásica = 1.
- $I = 3.3 \text{ A} \rightarrow$ es la intensidad en amperios.
- $P = 40 \text{ W}$ es la potencia en watios.
- ρ es la resistividad del conductor (cobre o aluminio) con conductividad $\sigma = 1/\rho$. $\rho_{Cu} = 0,017$
- $L = 1000 \text{ mm} \rightarrow$ es la longitud del cable en mm.
- S la sección del cable en mm^2 .

De aquí se deduce una sección de cable de 4.7 mm. Con lo que la sección del cable para el *hotend* debe de ser de la comercializada de 6 mm. Consultando la *Tabla 4.2* para cables unipolares de sección 6 mm² se deduce una tensión admisible mayor a 3.3 A, por lo que su uso sería correcto.

El fusor *YOTINO V6* está provisto de cables de sección aproximada con recubrimiento resistente a altas temperaturas. Es un producto comercializado que incluye los cables necesarios adaptados al bloque calentador.

5.2. PROCESO DE FABRICACIÓN Y MONTAJE.

Teniendo en cuenta el diseño previo a la fabricación descrito en el *Capítulo 5.1.2*, la impresora comenzó su fabricación y montaje. Para ello se utilizaron las instalaciones de laboratorios de mecánica de la Escuela Politécnica superior de Linares contando además con la ayuda y consejos de los técnicos de laboratorio Mario Miró (Departamento de Ingeniería Fluido-mecánica) y Pedro Aguilar (Departamento de Ingeniería de Telecomunicación).

El proceso de montaje que se llevó a cabo y se describe comenzó con la estructura principal, seguido de los sistemas de elevación vertical (Z), cama y superficie de impresión, sistema CORE XY y electrónica hasta conseguir las primeras impresiones. Los componentes utilizados en el proceso son los detallados en el *Capítulo 5.1.3*, sin embargo, durante el proceso se llevaron a cabo modificaciones que se detallarán en el apartado del diseño final.

5.2.1. ESTRUCTURA PRINCIPAL.

Para la estructura principal se utilizaron perfiles de aluminio de 45x45 mm, además de escuadras 42x42x42 mm de aluminio fundido, escuadras de aluminio adonizado de 84x84x40 mm y tornillos de cabeza de martillo y tuercas de métrica 8 mm. Estos perfiles procedían de otro proyecto obsoleto del que pudieron obtenerse:

- 4 Uds. Perfil de aluminio 45x45, L = 2 m.
- 2 Uds. Perfil de aluminio 45x45, L = 2.5 m.
- 2 Uds. Perfil de aluminio 45x45, L = 1 m.

Para poder adaptar estas barras a las del diseño de la estructura se utilizó la máquina de sierra de cinta para metal (*Figura 5.30*), cortando las barras y obteniendo así:

- 6 Uds. Perfiles de aluminio 45x45 mm, L= 755 mm.
- 4 Uds. Perfiles de aluminio 45x45 mm, L= 625 mm.
- 6 Uds. Perfiles de aluminio de 45x45 mm, L= 500 mm.



Figura 5.30: Corte de perfiles de aluminio con sierra de cinta de corte para metal OPTIMUM.

Hubo que tener en cuenta el grosor de la cinta de corte en las mediciones, dejando al menos 5 mm para salvar las distancias. Con los perfiles cortados, las escuadras de aluminio fundido y los tornillos de cabeza de martillo y tuercas de métrica 8 mm se procedió al montaje de la estructura principal.

Para poder montar los tornillos de cabeza de martillo en perfilería de aluminio (compatible con el canal del perfil) primero se introduce la cabeza en el canal y posteriormente se rota en sentido horario 90°, como puede verse en la *Figura 5.31*.

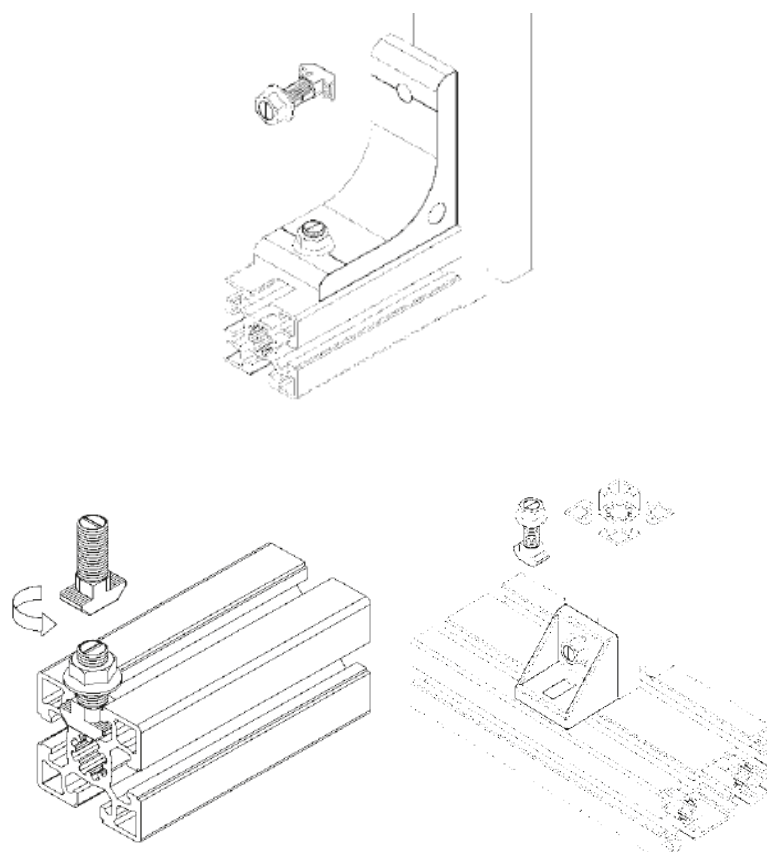


Figura 5.31: Montaje de tornillería y escuadras en perfiles de aluminio.

Antes de comenzar a montar se liman las secciones de corte realizadas en la perfilera para evitar cortes y se comienzan a montar los perfiles mediante las escuadras y la tornillería sin un apriete elevado utilizando como herramienta la llave combinada de 13 mm para las tuercas de brida de métrica 8 mm. Es importante no apretar demasiado las uniones debido a que más tarde han de ajustarse las uniones y los perfiles utilizando un nivel de burbuja para todos los perfiles, dejando una nivelación con la burbuja justo en medio del rango del nivel. Una vez hechas las lecturas y los ajustes se realizan un apriete mayor en las tuercas evitando así posibles aflojes por vibraciones. El resultado de la estructura principal se muestra en la *Figura 5.32*.



Figura 5.32: Estructura principal de la impresora FDM.

A los perfiles verticales se le añaden cuatro pies ajustables de base poliamidas procedentes del laboratorio de mecánica para el apoyo en mesas o suelos. Estas tienen una rosca de métrica 8 mm para su inserción en la sección del perfil (ver *Figura 5.33*) y de igual manera se aprieta con una llave combinada de 13 mm.

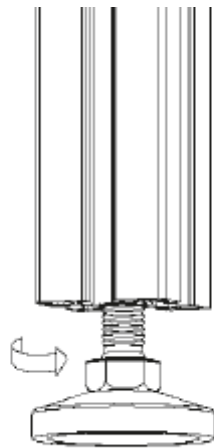


Figura 5.33: Pies de poliamida para la estructura.

Se ajusta la nivelación de la estructura en base al roscado de los pies de poliamida y la estructura principal queda lista para montar el resto de conjuntos en ella.

5.2.2. CAMA Y SUPERFICIE DE IMPRESIÓN.

La construcción de la cama se comenzó con la estructura principal que sostenía todos los componentes, compuesta principalmente por:

- 2 Uds. Perfil de aluminio 25x25 mm, L = 750 mm.
- 2 Uds. Perfil de aluminio 25x25 mm, L = 245 mm.
- 8 Uds. Escuadra 20x20x17 de aluminio fundido.
- Soportes de PVC.

Los perfiles se cortaron de un perfil de 2.5 metros encontrado en el laboratorio de mecánica con la sierra de cinta de corte que se ve en la *Figura 5.30*. Una vez cortados y limados sus extremos, se dejaron apartados para preparar el resto de piezas de PVC.

Las piezas de PVC se obtuvieron a partir de planchas de 8 mm de espesor y fueron mecanizadas en el CNC (Control Numérico Computarizado) de los laboratorios, como las que vemos en la *Figura 5.34*, correspondientes a los soportes de la tuerca collarín y los rodamientos lineales y a otras que dan apoyo para nivelar la superficie de impresión.

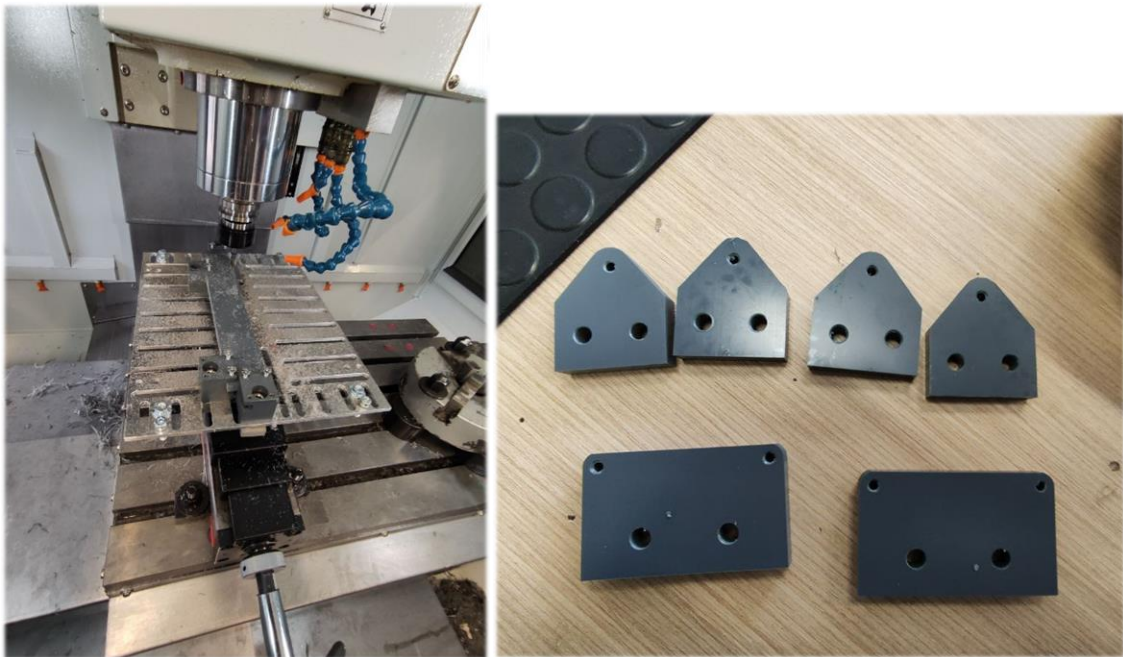


Figura 5.34: Uso de CNC para mecanizado de soportes; soportes para tuerca collarín y rodamientos guía en proceso de mecanizado (izquierda) y soportes para nivelar la superficie de impresión (derecha).

Para su uso, primero hubo que medir con exactitud las cogidas de la mordaza y programar los cambios de herramienta en el CNC utilizando el software *Fusion 360* donde se cargaban las piezas del diseño 3D realizadas en *Autodesk Inventor* en formato *.stp*. Con la ayuda de Mario Miró se realizó el código y se insertó en la máquina CNC, mecanizando de los elementos de PVC con resultados impecables.

Tras esto se montó la estructura principal de la cama con uniones de tornillería Allen y tuercas hexagonales de métrica 4 mm, con los tornillos de cabeza de martillo y tuercas de métrica 6 mm y tornillos de métrica 6 mm con tuercas cuadradas de inserción a canal de 6 mm del perfil (*Figura 5.34*).

Todo el montaje se llevó a cabo con la medición exacta utilizando un pie de rey y los aprietes ligeros en las uniones para poder nivelar correctamente la estructura con el nivel de burbuja. Tras ello, se realiza un apriete global mayor al inicial para evitar la separación de las uniones en las posteriores vibraciones en movimiento.

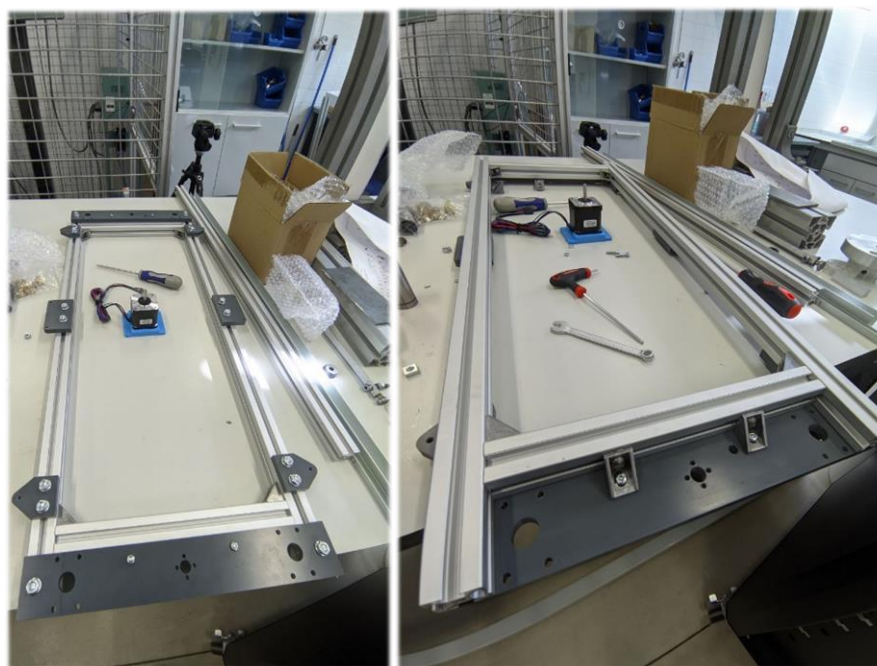


Figura 5.35: Montaje de perfiles de 25x25 mm junto a piezas de PVC mediante escuadras 20x20x17 mm, tornillería de métrica 4 mm.

Una vez montados los soportes principales y la estructura, se instalaron:

- 2 Uds. Tuerca collarín con tornillos Allen y tuercas de métrica 3 mm.
- 4 Uds. Piezas de PLA con tornillos Allen y tuercas de métrica 4 mm.
- 2 Uds. Rodamientos lineales LMU12 mm en piezas de PLA insertadas por presión.

Para las piezas de PLA se utilizó la impresora 3D de los laboratorios Anet A8 con una configuración de relleno del 70% a una altura de capa de 0.4 mm con boquilla de 0.8 mm.

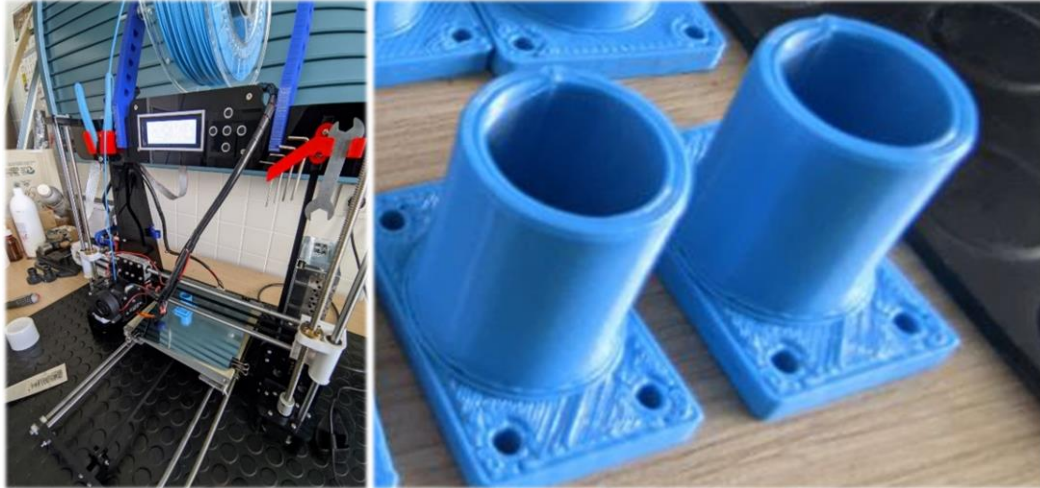


Figura 5.36: Anet A 8 imprimiendo las piezas que dan soporte a los rodamientos LMU12 mm. La imagen de la derecha muestra dos de ellas.

Como puede verse en las piezas impresas de la *Figura 5.36*, el acabado superficial no es tan bueno, pero siguen siendo piezas funcionales que se llevan al montaje y son montadas junto a los rodamientos LMU12 mm con la tornillería descrita ambos lados de los dos soportes de PVC. Además, se montan las tuercas collarín que roscan al husillo en mitad de las mismas (*Figura 5.37*).

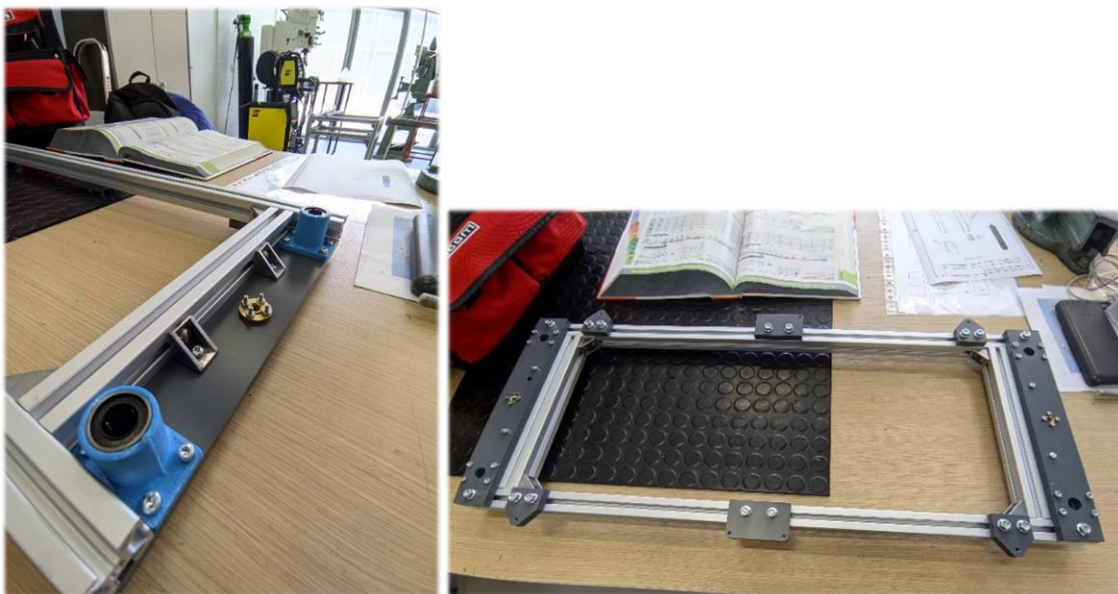


Figura 5.37: Estructura de la cama con soportes de PVC (grisáceas), tuercas collarín (doradas) y piezas de PLA (azules) en las que se encuentran insertados los rodamientos LMU12 mm.

Posteriormente, se realiza un taladro en el soporte derecho de PVC para añadir un tornillo que llegue a pulsar el interruptor de final de carrera en la subida de la cama. Este está alineado y ajustado manualmente con dos tuercas a cada lado del soporte de PVC para ajustar la pulsación del interruptor.

Tras recibir la plancha de aluminio de 620x330x3 mm mecanizada por parte del taller de mecanizado de la Universidad de Jaén, se adhieren las siliconas calefactoras Tangxi de 310x310 mm. Estas siliconas se pegan bajo la plancha de aluminio, dejando una distancia de 10 mm en el centro para que su cableado tenga espacio y en los laterales donde se encuentran las uniones, como puede verse en la *Figura 5.37*.

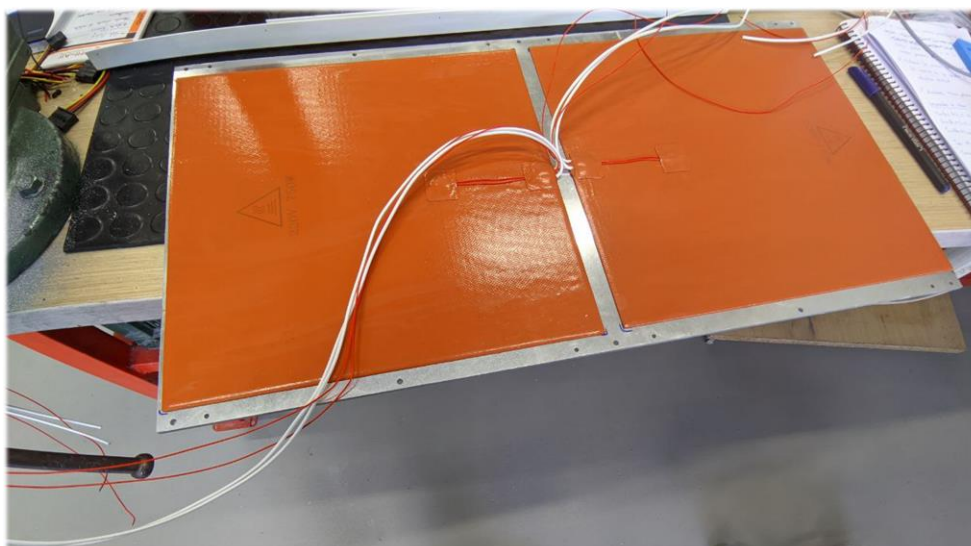


Figura 5.37: Estructura de la cama con soportes de PVC (grisáceas), tuercas collarín (doradas) y piezas de PLA (azules) en las que se encuentran insertados los rodamientos LMU12 mm.

Las siliconas calefactoras cuentan con termistores que dan información acerca de su temperatura (cable rojo de diámetro 0.5 mm) y cables de potencia (cable blanco de diámetro 1.5 mm) para llevar a cabo su calentamiento.

Tras la adhesión de las siliconas calefactoras pueden montarse los perfiles laterales que rigidizan la plancha de aluminio. Aunque en el diseño se preveía el uso de perfiles de aluminio en forma de L de 5x15 mm de espesor 1 mm, en los laboratorios se utilizaron perfiles en L de 15x15 mm con espesor de 1 mm y longitud de 620 mm, montándolos en el inferior de la cama. Esto se decidió así para evitar la falta de visión de la superficie de impresión, puesto que es necesario una buena visión para el calibrado con respecto a la boquilla del fusor.

Para la unión de los perfiles en la plancha se utilizaron tornillos de y tuercas hexagonales métrica 4 mm en cinco puntos diferentes a lo largo de cada lado, con agujeros realizados mediante el taladro en el perfil.

En este punto ya podía montarse la plancha de aluminio con estos añadidos a la estructura principal, para ello se utilizan ocho resortes helicoidales de sección cuadrada y longitud libre de 25 mm. Para cada uno; un tornillo de métrica 3 y longitud 45 mm pasa por la plancha, rigidizador, muelle y soporte de PVC en ese orden, donde finalmente es apretado como se muestra en la *Figura 5.38*.



Figura 5.38: Plancha de aluminio con siliconas calefactoras y rigidizador nivelada sobre los soportes de PVC de la estructura de la cama.

Para poder dejar la cama preparada para imprimir solo resta posar el cristal sobre la plancha de aluminio. Sin embargo, al no poseer el elemento se utilizó un cristal provisional de sección cuadrada 20x20 mm que sirvió para realizar las primeras pruebas de impresión. El resultado de este montaje se puede ver en la *Figura 5.39*, donde la cama monta con el sistema de elevación vertical.



Figura 5.39: Cama de la Impresora 3D FDM CORE XY en función del diseño inicial (falta el cristal descrito, que se posiciona en cualquiera de la superficie disponible y se sujeta con

El montaje de la cama y superficie de impresión que se muestra en la Figura 5.39 no es el final, sin embargo, esta configuración fue utilizada durante las primeras impresiones. En el *Capítulo 5.3* sobre el diseño final se detallan los cambios y la versión final de la cama incluyendo todas las modificaciones.

5.2.3. SISTEMA DE ELEVACIÓN VERTICAL.

Este conjunto se encuentra montado en los perfiles bajos y medios de los laterales de la estructura principal de la impresora.

Se compone de cuatro planchas de aluminio (*Figura 5.40*) ancladas a los perfiles con tornillos de cabeza de martillo, tuercas de métrica 8 mm y escuadras de aluminio fundido de 42x42x42 mm, como las de la *Figura 5.31.*, montadas con llave combinada de 12 mm para las uniones. Estas planchas son las que sirven de base para apoyar el resto de componentes y fueron fabricadas por encargo a los talleres de la Universidad de Jaén para realizar su corte por chorro por agua.

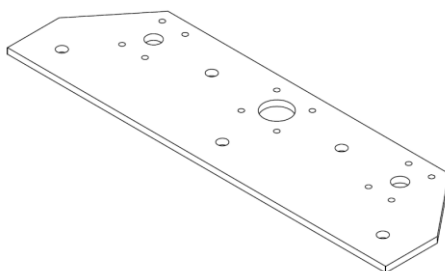


Figura 5.40: Soporte de aluminio. Pieza "B.1" del diseño.

Sobre éstas se unen las piezas de plástico PLA, que dan soporte a las guías de métrica 12 mm y los motores que producen el deslizamiento de la cama de la máquina. Estas piezas de plástico PLA se imprimieron en la máquina FDM *Anet A8* de los laboratorios, con relleno hexagonal de un 70 % a altura de capa 0.4 mm con boquilla de 0.8 mm.

Para su montaje se utilizaron tornillos de métrica 4 mm de cabeza plana Allen y tuercas hexagonales. Utilizando una llave hexagonal Allen y una llave ajustable se aprietan ligeramente las uniones y se insertan las varillas guía de métrica 12 mm en las piezas impresas en PLA (*Figura 5.41*)

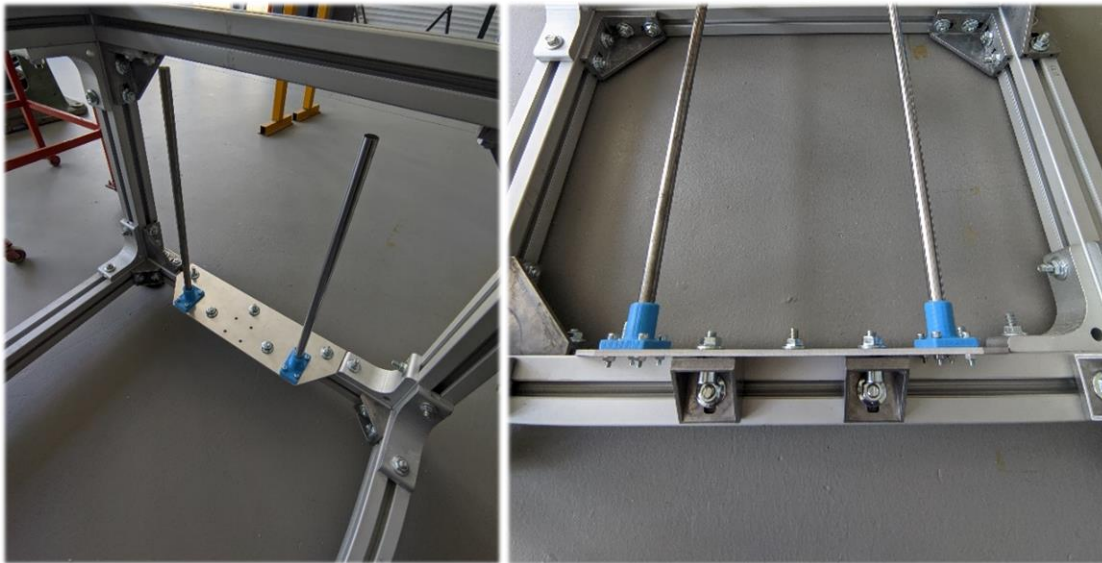


Figura 5.41: Montaje de soporte de aluminio junto a piezas impresas en PLA e inserción de varillas guía en ellas.

Hay que tener en cuenta que las piezas impresas en 3D deben de tener una tolerancia de 1 – 2 mm en los agujeros. Esto es debido a que la impresión en la *Anet A8* dejaba cordones verticales en las paredes interiores, por lo que hubo que utilizar el taladro con broca de métrica 12 mm para que el encaje de las varillas guía fuera posible.

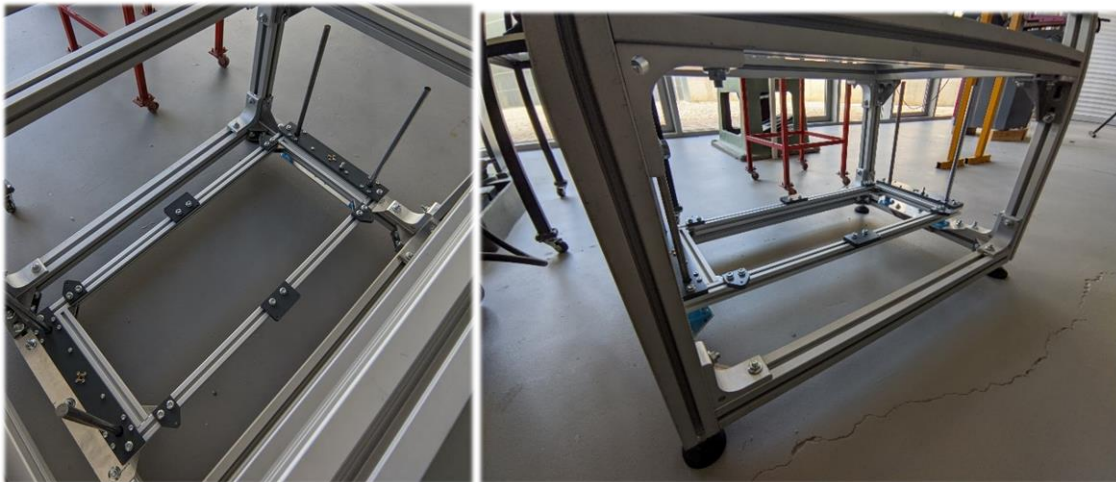


Figura 5.42: Cama en proceso de montaje insertada en las 4 guías del sistema de desplazamientos verticales.

Una vez posicionados a ambos laterales los elementos de la *Figura 5.35*, se lleva a cabo la inserción del conjunto cama montado anteriormente en el *Capítulo 5.2.2*, de manera que los rodamientos LMU12 mm rueden por las guías verticalmente (*Figura 5.36*).

El siguiente paso es colocar los motores que suben la cama sobre las dos planchas de aluminio inferiores con uniones de tornillos Allen de cabeza plana y métrica 3 mm.

Una vez montados y unidos, a cada uno de ellos se les acopla a su vez el husillo de métrica 8 mm y avance 4 mm mediante un acople flexible, pasando por la cama para llegar al motor. Este acople tiene una relación de diámetros de 5 mm (que va al eje del motor) a 8 mm (donde se inserta el husillo) con dos tornillos Allen de métrica 2 mm para el apriete a la cara plana del eje del motor y a la rosca del husillo perpendicularmente al eje Z (*Figura 5.43*).

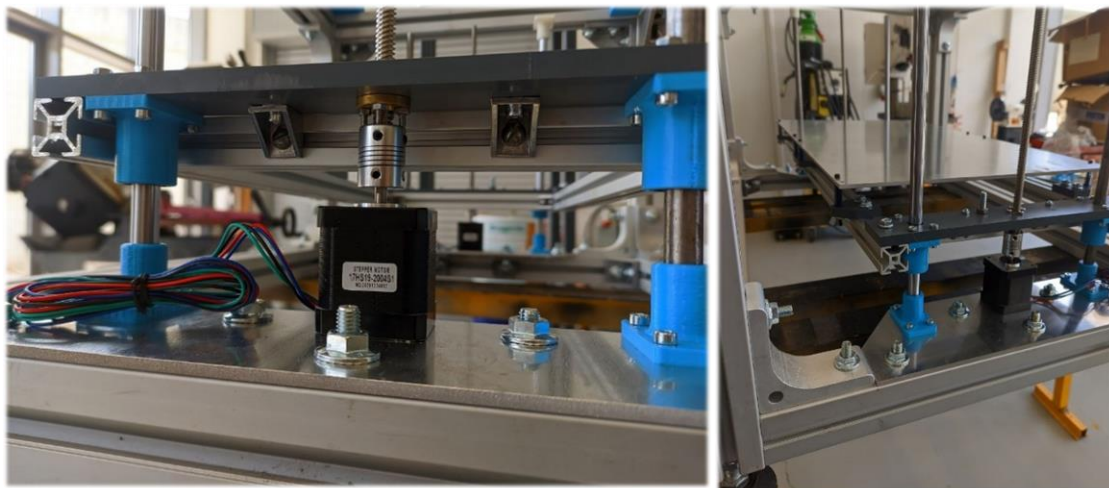


Figura 5.43: Acople de motores, acoples flexibles y husillos al sistema de desplazamientos vertical (Z) con fabricación de la cama en fase avanzada.

En este punto, se comprobó si los motores eran capaces de levantar y bajar la cama con una placa improvisada por Pedro Aguilar. Se verificó que los motores contaban con el par suficiente para levantarla y bajarla, aunque existía algo de caída debido a que se tenía una velocidad demasiado alta.

Para las sujeciones superiores se tenían preparadas las otras dos planchas de aluminio, cada una con otras dos piezas de PLA que sujetarían y mantendrían fijas las guías (misma pieza que su inferior) y una pieza que daba sujeción al rodamiento de bolas rs 608 de métrica 8 mm para el giro del husillo (*Figura 5.44*) con uniones de métrica 3 (Allen).

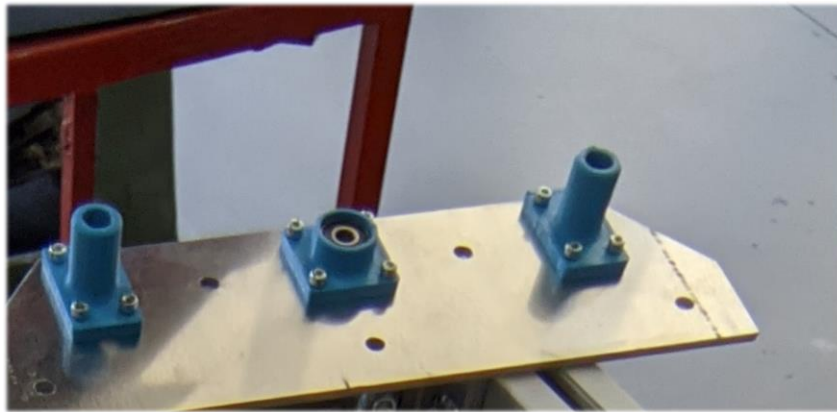


Figura 5.44: Soporte superior de aluminio, junto a piezas de PLA encargadas de sujetar guías y al rodamiento lineal.

Sin embargo, más tarde se volvieron a fabricar las piezas superiores que sujetaban las guías con un diseño con mayor tolerancia que facilitando su inserción en las guías. Se sustituyeron y se montaron los elementos superiores para cerrar el sistema de desplazamientos vertical en Z (*Figura 5.45*).

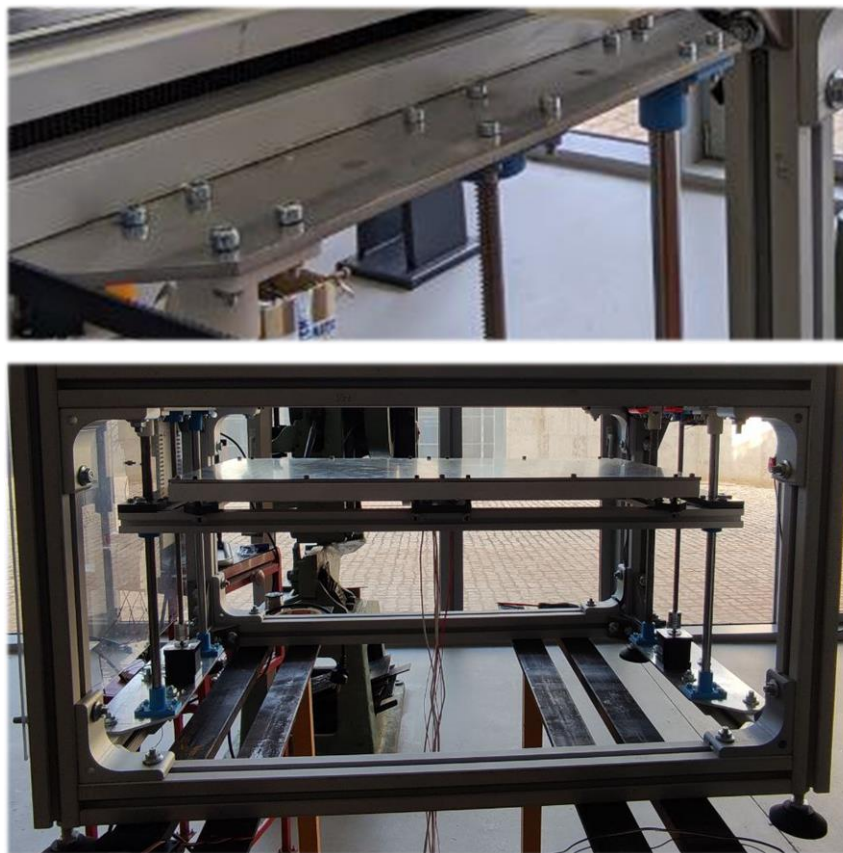


Figura 5.45: Sistema de desplazamientos verticales montados en la estructura principal junto a la cama de impresión.

El montaje del sistema de elevación vertical que se muestra en la Figura 5.45 no es el final, sin embargo, esta configuración fue utilizada durante las primeras impresiones. En el *Capítulo 5.3* sobre el diseño final se detallan los cambios y la versión final de la cama incluyendo todas las modificaciones.

Para la correcta subida de la cama, se giraron los husillos a cada lado y con un nivel de burbuja sobre la cama se niveló la estructura.

5.2.4. CARRO EXTRUSOR – FUSOR.

El montaje del carro se lleva cabo con piezas impresas en PLA por medio de la Anet A8 de los laboratorios. Estas piezas se unen entre sí con tornillos y tuercas de métrica 3 mm y las piezas de las que consta son:

- Pieza frontal de sujeción del inyector y cierre.
- Pieza posterior.
- Piezas laterales con sujeciones de correas.
- Pieza superior que da sujeción al extrusor, motor y patín MGN 12H.

Los componentes principales, que son:

- Patín Hiwin MGN 12H.
- Fusor Yotino V6 con boquilla de 0.4 mm de diámetro y con ventiladores.
- Conjunto extrusor MK8 con Nema 17 y apoyo de escuadra de Nema.

Las piezas de PLA impresas que se muestran a continuación siguen la misma configuración de impresión descrita en anteriores puntos. Primero se monta a uno de los laterales la pieza frontal y posterior (*Figura 5.46 imagen derecha*).

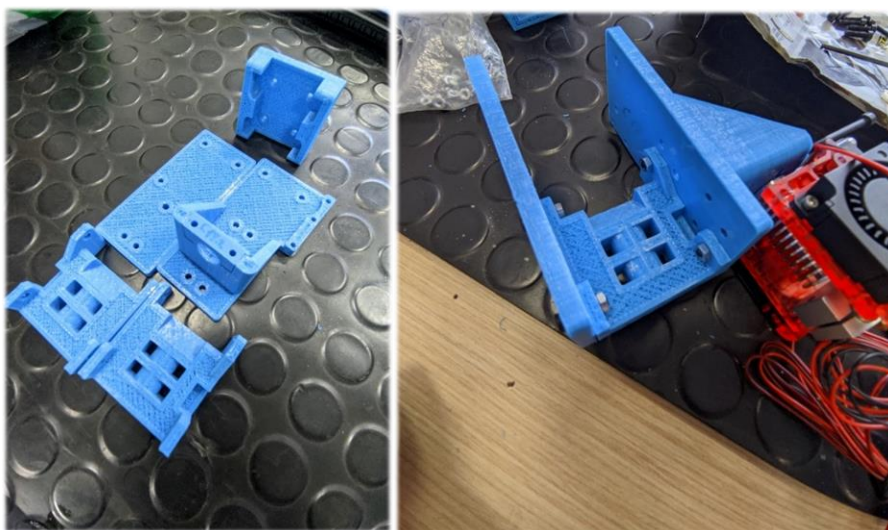


Figura 5.46: Piezas de plástico PLA del carro extrusor (izquierda). En la foto derecha se muestra el montaje del inyector con la pieza frontal, la lateral y la posterior

El fusor Yotino V6 lleva acoplado una estructura plástica con un ventilador de refrigeración para el disipador del fusor y dos ventiladores de capa para imprimir en PLA (ambos casos 12 V 0.1 A). El cuello superior del fusor es el que se acopla a la pieza frontal de PLA del carro con la ventilación hacia fuera, como en la *Figura 5.47* donde se ve que es aprisionado por un cierre con tornillos.

Con el fusor ya montado, pueden acoplarse al carro el resto de piezas 3D unidas por tornillos Allen y tuercas hexagonales de métrica 3 mm. El apriete de los tornillos debe ser adecuado a la pieza de plástico, ya que si se deforma puede llegar a generar grieta y rotura.

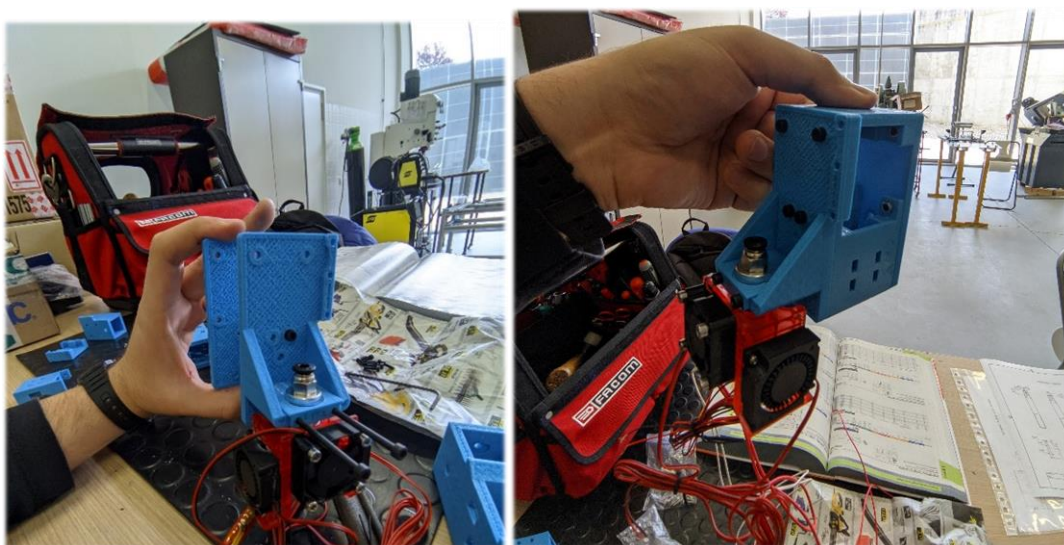


Figura 5.47: Montaje del inyector y ventiladores en carro de piezas de PLA (izquierda) y montaje del resto de piezas PLA en el carro (derecha)

El siguiente paso fue el acople del patín MGN 12H en la parte inferior de la tapa del carro a la vez que en la parte superior se acopla el soporte para el sistema extrusor. Esto es; cuatro tornillos pasan por taladros realizados en el soporte y la tapa del carro hasta roscar en los agujeros roscados del patín, como puede verse en la *Figura 5.48*.

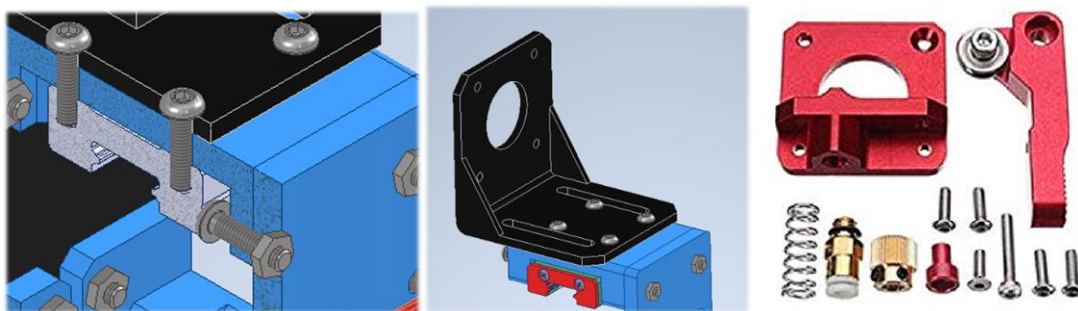


Figura 5.48: Montaje de extrusor y patín en carro por medio de entorno 3D. En la imagen derecha se pueden ver los componentes del extrusor MK8, sobre su base principal se montan el resto de sus componentes.

Una vez realizado el apriete se pasó al montaje del motor y el extrusor en el soporte del motor. Para ello se ha de seguir el manual de montaje del extrusor MK8 que viene con el producto y se explica en los anexos sobre el montaje de la impresora. El extrusor se monta quedando en la línea de trabajo del inyector para que la extrusión del filamento sea directa y, el motor queda al otro lado sobre el carro (*Figura 5.49*).

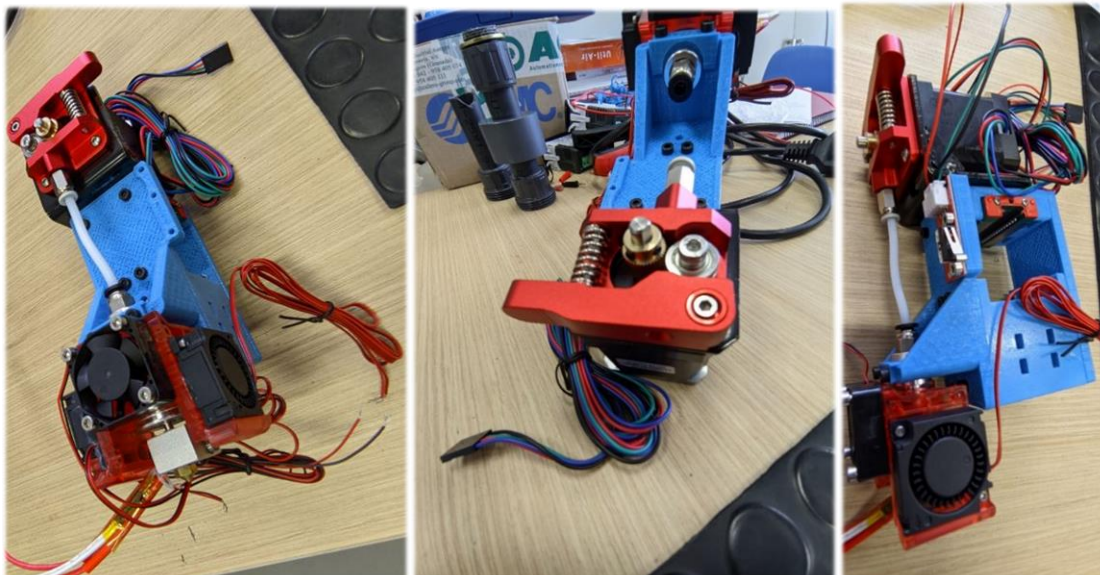


Figura 5.49: Montaje de extrusor y patín en carro en las tres imágenes.

En la última imagen de la figura anterior se muestra además la inserción del tubo de teflón de métrica 4 mm, insertado en las boquillas del extrusor y del fusor hasta sus topes interiores. Además, se acoplaron dos interruptores de final de carrera en la parte derecha del frontal y posterior para marcar la referencia en el eje X.

El carro extrusor – fusor queda casi completo en este punto, como se ve montado en el sistema CORE XY en la *Figura 5.50*, añadiendo además una pieza impresa en PETG por Pedro Aguilar para sujetar el cableado del carro y llevarlo a la placa base mediante un tubo flexible de goma.

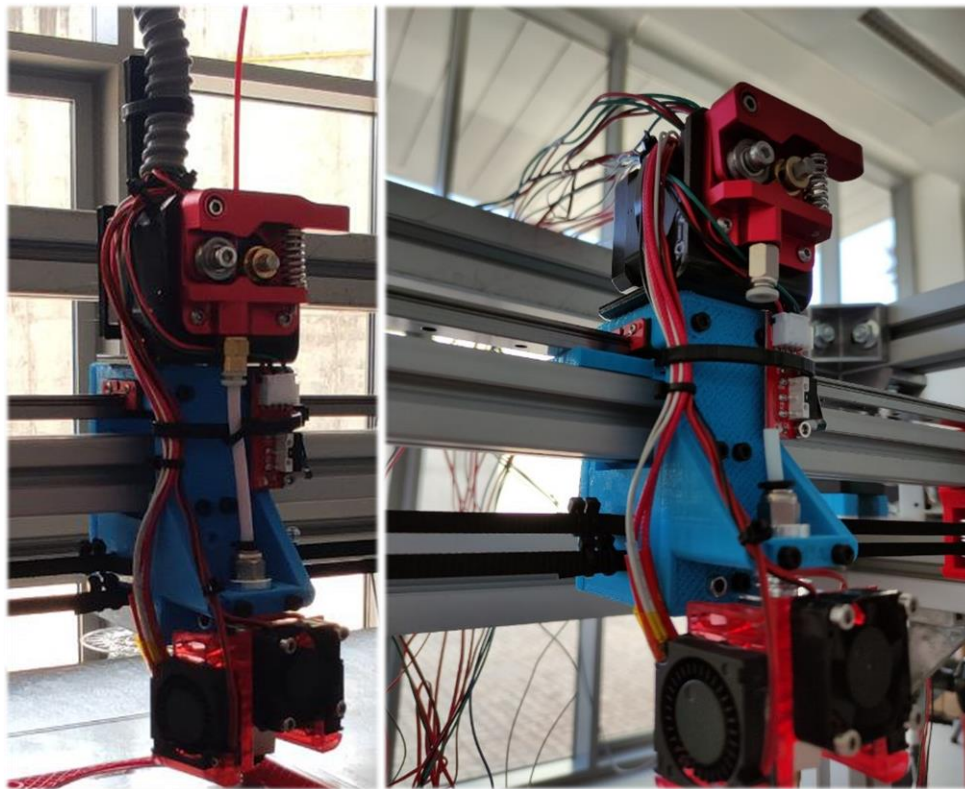


Figura 5.50: Montaje del carro extrusor – fusor en Impresora CORE XY.

El montaje del carro en el sistema CORE XY se explica en el siguiente punto. La electrónica y conexiones quedarán explicadas esquemáticamente en el punto sobre las conexiones de la impresora.

5.2.5. SISTEMA CORE XY.

En este punto es importante destacar los componentes principales que van a utilizarse, ya que es el sistema más complejo de la impresora por su diseño y montaje. Cabe decir que, sin la estructura principal montada, no se puede llevar a cabo el montaje del sistema.

Las piezas principales son:

- 2 Uds. Patines Hiwin MGN 12H con carril de 400 mm.
- 1 Uds. Carril MGN de 750 mm.
- 1 Uds. Perfil 25x25 mm de longitud 835 mm.
- 8 Uds. Poleas de métrica exterior 6 mm e interior de 4 mm.
- 2 Uds. Motores Nema 17.
- 2 Uds. Poleas dentadas GT2 de 20 dientes.
- 1 Uds. Correa dentada de 5 metros.
- Piezas de PLA para patines (simétricas).

- Piezas de PLA para poleas de esquineras (simétricas).
- Piezas de PLA para motores.
- Piezas de PLA para sujeción de carriles MGN.

Las piezas impresas en PLA siguen la configuración de la Anet A8 ya descrita anteriormente y quedarán designadas con la guía de montajes y planos en los Anexos del documento. Esto es debido que existen piezas que se desechan o modifican y no se tiene un registro de códigos para las piezas antiguas en el montaje final.

A. LATERALES (EJE Y).

Para comenzar con el montaje, primero se montaron las piezas del lateral izquierdo del sistema, donde intervenían la esquinera de PLA porta poleas, el soporte de PLA de uno de los Nema 17, un soporte simple de PLA para sujeción del carril y el carril MGN de 400 mm (*Figura 5.51*). El lateral izquierdo y derecho equivalen al eje Y de la máquina.



Figura 5.51: Montaje del sistema de desplazamientos izquierdo del sistema CORE XY con patín Hlwin MGN 12H y carril y piezas de PLA de sujeción y soporte. En la imagen derecha se montan piezas de PLA para soporte de motor y guía (extremo superior) y porta poleas (esquina inferior izquierda).

Los carriles MGN se sujetan en sus extremos mediante tornillería Allen de métrica 3 mm y tuercas hexagonales al soporte de PLA del carril (pieza del extremo izquierdo inferior de la primera imagen de la *Figura 5.51*) (sujeto con tornillos de cabeza de martillo y tuercas de brida de métrica 8 mm al perfil de aluminio) y al soporte motor, con un

soporte medio para evitar la flexión del carril. La cabeza de los tornillos queda por debajo de la superficie donde se desliza el patín y es importante que se tenga un apriete medio que se llevará a uno mayor cuando los patines de ambos laterales se deslicen alineados.

La pieza de PLA que sujeta las poleas en la esquina tiene apoyo y unión en los perfiles de aluminio. Las poleas que se montan en ella deben estar a diferentes alturas (10 mm de diferencia) debido a que los dos sistemas de correas trabajan a diferentes niveles, por lo que se cortan dos tubos de vinilo (dos por cada porta poleas de PLA) de 9 mm de diámetro interior; uno de longitud 33 mm y otro de 23 mm.

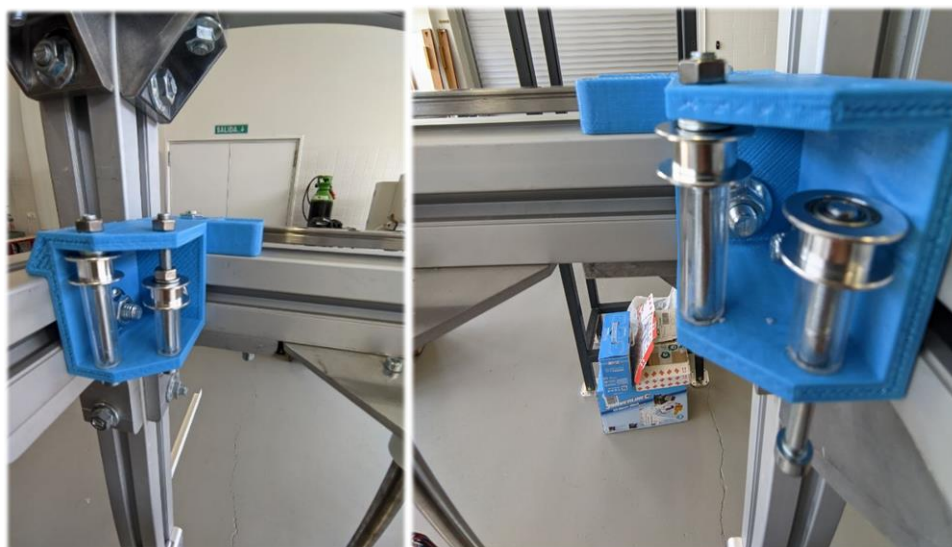


Figura 5.52: Montaje de poleas en esquinas de PLA. La imagen izquierda detalla el primer modelo montado en el lado izquierdo y la derecha el mismo proceso para su pieza simétrica (montaje en lateral derecho).

Las sujeciones se realizan mediante tornillos Allen de métrica 5 mm, longitud 60 mm, arandelas y tuercas hexagonales de la misma métrica (*Figura 5.52*).

Sin embargo, este método no llegó a casar del todo debido a que las poleas rodaban con dificultad por el roce del tubo en la misma, por lo que se diseñaron dos tubos a la misma altura que reducían su sección en el contacto con la polea. Estos tubos son de PVC y la reducción de la sección se llevó a cabo mediante el uso del torno de los laboratorios. De esta manera, el tubo dejaba rodar a la polea de manera libre (*Figura 5.53*).

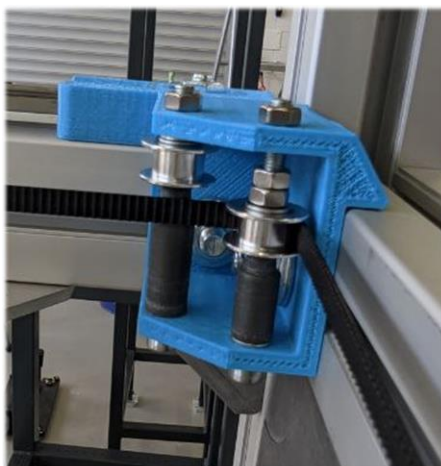


Figura 5.53: Montaje de poleas en esquinas de PLA. Cambio de tubos de vinilo por tubos de PVC con sección reducida en el apoyo de los rodamientos de poleas. La imagen corresponde a una de las piezas de PLA, pero el cambio se realiza en ambas.

El siguiente paso es acoplar el motor Nema a su pieza de PLA. En este caso simplemente se ajusta a la pieza de impresión 3D y se une mediante tornillos de métrica 3 mm, roscados en los propios motores. A continuación, se monta la polea dentada GT2, que se acopla solidaria al eje del motor mediante un tornillo de apriete a la cara plana del eje (Figura 5.54).

La altura de la polea dentada con respecto al motor se ajusta con el uso de un pie de rey, quedando al mismo nivel con la polea que se encuentra directamente al frente en las esquineras de PLA descritas anteriormente.

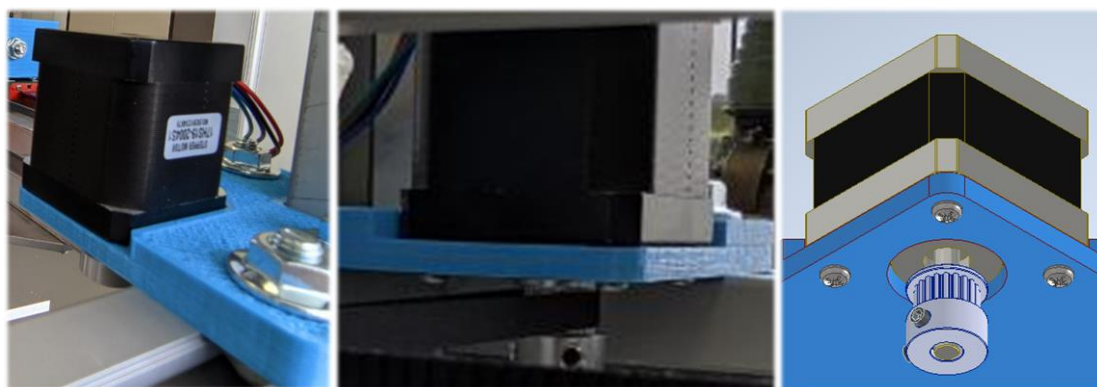


Figura 5.54: Montaje de Nema 17 en soporte de PLA del lateral izquierdo (izquierda y central). Imagen del entorno 3D (derecha).

Para finalizar con el lateral izquierdo del sistema CORE XY, se une una de las piezas de PLA al patín MGN del carril montado (Figura 5.55). Esta pieza da sujeción al perfil de aluminio de 25x25 mm equivalente al eje X de la impresora junto a su simétrica en el lateral derecho de la máquina, cuya inserción se verá más adelante.

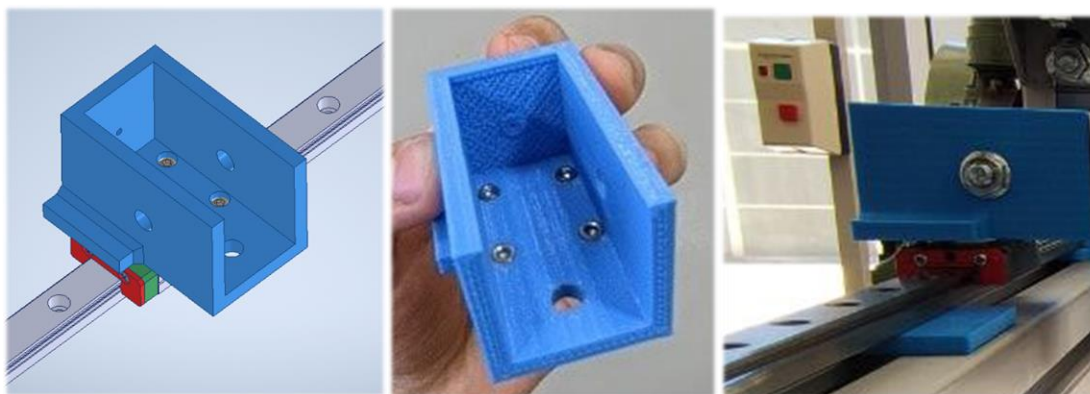


Figura 5.55: Montaje pieza de PLA en patín. Esta pieza es la misma para ambos laterales de la impresora.

Para la unión al patín se utilizan tornillos de métrica 3 y longitud 8 mm, roscados directamente en el patín. En la imagen central de la *Figura 5.55* se puede ver que las cabezas de los tornillos no sobresalen de la pieza, es importante que no lo hagan porque sobre ella va el perfil y puede generar desniveles.

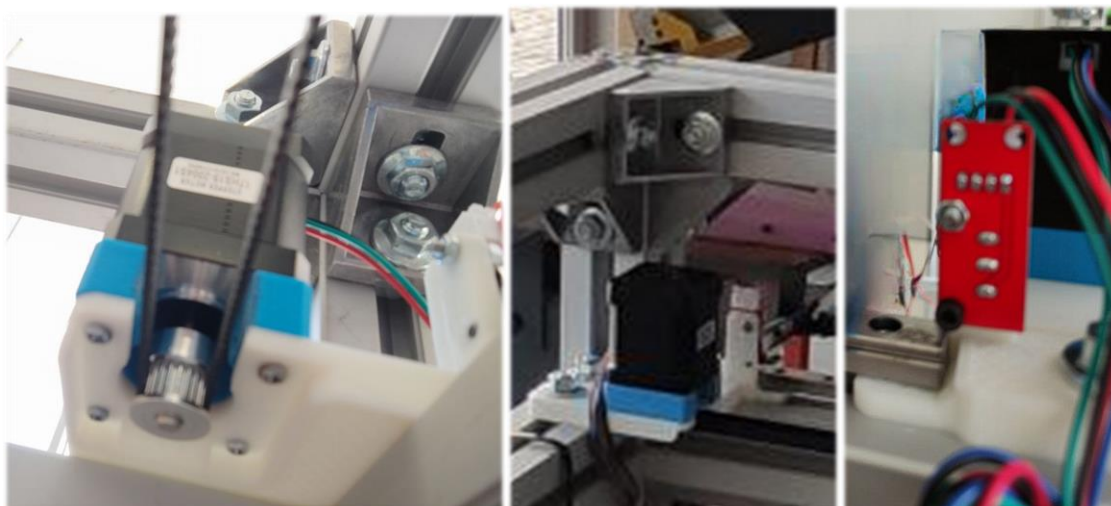


Figura 5.56: Montaje piezas de PLA para motor y para soporte de carril en el lateral derecho de la máquina. En la tercera imagen se muestra el soporte del carril, pieza independiente a la del soporte motor.

Una vez montado el lateral izquierdo de la impresora, se monta el lateral derecho. Para ello se sigue el mismo procedimiento a excepción de que la pieza de PLA que monta el motor, que eleva el motor para poder tener una altura diferente para el sistema de correas (*Figura 5.56*). El resto de piezas de PLA son simétricas a las del lateral izquierdo.

En la *Figura 5.56* se ven piezas de PLA en distinto color debido al cambio de rollo. En este caso la pieza que sujeta el motor Nema se divide en dos; una pieza de posicionamiento y un taco de elevación. Esto es así porque en la impresión de piezas

3D no se podía llevar a cabo geometrías con voladizos, por lo que lo más sencillo era dividir la pieza en dos partes.

Los motores se unen con tornillos de métrica 3 mm y longitud 20 mm a las piezas de PLA y el soporte del carril con tornillos de métrica 3 mm longitud 16 mm y tuercas hexagonales sosteniendo un interruptor final de carrera con tornillos de la misma métrica.

En este punto los laterales izquierdo y derecho del sistema CORE XY estaban montados. El paso siguiente fue el montaje del eje X del sistema CORE XY.

B. TRASNVERSAL (EJE X).

El eje transversal del sistema CORE XY corresponde al eje X. Este, basa su montaje principal sobre un perfil de aluminio de 25x25 mm y longitud 835 mm en el cual se unen el carril MGN de 750 mm, el carro extrusor fusor y dos piezas de PLA simétricas.

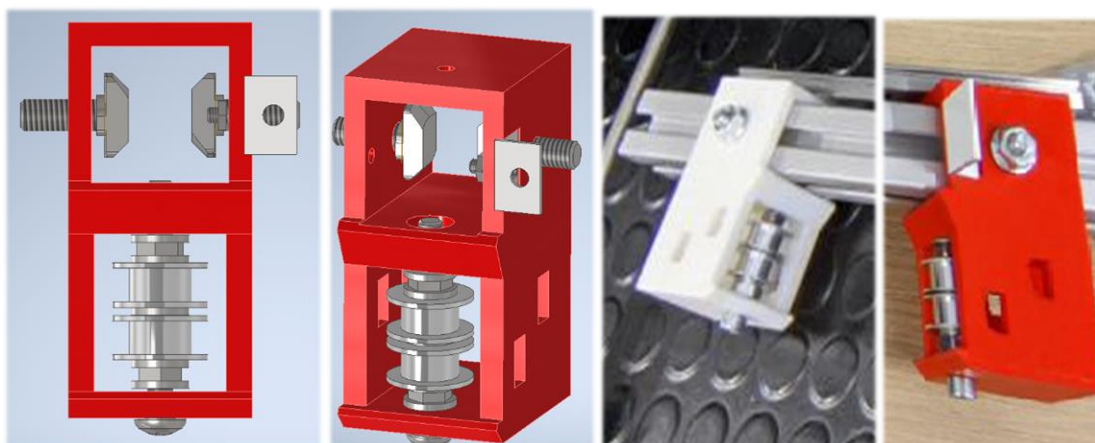


Figura 5.57: Montaje de rodamientos en piezas de PLA usando tornillo de métrica 5 mm longitud 45 mm con tuercas y arandelas de la misma métrica. Imágenes izquierdas y del entorno 3D e imágenes derechas con montaje real, obviando el perfil, carril y tuercas de métrica 8 mm

Primeramente, se atendió al montaje de las piezas de PLA, que fueron impresas en PLA blanco y rojo (el laboratorio adquirió dos rollos y se usaron ambos para hacer pruebas de impresión con la Anet A8). Siguiendo la misma configuración de impresión descrita anteriormente. En ambas existe un hueco inferior donde se montan los rodamientos de poleas no dentadas mediante el uso de un tornillo de métrica 5 mm y longitud 45 mm, junto a arandelas de separación y tuercas (*Figura 5.57 imágenes izquierda*).

Se llevó a cabo el corte del perfil de aluminio en la máquina de cinta de corte. El perfil procede de la misma barra original de la que se obtiene la estructura de la cama

vista en el *Capítulo 5.2.2*. Tras su limado en los extremos para evitar cortes se puede comenzar el montaje.

En el perfil se insertó una de las piezas de PLA desde el extremo (como, por ejemplo, la blanca de la *Figura 5.57*), dejando una distancia al mismo de 53.3 mm. Estas piezas llevan incorporadas a cada lado un tornillo de cabeza de martillo que debe incorporarse antes de la inserción en el perfil. Una vez posicionada a la distancia se giran 90 grados los tornillos y se aprietan las tuercas.

El siguiente paso fue acoplar el carril MGN al perfil de aluminio. Para ello se unió mediante unión atornillada el segundo agujero del extremo al superior de la pieza de PLA montada, con tornillos y tuercas hexagonales de métrica 3 mm (ver *Figura 5.58*) y apoyos insertados entre el carril y el perfil.



Figura 5.58: Montaje de carril MGN 12H sobre pieza de PLA y tacos soporte.

Se insertó el carro extrusor- fusor en el carril y se cerró con la inserción de la pieza porta poleas de PLA (blanca) en el extremo. Atornillando el carril al segundo punto de sujeción en ella (*Figura 5.59*).

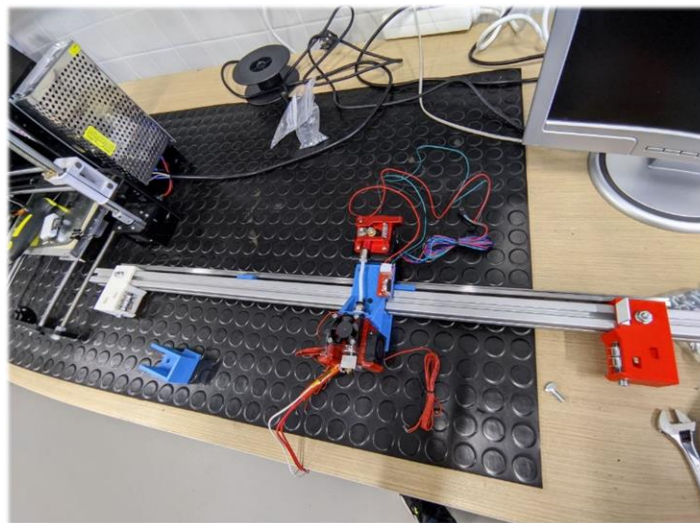


Figura 5.59: Montaje del carro extrusor en el eje X.

C. TRASNVERSAL (EJE X) MONTADO EN LATERALES (EJE Y).

Se alinearon los patines laterales para insertar el eje transversal las dos piezas de PLA que se montaron sobre ellos, como se detalló en el punto A . Tras la inserción se realizan las uniones atornilladas con tornillos cabeza de martillo y tuercas de brida de métrica 6 mm.

En este punto surgió un problema. En la inserción del eje transversal la tornillería no podía introducirse, un fallo de diseño que hizo tener que sacar los patines de cada carril lateral para poder unirlos por separado al eje transversal y posteriormente volver a introducirlos en los carriles (ver *Figura 5.60*).

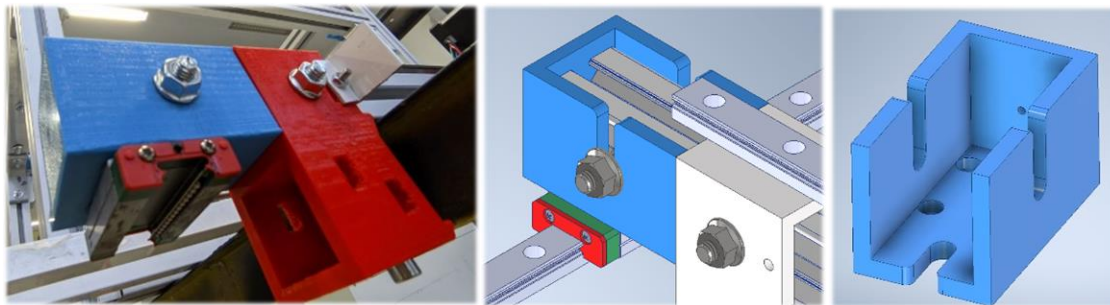


Figura 5.60: Inserción de los patines en el eje transversal por fallo de diseño. Cambio del diseño en el entorno 3D (derecha) para solucionar problema en próximos recambios

Tras lo cual se realizó la inserción del eje transversal en los ejes laterales de una manera complicada. En el diseño 3D se realizó un cambio en las dos piezas para facilitar montajes y desmontajes (*Figura 5.60*).

El montaje del eje transversal se completó y los carriles deslizaban perfectamente. Se utilizó lubricación para su correcto uso y se apretaron fijaciones en los carriles laterales (*Figura 5.61*). En este punto ya se podían montar los sistemas de correas.

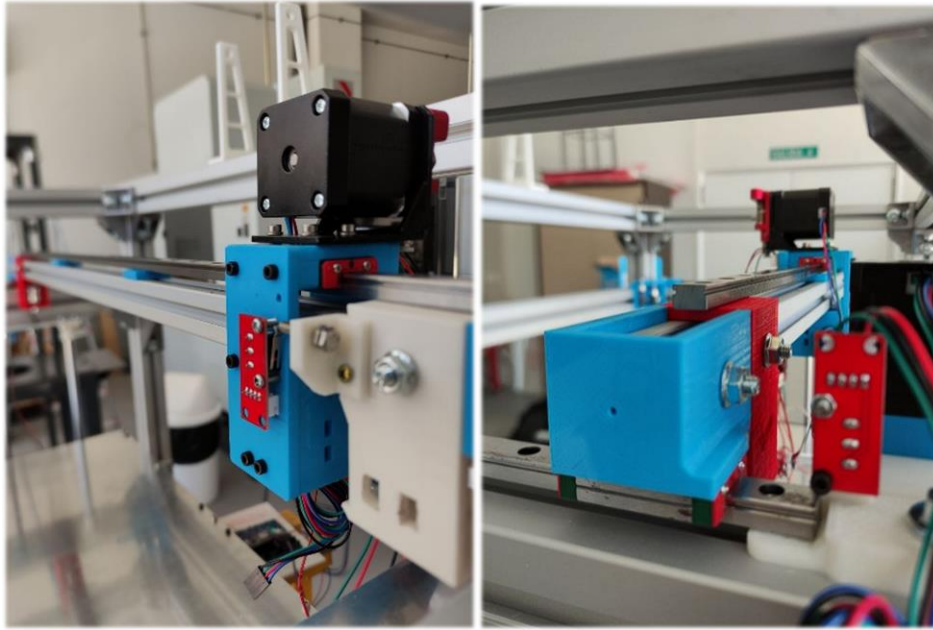


Figura 5.61: Montaje del eje transversal (X) sobre el eje Y. Ambas imágenes

Tras una reorganización de cableado en el carro extrusor - fusor se llevó a cabo la instalación de las correas dentadas. Para ello se disponía de una correa de 5 metros de longitud, la cual se cortó dando dos correas de 2.5 metros para cada sistema de correas del mecanismo CORE XY. Existen dos niveles donde se mueven, el superior y el inferior y se realizan siguiendo el mismo procedimiento.

En el caso del nivel inferior primeramente se unió la correa al carro extrusor – fusor. Seguidamente se llevó a las poleas no dentadas del eje transversal (X) que tiene justo en frente, abrazando la polea del nivel inferior y redireccionándose hacia el motor (Figura 5.62).

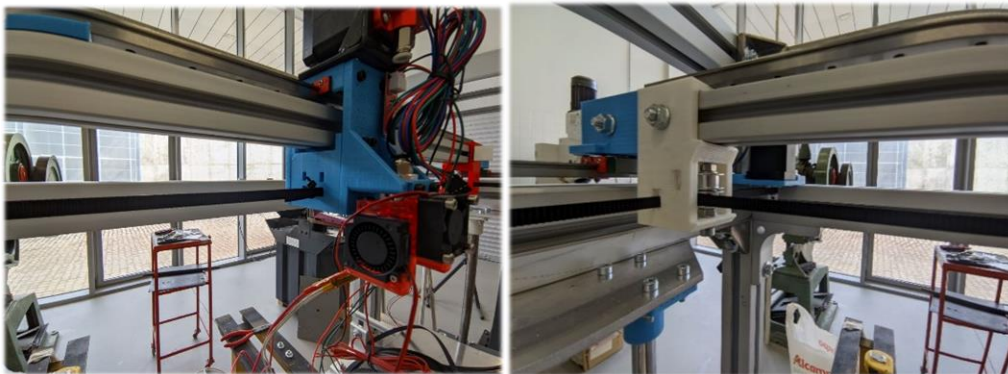




Figura 5.62: Montaje de sistema de correas del nivel inferior.

La correa abraza la polea dentada solidaria al motor con los dientes en la parte interior y vuelve recta atravesando el rectángulo pasante inferior en la pieza de PLA del eje X que porta las poleas. Sigue hasta la esquinera de poleas que tiene justo en frente y abraza a la polea inferior redirigiéndose hasta el otro lateral de la impresora, donde en la esquinera se encuentra una polea a su mismo nivel a la que ha de abrazar de nuevo (Ver *Figura 5.63*). La correa sigue hasta la pieza porta poleas del eje X y entra por el nivel bajo abrazando a la polea no dentada para redirigirse al carro donde es amarrada con bridas cerrando el sistema.

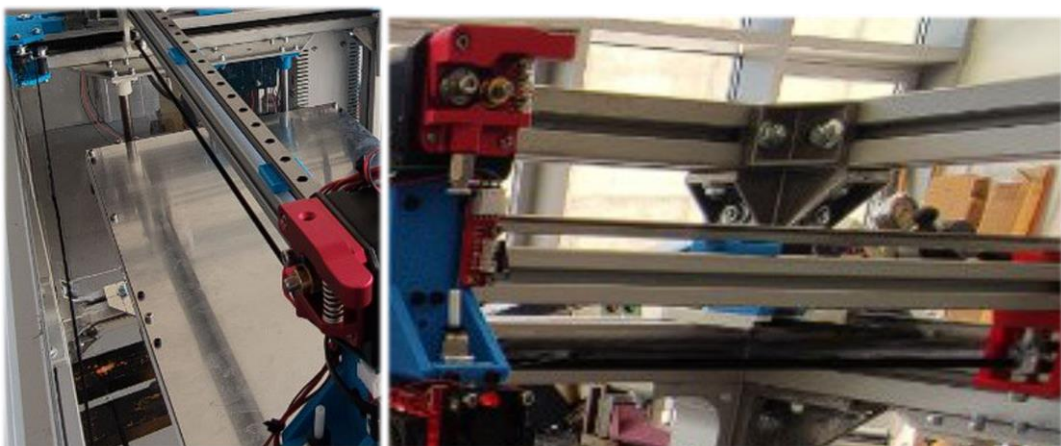




Figura 5.63: Montaje sistema de correas del nivel inferior cerrando recorrido.

Para el sistema superior de correas se realizó el mismo proceso de manera simétrica al otro lado del extrusor. Es muy importante que las correas estén correctamente alineadas y tensas para poder tener una equivalencia de fuerzas en ellas que den lugar a los movimientos certeros que se describieron en los fundamentos acerca del sistema CORE XY en el *Capítulo 4.5.5*.

Con respecto a la tensión de las correas, se comprobó que después de montar ambas correas la tensión no era suficiente. En ese momento decidió diseñarse un sistema de tensado que consistía en amarrar las correas de un lado del extrusor (extremos de ambos niveles) a una pieza de PLA (blanca). Esta pieza tendría cuatro tornillos que la unirían al carro extrusor permitirán un mayor tensado en las correas cuanto más se apretaran estos tornillos, como puede verse en la *Figura 5.64*.

Se reordenaron los cables del extrusor y del inyector llevándolos hacía arriba y se empalmaron los cables cuya longitud no era suficiente para llegar hasta el lateral de la impresora. Se comprobó su correcto funcionamiento y se introdujeron en un tubo flexible para evitar su estorbo (*Figura 5.64*). Se añadió un soporte justo detrás del motor unido mediante varillas roscadas de métrica 3 mm y tuercas hexagonales y el resultado fue el siguiente.

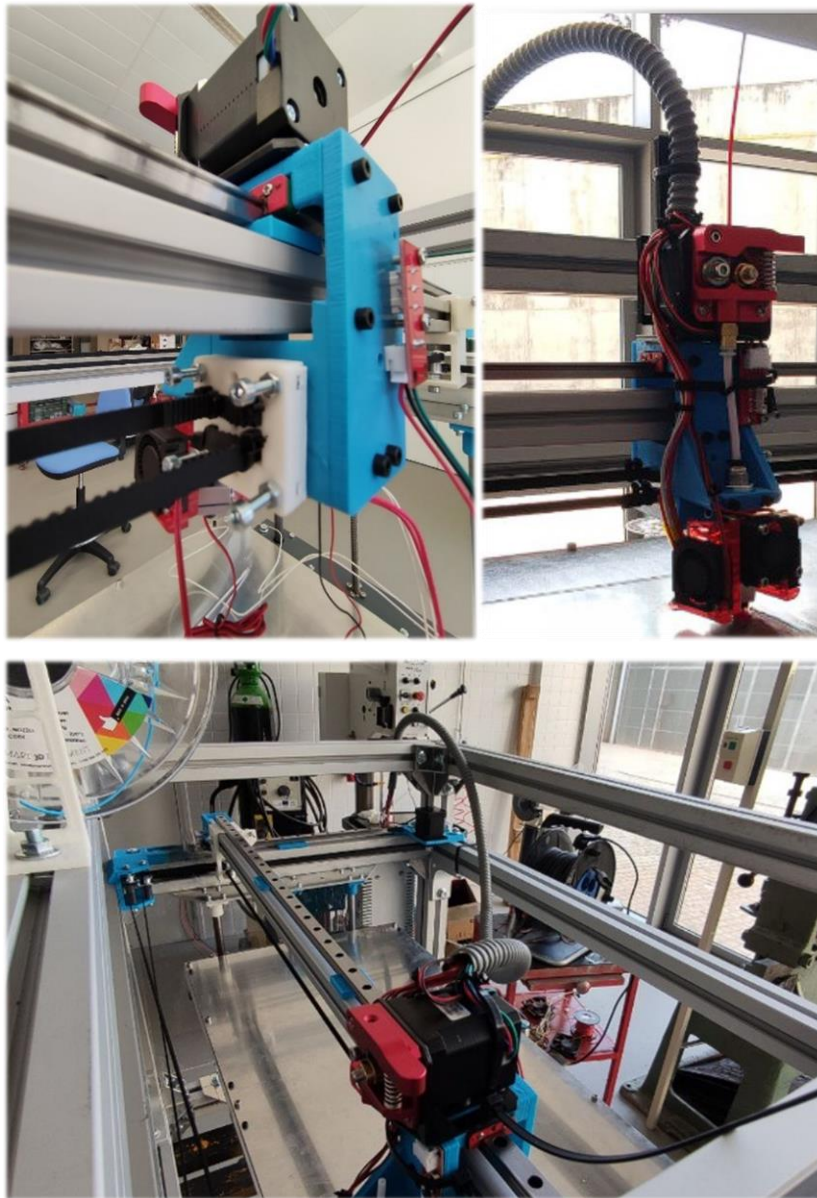


Figura 5.64: Montaje del sistema CORE XY finalizado hasta las siguientes revisiones.

5.2.6. CONEXIONES ELÉCTRICAS Y CABLEADO.

El último punto a atender antes de poder empezar a imprimir. Cuando se realizaron las conexiones, Pedro Aguilar aportó su placa base configurada a los parámetros del sistema CORE XY que se dedujeron en el *Capítulo 4.5.5 (Figura 5.65)*. A parte de haber instalado los drivers correspondientes a los motores (DRV8825) y haber programado algunos de los parámetros que en un manual se podrán consultar en los Anexos para uso general de profesores y estudiantes.

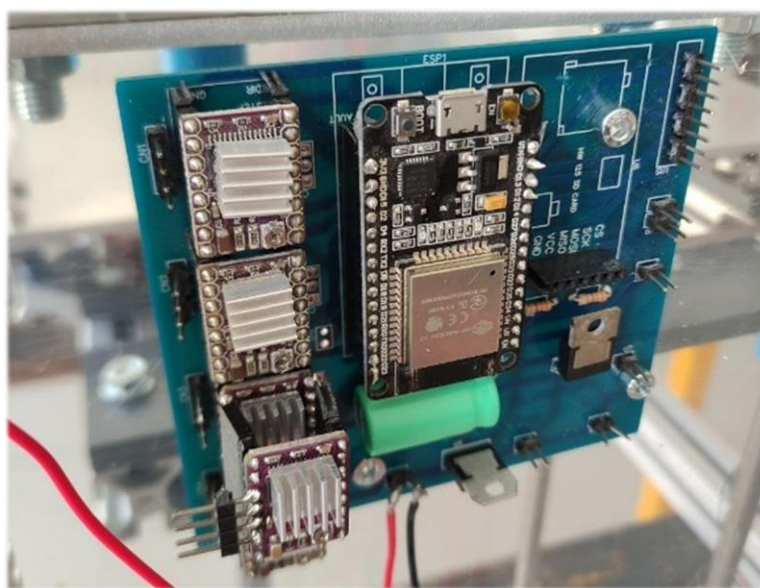


Figura 5.65: Placa base con ESP32 diseñada y programada por Pedro Aguilar.

Para instalar la placa base, se escogió una plancha de metacrilato de 3 mm de espesor que se encontraba en los laboratorios. Se mecanizó para ser amarrada a la estructura principal y para sostener la placa base, la fuente de alimentación y el relé de estado sólido que hará falta para las conexiones de las siliconas calefactoras. (*Figura 5.65*).

Se reorganizó el cableado del resto de componentes de la máquina y se realizaron empalmes para aumentar sus longitudes. Para ello se utilizó soldador de estaño, un rollo de estaño, cables de la misma sección para cada componente (0.5 mm de diámetro para la mayoría) y fibra termo retráctil para proteger las soldaduras.

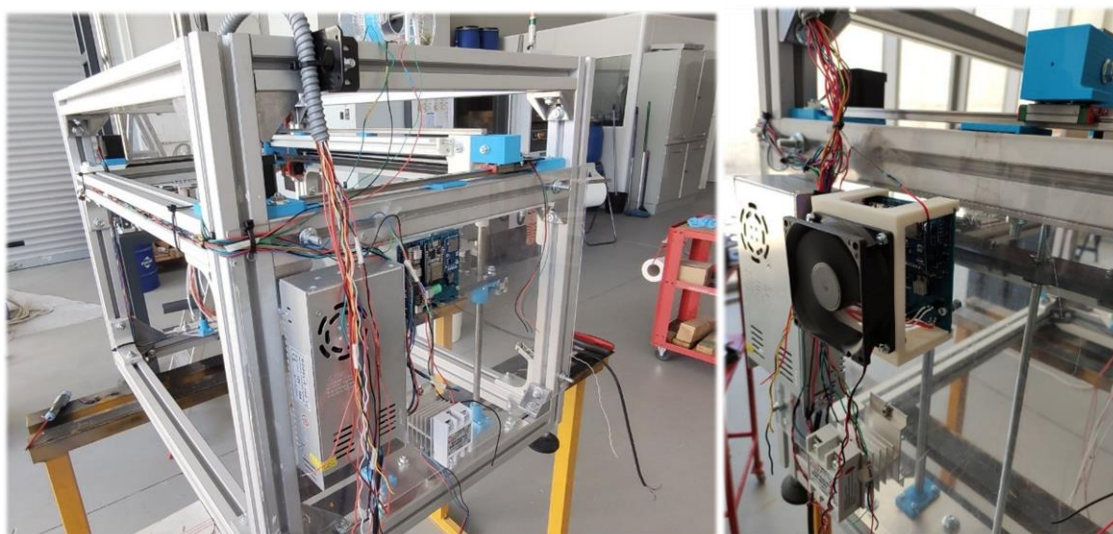


Figura 5.66: Acople de componentes electrónicos y organización del cableado de la máquina.

En la placa base hubo conexiones que no se llegaron a realizar como la de los o las siliconas calefactoras, esto es debido a que Pedro aún no había desarrollado esa parte del software para su conexión (prevista para los siguientes meses).

Por otro lado, tampoco se conectaron los finales de carrera, ya que con el software que disponía Pedro en la placa, guardaba las referencias de posicionamiento para el carro extrusor – fusor (X, Y) y la superficie de impresión (Z).

Se agregó ventilación a la placa para evitar sobrecalentamientos, se utilizó un ventilador de 12 V e intensidad 0.12 A sujeto a la placa mediante un soporte de PLA.

Las conexiones a la placa las llevó a cabo Pedro Aguilar, pero se va esquematizar un boceto simplificado donde se ven algunos de los empalmes realizados (*Figura 5.67*).

Los códigos de colores para el cableado han sido mantenidos con respecto al montaje.

Hay que **extremar precaución** cuando se traten estas conexiones, sobre todo con el relé y las conexiones de alta. Las futuras conexiones y añadidos de hardware serán añadidos por Pedro Aguilar, si otra persona llevara a cabo manipulación del cableado, debería de ser supervisada antes por él u otro técnico docente.

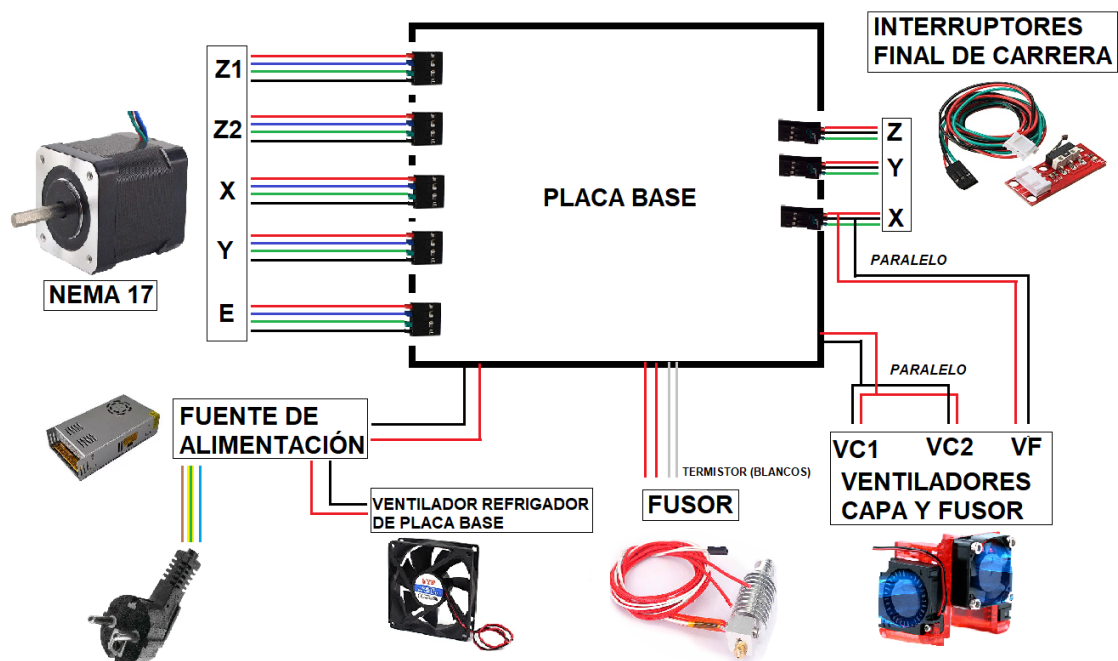


Figura 5.67: Esquema simple de conexión de componentes a placa base.

La conexión de siliconas calefactoras no se llegó a realizar, pero ha de dejarse constancia del esquema que se sigue para su futura conexión (Figura 5.68).

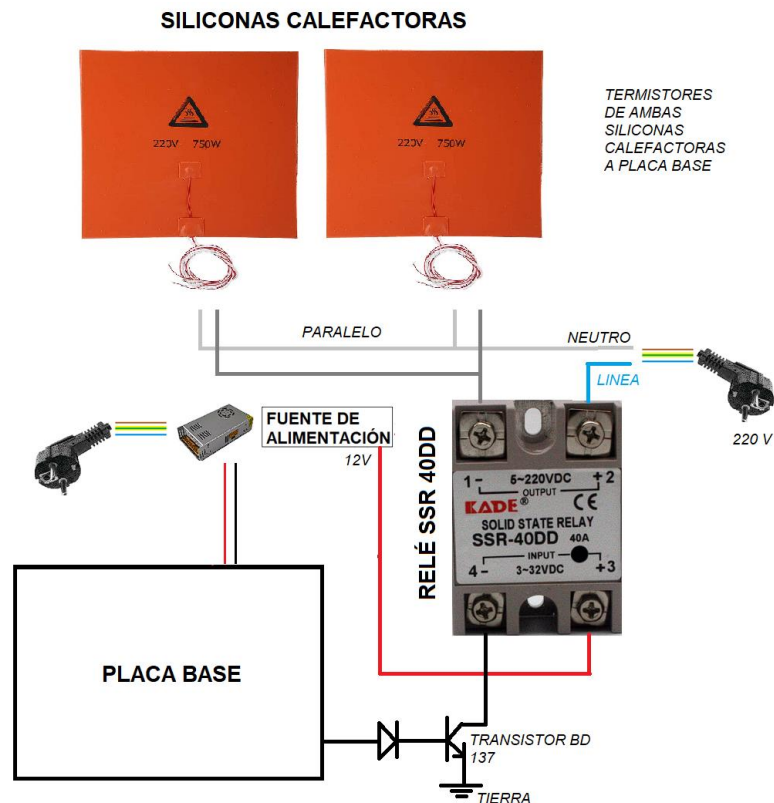


Figura 5.68: Esquema simple de conexión de siliconas calefactoras en paralelo mediante el uso de relé SSR 40DD, transistor BD 137, fuente de alimentación y conexión a corriente alterna.

5.2.7. SOPORTE ROLLO DE FILAMENTO.

Para poder imprimir, se sujetó el rollo de filamento en dos soportes de PLA en la parte superior de la estructura principal. Estos se sujetaron con tornillos de cabeza de martillo y tuerca de brida de métrica 8 mm. en su parte superior sujetaban una varilla roscada con dos tuercas a cada lado de ambos soportes. A parte, se utilizó un taco cilíndrico de PVC mecanizado con el CNC a las dimensiones de diámetro interior del rollo para que este se mantuviera nivelado en la varilla roscada.



Figura 5.69: Montaje de soportes para el rollo de filamento de PLA. El taco de PVC se encuentra insertado en el rollo.

Se introdujo el hilo de filamento en el extrusor y se ordenó al motor del mismo que funcionará para extruirlo hasta la boquilla del fusor, que se ordenó calentar, dejando la impresora lista para su uso.

5.3. IMPRESIONES, CALIBRACIÓN Y MODIFICACIONES.

Con todas sus partes montadas la impresora se puso en marcha. Mediante el software de control remoto desde PC o móvil se enviaron los códigos y se comprobó el correcto funcionamiento de los componentes electrónicos y del resto de sistemas montados.

La cama de impresión fue nivelada a mediante las uniones con resortes, teniendo como referencia la boquilla del inyector. Este se desplazó e los diferentes puntos de la cama y las ocho uniones se ajustaron.

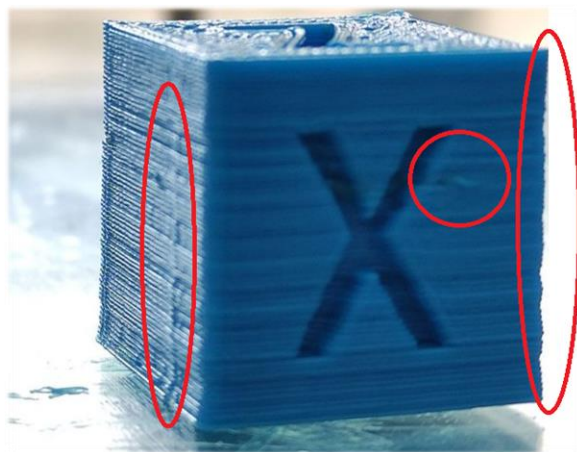


Figura 5.70: Primer cubo de calibración de 20x20x20 mm impreso.

Las primeras impresiones que se ordenaron fueron cubos de calibración. Con ellos se podían detectar irregularidades en los ejes de desplazamiento del extrusor y en general la calidad de las capas (*Figura 5.70*). Los parámetros en la impresión del cubo en PLA fueron de altura de capa 0.2 mm para una boquilla del fusor de 0.4 mm con los ventiladores de capa activos con una densidad del 70 % utilizando relleno cuadrado a 45°.

La primera impresión fue satisfactoria, pero en el cubo se detectaron fallos de impresión. En la imagen derecha de la *Figura 5.70* se pueden ver pegotes de material en la cara frontal, a parte, de discontinuidades en las esquinas y algunas caras.

Se hizo un estudio de estos fallos y se llevó a cabo una segunda impresión del cubo de calibración. En la segunda impresión el material de PLA empezó a desbordarse por el mal cierre del Barret del inyector, los pegotes de exceso de material eran provocados por este fallo.

La solución al desbordamiento fue precalentar el fusor y extraer el filamento mientras se pulsaba el extrusor. Una vez hecho se quitó plástico desbordado con un

destornillador plano del bloque calentador. Al enfriarse se desmontó el inyector desacoplándolo del carro extrusor – fusor, limpiándolo y volviendo a montarlo correctamente.

Tras un cambio de filamento, se volvieron a realizar más cubos de calibración en los cuales ya no aparecían pegotes. Se cambió el rollo de filamento y se dejó imprimiendo el soporte para el ventilador de la placa base.

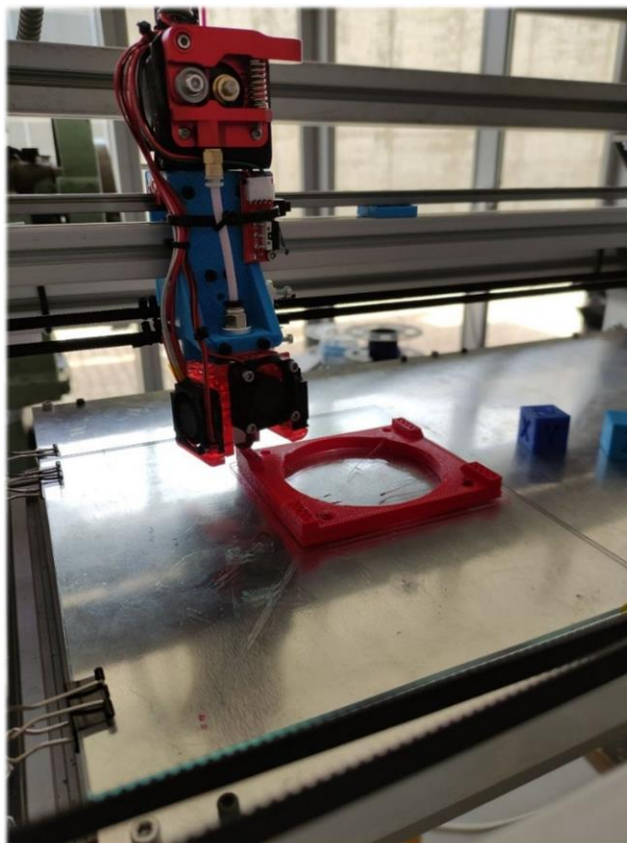


Figura 5.72: Impresión del soporte ventilador.

La impresión fue parada ya que seguía habiendo problemas de discontinuidades verticales y se detectó que pudieron estar causadas por la alta velocidad de giro de los motores en el eje Z y turbulencias en la bajada y subida de la plataforma (agravadas por la velocidad de giro produciendo caídas y desniveles importantes en la superficie de impresión).

Para arreglar esto se decidió realizar una serie de cambios en la impresora:

- Cambiar los rodamientos LMU12 mm de 30 mm por el mismo modelo de 60 mm. Esto ayudó a reducir en gran medida las turbulencias en las guías de la cama.

- Nuevas piezas de PETG (Impresas por Pedro Aguilar) para sostener los rodamientos lineales nuevos que se insertan en la cama, que son insertados nuevamente en ellas mediante una prensa mecánica hallada en los laboratorios.
- Reducción de las piezas
- Cambio del husillo por varilla roscada unificada de rosca simple métrica 8 mm. Con esto, se redujo el par de retención para levantar la plataforma, dando a los motores más rango de trabajo en velocidades evitando las caídas. Por ende, cambio de tuerca collarín por una tuerca de métrica 8 insertada en una pieza de plástico PETG y acoplada a la cama con el mismo diámetro collarín que la tuerca anterior.

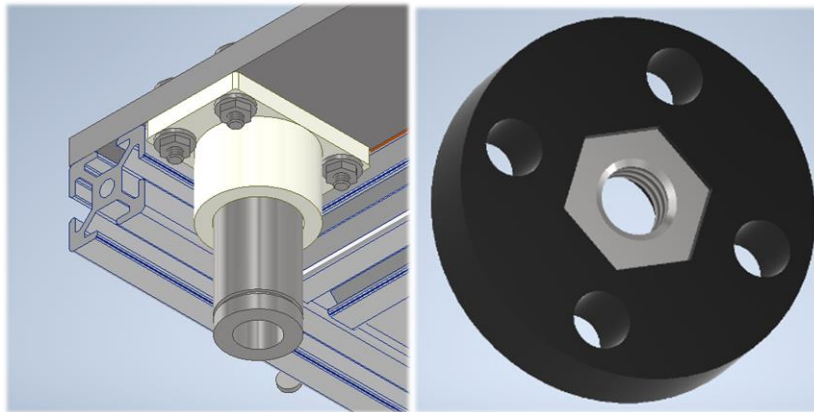


Figura 5.72: Cambios de rodamientos, piezas de agarre de los mismos, piezas de agarre inferiores para varillas guía y husillo

Con estos cambios se mejoró en términos movilidad del eje Z. Se lanzó una nueva impresión para comprobar los resultados y se obtuvieron los resultados de la *Figura 5.73*.

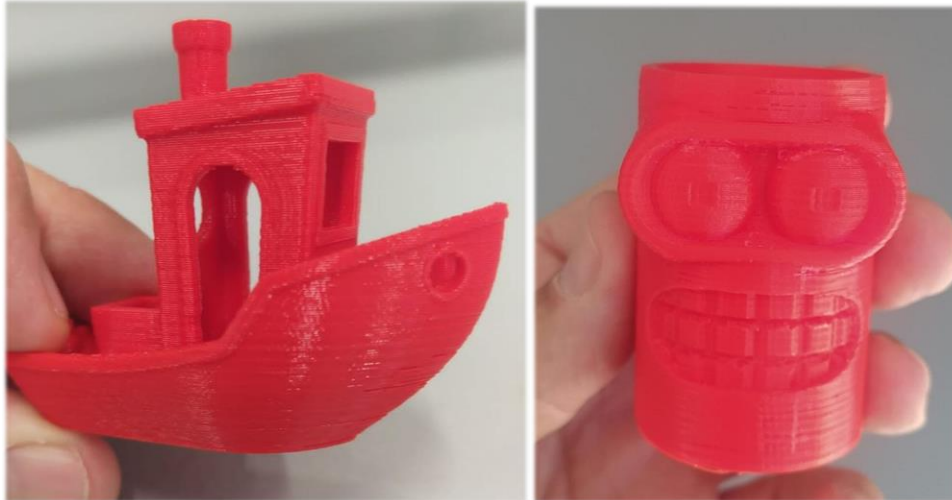


Figura 5.73: Piezas impresas en PLA con boquilla de 0.4 mm y altura de capa 0.2 mm.

Los resultados son mejores, pero en las piezas se producían líneas de imperfecciones.

Se aumentó algo más la velocidad de los motores del sistema CORE XY, con lo cual las impresiones pasaron a tardar menos tiempo. Sin embargo, surgió un nuevo problema que pasaría a ser prioritario; vibraciones en el carro extrusor – fusor. La velocidad con la que se movía el carro ocasionaba vibraciones en los cambios de dirección, que se podían agravar hasta hacer entrar en resonancia al carro en algunas ocasiones.

Se intentaron programar desaceleraciones, lo cual dio problemas de software que se traducían en el cuelgue del programa. Con lo cual la solución que se adoptó fue desechar las desaceleraciones y cambiar la pieza frontal y cierre del carro que daba sujeción al inyector. Esta sujeción tenía mayor agarre y subía su posición (*Figura 5.74*).



Figura 5.74: Nueva pieza frontal de PLA y cierre de PETG para carro extrusor - fusor.

Las vibraciones se redujeron con este cambio hasta el punto de poder mantener la misma velocidad de impresión que las provocaba, por lo que el problema se dio por resuelto.

En la impresión de prueba que se hizo se detectaron fallos en la sección, ya que no era cuadrada (imagen derecha en *Figura 5.74*). Este fallo se sabía que provenía del sistema CORE XY, ya que era el posicionamiento el que daba este problema. Para resolverlo se llevaron a cabo una serie de cambios que conllevarían:

1. Desmontaje del sistema CORE XY.
2. Añadido de soportes en carriles laterales (*Figura 5.75*).

Se desmontaron los carriles MGN del eje Y para añadir soportes de PETG en la perfilaría de aluminio, con tal de mejorar sus sujeciones dejando ambos carriles totalmente paralelos (*Figura 5.75*).

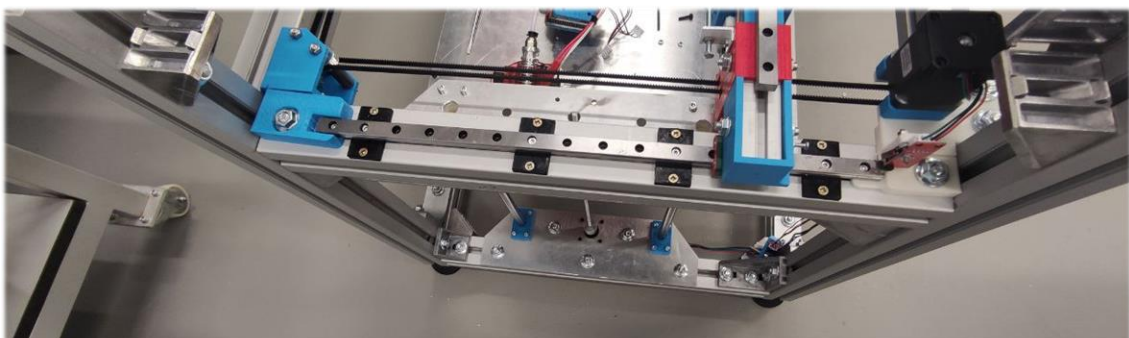


Figura 5.75: Soportes extra de PETG para carriles laterales.

Se desmontaron los carriles MGN del eje Y para añadir soportes de PETG en la perfilería de aluminio, con tal de mejorar sus sujeciones dejando ambos carriles totalmente paralelos (*Figura 5.75*).

3. Desmontaje del sistema CORE XY y montaje posterior con tensionado y alineado de correas.
4. Nuevas sujeciones para el carril del eje X de 750 mm.

Para ello se utilizan piezas de plástico PLA que dan apoyo al carril en el perfil, sujetándolo mediante uniones de tuercas de martillo de métrica 4 que encajan en la canal de perfil de aluminio y tornillos Allen de métrica 4 mm.

En este punto surgió un problema ya que el carril MGN no podía ocultar las cabezas de los tornillos, molestando en la superficie de deslizamiento. Se decidió mecanizar prudencialmente el carril MGN de 750 mm ampliando seis agujeros a una métrica de 8 mm. Dos de ellos a 12.5 mm del centro del carril, otros dos a 112.5 mm, y los últimos dos (extremos) a 312.5 mm (*Figura 5.76*). Inicialmente se tenían pensado solo dos puntos de unión, pero se ampliaron a seis para mejorar la sujeción del carril.

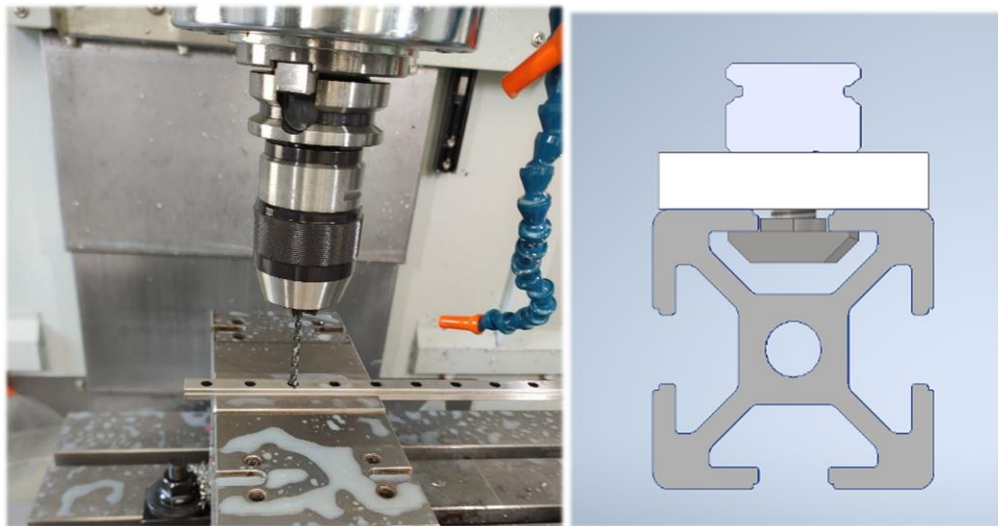


Figura 5.76: Mecanizado del carril MGN de 750 mm para poder ocultar los cabezales de los tornillos que sujetan el carril al perfil de aluminio. En la imagen derecha se muestra en entorno 3D el tipo de sujeción.

El mecanizado fue complicado ya que los carriles poseen una dureza de 58 HRC, lo que ocasionó la rotura de la herramienta. Se realizó una sustitución y se redujeron las revoluciones y la velocidad de entrada y salida en el material, pudiendo acabar el mecanizado en los seis agujeros.

5. Giro del conjunto transversal (eje X) 180°.

Esto se hizo así ya que, en su avance frontal el carro podía llegar a intersectar las correas del sistema CORE XY, por lo que se montó de cara a los motores. De esta manera, además se evitaba el posible contacto accidental con las correas a la hora de manipular el resto de elementos de la máquina.

6. Eliminación de perfil de aluminio 45x45 mm.

El perfil que ahora quedaría en el frontal tras el giro del conjunto transversal es eliminado, elevando las escuadras de 84x84x40 mm para darles una nueva sujeción. Las escuadras son mecanizadas para adaptarse a las piezas de PLA que dan sujeción a los motores. Esto se hace para poder tener una visión certera a la hora de nivelar la cama con el inyector.

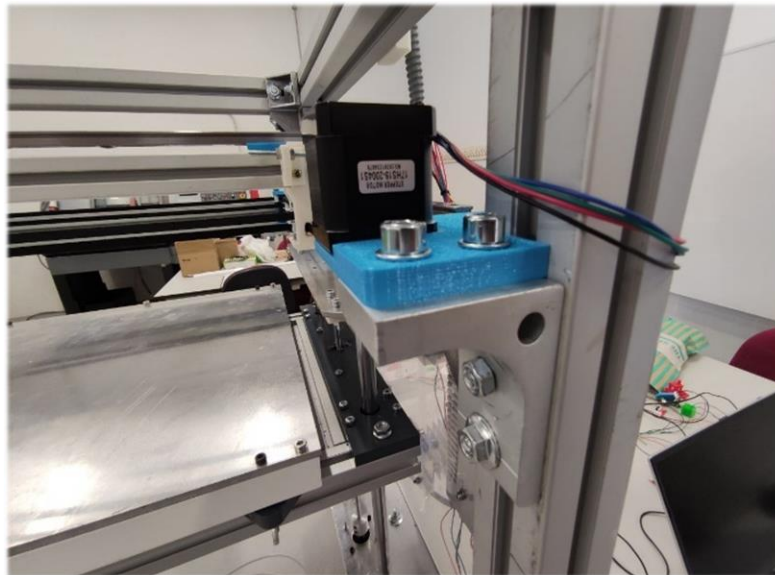


Figura 5.78: Mecanizado del carril MGN de 750 mm para poder ocultar los cabezales de los tornillos que sujetan el carril al perfil de aluminio. En la imagen derecha se muestra en entorno 3D el tipo de sujeción.

7. Mecanizado de las planchas superiores de aluminio para con agujeros para husillos y guías facilitando las extracciones e inserciones de los mismos.
8. Cambio de varilla roscada de métrica 8 a métrica 5 mm.

Se trata de una varilla roscada unificada de métrica 5 y paso 0.8 mm de 37 mm de longitud. Con ella se adquiere mayor precisión en el eje Z. Su acople con el motor se lleva a cabo mediante un acople sólido mecanizado en CNC con relación de acople de 5/5 mm. La tuerca husillo cambia a una de acero con rosca mecanizada en CNC, su diámetro collarín se mantiene para su unión a la cama. A parte, los motores se llevan bajo la plancha de aluminio (Figura 4.79).

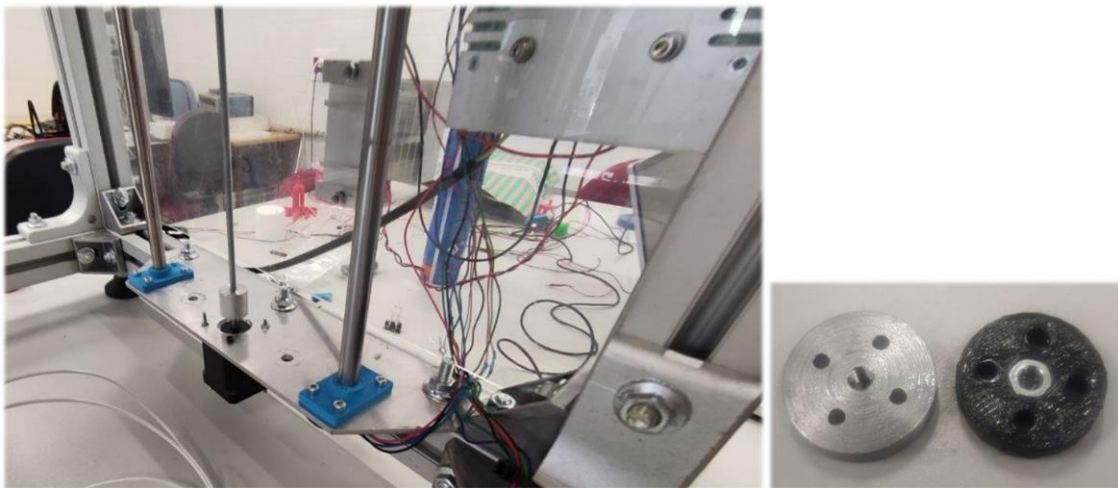


Figura 5.79: Antigua y nueva tuerca collarín. Cambio de posición de motor bajo la plancha de aluminio, acople del nuevo husillo de métrica 5 con acople sólido.

Con estos nuevos cambios, la impresora toma un aspecto bastante diferente, como puede visualizarse en el resultado final en la *Figura 5.80*.

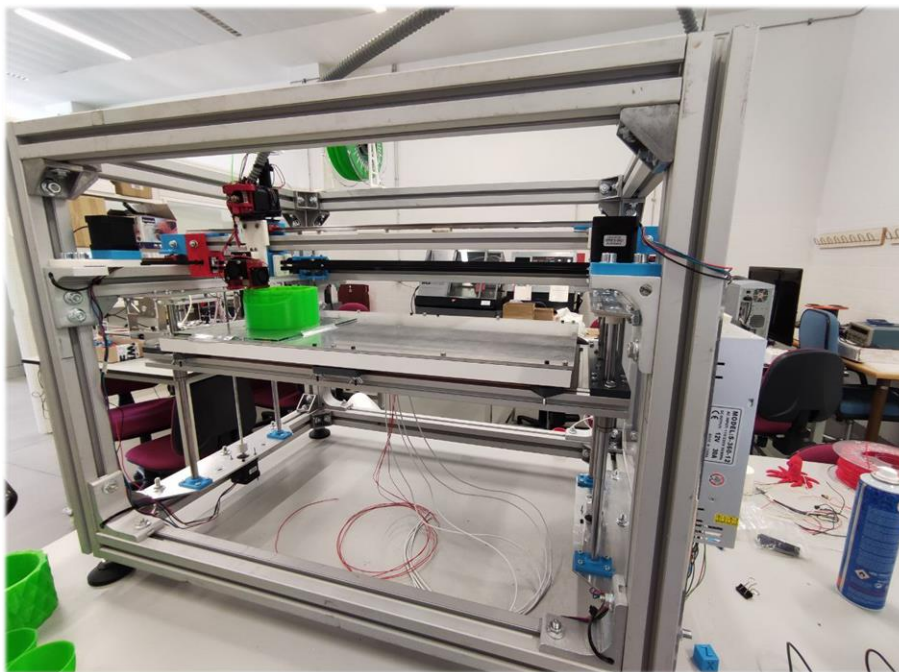
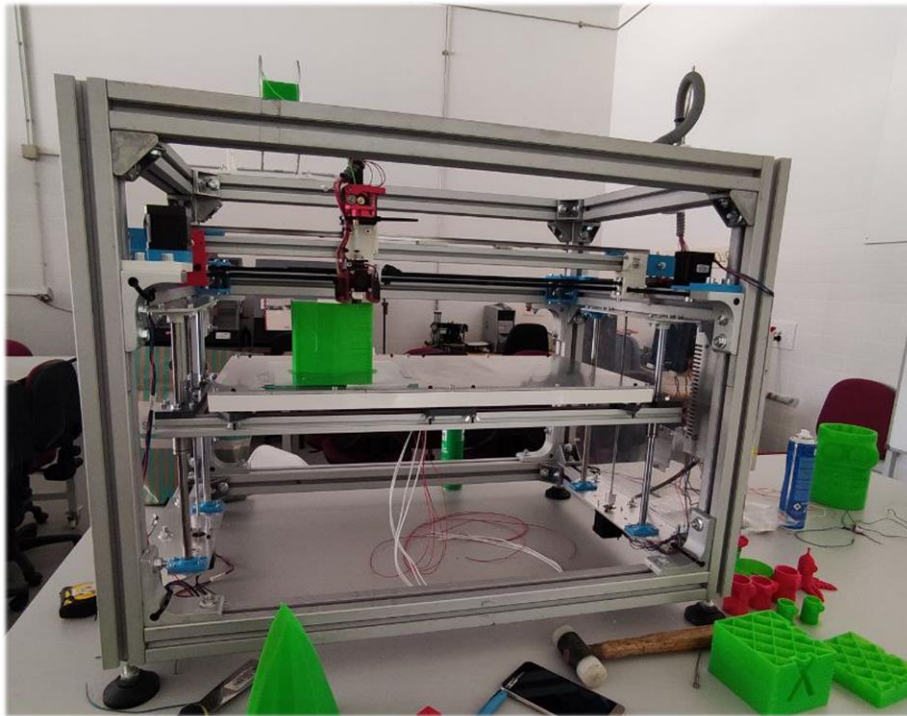


Figura 5.80: Versión final de la impresora CORE XY.

Los resultados después de estos cambios se hacen de notar. Desaparecen las irregularidades comentadas anteriormente sobre las secciones irregulares, se incrementa la precisión de deslizamiento en el eje Z reduciendo las líneas con falta de material las esquinas con turbulencias. Para probarlo, se puede ver en la *Figura 5.81* donde parte de la pieza verde se imprimió en con la configuración anterior a las modificaciones descritas.

Las características finales permiten un volumen de trabajo de 590x300x250 mm. Teniendo una máquina de dimensiones globales de 100x520x600 cm.

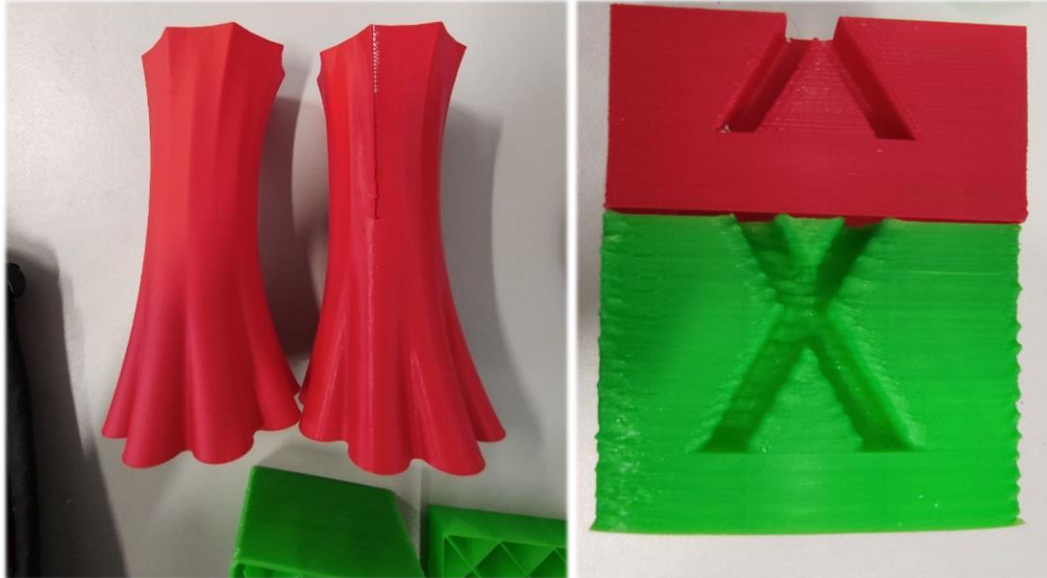
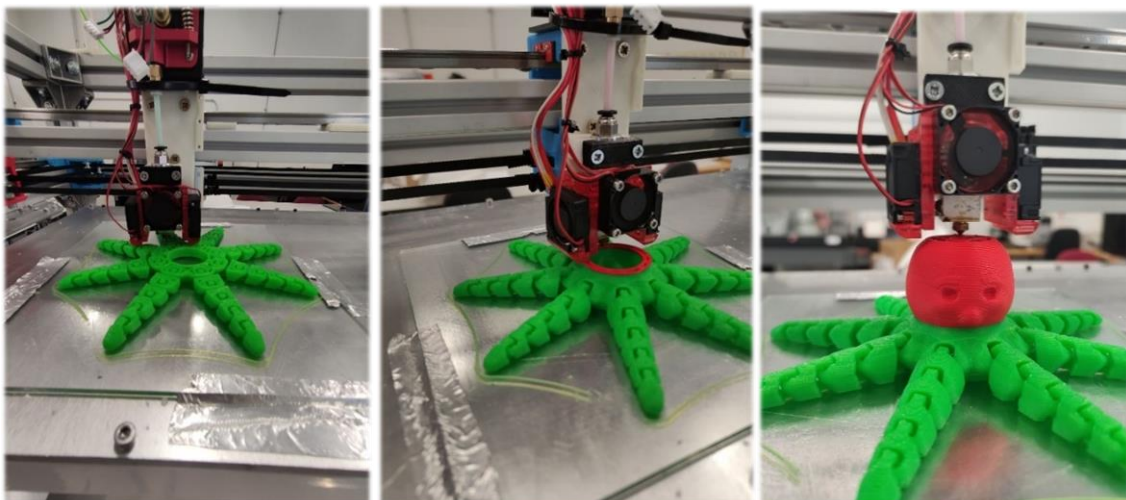


Figura 5.80: Comparativa entre piezas de PLA. En la imagen izquierda se configuran cubos de calibración de tamaño de 200x200x200 de densidad reducida con relleno cuadrado diagonal. Para la imagen derecha se configura la pieza para su impresión en modo vaso, solo imprimiendo la periferia.

A continuación, se muestran algunas de las piezas que se llevaron a impresión una vez la impresora quedó en su versión final (Figura 5.81).



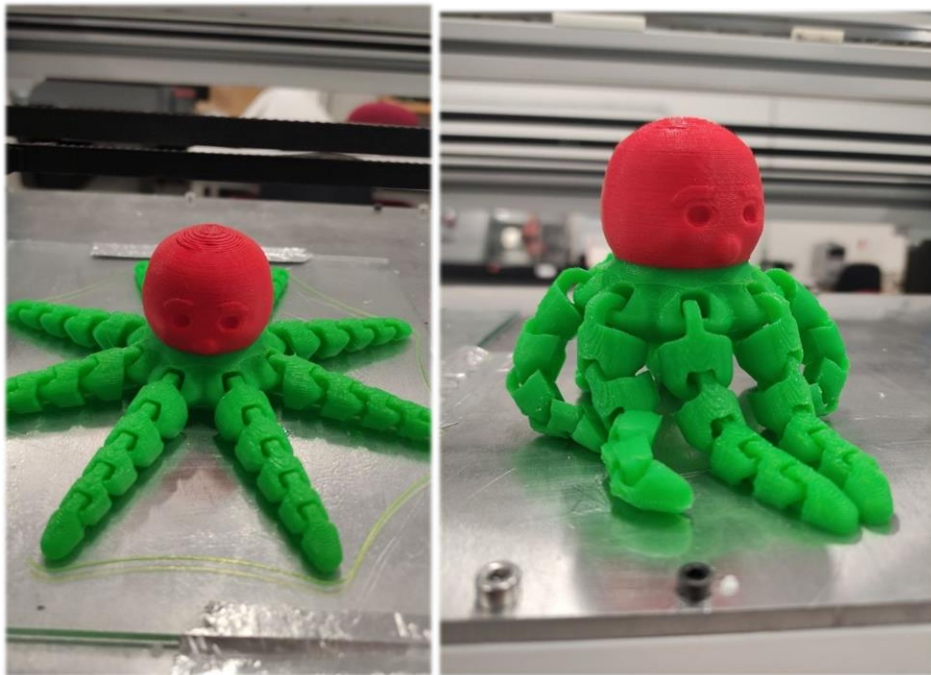


Figura 5.81: Pulpo con tentáculos articulados impresos en PLA con temperatura de 210 °C y con boquilla de 0.8 mm a altura de capa 0.5 mm. Se realizó una pausa para cambio de filamento comprobando que el software permitía hacerlo correctamente.

Para completar la configuración final que permitirá imprimir grandes piezas, se posó sobre la cama el cristal de 620x300x3 mm. Sujetándolo en los laterales mediante cinta de aluminio. Se añadió una configuración en fusor de tubo PTFE hasta la boquilla. Se intentó lanzar una impresión en plástico ABS teniendo en cuenta que en esa época de verano la temperatura ambiente lo permitía sin necesidad de las siliconas calefactoras (Figura 5.82).

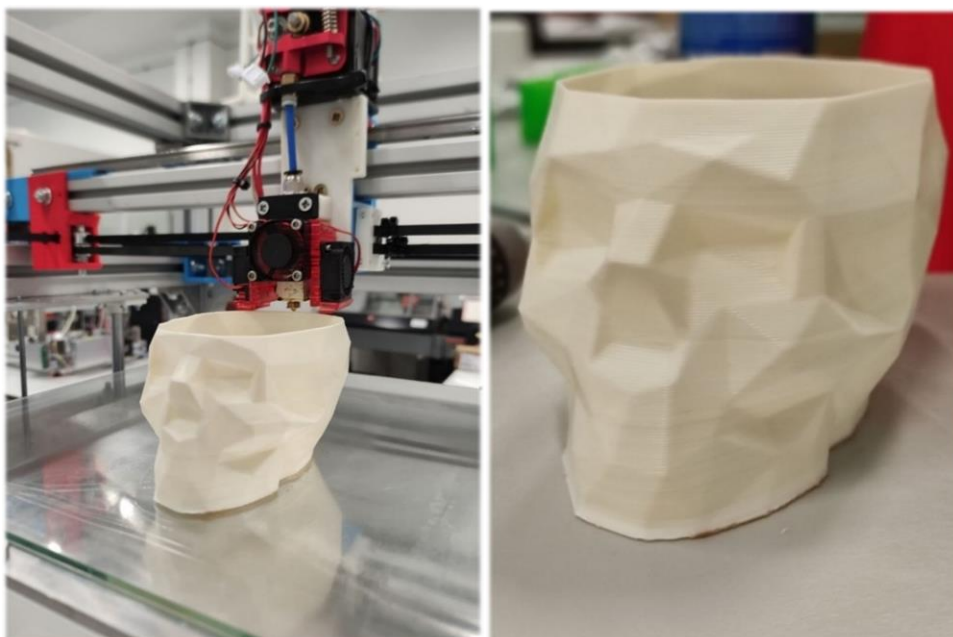


Figura 5.82: Calavera de plástico ABS impresa en modo vaso. Los parámetros de temperatura para el ABS ascienden a 235 -240 °C y la boquilla utilizada es de 0.8 mm de diámetro, con una impresión a 0.5 mm de altura de capa.

En este punto tanto el montaje como las modificaciones de la impresora se dan por terminadas, a excepción de las futuras conexiones de las siliconas calefactoras y el aislamiento de la máquina.

El diseño realizado por software 3D en Autodesk Inventor se actualiza al modelo final con todas las modificaciones realizadas y con la caja de aislamiento que recubre la impresora, cuyos planos pueden verse en los Anexos 9.

El volumen final de trabajo para la máquina es de 620x300x240 mm en la versión final de la impresora.

Debido a todos estos cambios, existen cálculos que han de volver a comprobarse, como el del par de retención o la posibilidad de pandeo para el husillo de 5 mm de métrica, que se detallarán en el siguiente punto.

5.3.1. CÁLCULOS INVOLCRADOS EN EL DISEÑO FINAL.

Tras las modificaciones realizadas en la impresora, lo que más preocupa con respecto a los cálculos iniciales son los cambios referentes al husillo. Por ello, es necesario volver a realizar los cálculos y comprobar los resultados.

El número de ciclos de vida útil del husillo hasta su rotura a fatiga no se incluye debido a que apenas es relevante una vez vistas las cifras en los cálculos iniciales.

A. SISTEMAS DE DESPLAZAMIENTO VERTICAL EN (Z).

Con el planteamiento desarrollado en el *Capítulo 4.5.2* y los datos extraídos de los componentes, se pueden calcular los pares (Nm) que necesitarán los motores Nema 17 modelo 17HS19-2004S1 para levantar y bajar la cama y la superficie de impresión.

Para ello primero debemos tener en cuenta el husillo y el collarín que se han descrito en los componentes:

- Varilla roscada de métrica unificada de 8 mm, paso 0.8 mm y longitud 370 mm.
- Tuerca collarín de acero de métrica 5 mm, paso 0.8 mm.

Para estos se debe de tener en cuenta un tipo unificada donde:

- D_1 o D_m (Diámetro de paso) = $5 \text{ mm} - 0.649519 \cdot \text{Paso (mm)} = 4.48 \text{ mm}$.
- Ángulo de hélice = $0.5 \cdot 60^\circ = 30^\circ$
- Paso (P) = 0.8 mm.
- Avance (I) = n (1 para rosca simple) $\cdot$ Paso = 0.8 mm.

- D_c (Diámetro de collarín) = 16 mm.
- f (coeficiente de fricción) = f_c (coeficiente de fricción de la tuerca collarín) = 0.15 (acero – acero).

Considerando para cada motor una masa sobredimensionada de 10 kg, el peso que aguanta cada uno resulta en 98.1 N.

- $F = 98.1$ N.

Con estos datos y la aplicación de las ecuaciones *Ec.12* y *Ec.13* obtenemos los siguientes momentos o par de subida T_R y bajada T_L .

$$T_R = 0.16877 \text{ Nm} = 16.88 \text{ Ncm.}$$

$$T_L = 0.143 \text{ Nm} = 14.3 \text{ Ncm.}$$

Una vez se tienen los pares necesarios basta con consultar la curva de trabajo que relaciona el par (Nm) que es capaz de dar el motor con su velocidad de giro (rpm). Para ello consultamos la *Figura 5.82* a continuación.

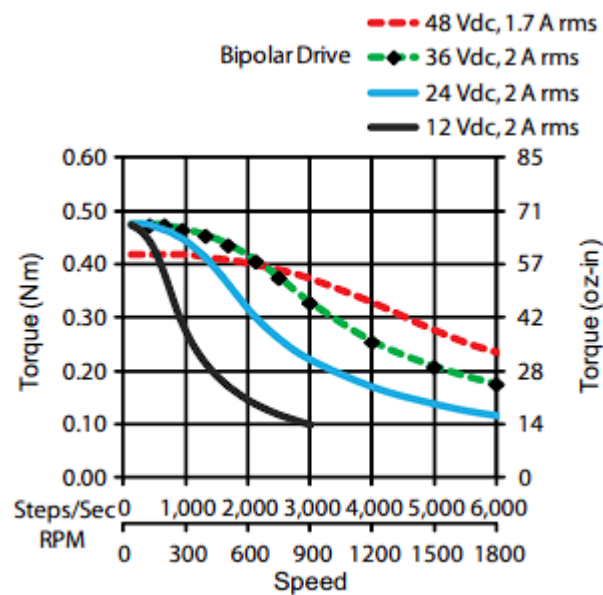


Figura 5.82: Curva de par (Ncm) en relación a la velocidad de giro del motor (rpm) y y frecuencia en pasos por segundo a diferentes voltajes.

Este modelo de motor trabaja a 12 V y 2 A. La velocidad de giro de los motores se mantiene constante por motivos de programación, correspondiente a la velocidad para el par de subida o retención.

Con la *Figura 5.82* se comprueba que con 24 Ncm la velocidad de giro máxima es de 400 rpm aproximadamente. La velocidad lineal máxima de subida y bajada puede

calcularse con el producto del avance de la rosca por la velocidad de giro (en rad/s), resultando en 33.51 mm/s.

El motor puede aguantar el par de retención siempre y cuando no se supere la velocidad de 400 rpm con el husillo seleccionado. Pese a que se pierde velocidad lineal, se gana en reducción de esfuerzo par para el motor Nema 17, además, la velocidad lineal en el eje Z es mucho menos limitante que las de los ejes X e Y.

B. PANDEO EN HUSILLOS.

Para comprobar si existe pandeo por compresión axial en el husillo, se atiende al planteamiento descrito en el *Capítulo 4.5.3*. La configuración en función de la fijación de los componentes equivale a empotrada – apoyada con constante $C = 2$.

Para comprobar si existe pandeo se calcula la carga crítica de pandeo con la ecuación *Ec. 15*, pero antes se debe conocer los parámetros del husillo:

- E (Módulo de Young del acero) = 210 GPa.
- Radio (radio del husillo) = 2.5 mm.
- $I_{x,y}$ (Momento de inercia de la sección circular del husillo) = $\frac{1}{4} \pi r^4 = 30.68 \text{ mm}^4$.
- L (Longitud ente el extremo inferior del husillo y la tuerca collarín), a diferentes puntos de altura del husillo:
 1. Punto A: $L_A = 250 \text{ mm}$.
 2. Punto B: $L_B = 150 \text{ mm}$.
 3. Punto C: $L_C = 70 \text{ mm}$.

La carga crítica para los tres puntos de la barra aplicando la ecuación *Ec. 15* resulta en:

$$P_{CRA} = 2034.81 \text{ N}$$

$$P_{CRB} = 5652.26 \text{ N}$$

$$P_{CRC} = 29954.24 \text{ N}$$

La carga crítica para los tres puntos de la barra debe compararse con el peso en esos tres puntos, suma del peso de la plataforma ($P = 50 \text{ N}$) y el de la pieza con diferente volumen a cada altura (o a cada punto).

Este volumen se calcula multiplicando la altura variable de la pieza $H = 290 \text{ mm}$ – H (Punto A, B, C) mm con la sección máxima delimitada por la superficie de impresión,

595x300 mm. El peso en los tres puntos se calcula con la densidad del material utilizado, en el caso del PLA (pieza sólida), 1.24 g/cm³.

De manera que para los tres puntos se obtiene que:

- Punto A: $H_A = 40 \text{ mm}$. $\rightarrow P = 9.81 \text{ m/s}^2 \cdot (500 \text{ g} + 1.24 \text{ g/cm}^3 \cdot 59.5 \text{ cm} \cdot 30 \text{ cm} \cdot H_A) \rightarrow P_A = 137 \text{ N}$.
- Punto B: $H_B = 130 \text{ mm}$. $\rightarrow P = 9.81 \text{ m/s}^2 \cdot (500 \text{ g} + 1.24 \text{ g/cm}^3 \cdot 59.5 \text{ cm} \cdot 30 \text{ cm} \cdot H_B) \rightarrow P_B = 333 \text{ N}$.
- Punto C: $H_C = 220 \text{ mm}$. $\rightarrow P = 9.81 \text{ m/s}^2 \cdot (500 \text{ g} + 1.24 \text{ g/cm}^3 \cdot 59.5 \text{ cm} \cdot 30 \text{ cm} \cdot H_C) \rightarrow P_C = 531 \text{ N}$.

Si se compara estas cargas con las críticas, se ve que en ninguno de los puntos se supera la carga crítica de pandeo.

$$P_{CRA} = 2034.81 \text{ N} > P_A = 137 \text{ N}$$

$$P_{CRB} = 5652.26 \text{ N} > P_B = 333 \text{ N}$$

$$P_{CRC} = 29954 \text{ N} > P_C = 531 \text{ N}$$

6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Atendiendo a los cálculos teóricos iniciales del *Capítulo 5.1* y los finales del *Capítulo 5.3.1*, se encuentran fallos en la primera selección para los husillos de la impresora en base al cálculo de par de retención. Según los resultados teóricos, el par de retención era suficiente, pero en la puesta en marcha se encontraron caídas y desniveles de la cama que deslizaba hacia abajo haciendo perder pasos a los motores en cada parada. Esto puede estar causado por una configuración de velocidad mayor a la limitante. Con el cambio del husillo a las varillas esto dejó de suceder, llegando a la varilla roscada de métrica 5 mm donde los motores podían trabajar perfectamente sin pérdida de pasos, mejorando así la definición en las piezas. De igual manera, los cálculos del par con la nueva varilla detallan un menor esfuerzo par, que se debe desarrollar por parte de los motores, coherente con el resultado experimental.

En este aspecto es necesario comentar que, aunque la velocidad lineal de subida y bajada de la cama se ve reducida por el cambio a la varilla roscada de 5 mm, esto apenas afecta negativamente ya que en el movimiento vertical no se buscan altas velocidades, si no fuerza par suficiente para mover el conjunto cama. Además, la calidad de las piezas mejoró con su cambio reduciendo los fallos de líneas con falta de deposición de material.

En lo referente al pandeo del husillo, los cálculos realizados parecen desechar su posibilidad, sin embargo, en el aspecto experimental se debería de realizar un seguimiento por si hicieran falta posibles cambios. Por otro lado, el hecho de que haya una diferencia de diámetros tan grande entre las guías y las varillas radica en una muy buena absorción de vibraciones y esfuerzos flectores, dejando los husillos cargados únicamente de manera axial.

Los cálculos teóricos para la compresión de resortes en comparativa el resultado experimental guarda similitud. Aunque los esfuerzos se maximizaron y no se obtuvieron grandes desplazamientos en el resultado de cálculo ni en el análisis estático, en la cama ya montada los muelles se redujeron alrededor de 1 mm. Sin embargo, debido al sistema de nivelación de la cama se llegaron a comprimir hasta 3 mm en algunos de ellos. Con lo cual cada muelle se halla comprimido una distancia concreta en función de la nivelación de la cama.

Los cálculos del sistema CORE XY desarrollados han sido un satisfactorios. Tras su planteamiento y desarrollo se llevaron las ecuaciones de posicionamiento al Dpto. de Telemática, donde el técnico de laboratorio las añadió al sistema. Sin embargo, en el montaje del mismo se han pasado por varios problemas, que radicaban en tener una buena alineación de los carriles MGN de cada eje (X, Y) y una buena alineación y tensado de las correas.

Los resultados en cálculos de vida útil para los patines MGN 12H es demasiado alto pese a que se han seguido los procedimientos y datos proporcionados por el fabricante. La calidad de desplazamiento que procuran al sistema CORE XY permite al mismo trabajar con muy buena precisión y velocidad. Sin embargo, hay que tener en cuenta que los lubricantes que se usen en ellos, como el WD-40 puede dejar residuos al secarse y deteriorar los patines, por lo que es aconsejable lubricarlos con grasa o aceite y limpiarlos de manera periódica por las acumulaciones de polvo en el ambiente que se adhieren a ella.

A lo largo del desarrollo de la máquina se han realizado numerosos cambios en el diseño hasta poder llegar a su versión final, como se ha visto en el transcurso del *Capítulo 5.2*. Cambios que venían dados por dificultades de montaje y adaptaciones con respecto al diseño inicial para mejorar el montaje o solucionar problemas derivados en el funcionamiento general de la impresora. Esto se traduce en mayor tiempo de trabajo y coste en la realización de nuevas piezas utilizando más material y poniendo en marcha las máquinas de fabricación aditiva o sustractiva de los laboratorios de mecánica.

En cuanto a la versión final ya montada, se pueden realizar algunas mejoras que se dejan a propuestas futuras. Una de ellas es en la generación de nuevas piezas para la inserción del conjunto transversal (Eje X) en los patines laterales *Figura 5.60* del *Capítulo 5.2.5 B*. En los planos acerca de esta pieza podrá verse su diseño.

La otra propuesta y más importante es fabricar el aislamiento para la impresora (el cual está desarrollado en planos de *Anexos 9*) y la conexión y programación de las siliconas calefactoras, vistas en el *Capítulo 5.2.6*, para imprimir en ABS en cualquier condición. También podría resultar interesante el diseño de un nuevo carro extrusor – fusor que permita la configuración de impresión de dos materiales distintos, como las vistas en el *Capítulo 4.3.2* con doble extrusor para un mismo inyector. O el uso de una base de impresión magnética como las descritas en el *Capítulo 4.3.5 C*, para poder despegar las piezas impresas con mucha mayor facilidad

En cuanto a presupuesto, el coste inicial estimado para la máquina fue de 465 € para su diseño inicial al final de *Capítulo 5.1.3*. En su diseño final los componentes que se han añadido y cambiado se estiman en valor de 35 €, por lo que se podría decir que el coste total es de 500 €. Hay que tener en cuenta que la máquina es un prototipo, pero puede alcanzar resultados de calidad con configuraciones de impresiones rápidas, pudiendo cuidar aún más el detalle que los resultados vistos en el *Capítulo 5.3* para generar piezas de gran tamaño con una calidad excelente.

En comparativa con otras impresoras comercializadas del mismo tipo o cartesianas del mismo precio o superiores, las ventajas radican en el volumen de fabricación disponible en la máquina, la posibilidad de imprimir en varios materiales, el control remoto de la impresora y la precisión de posicionamiento para la deposición del material con los resultados ya vistos.

7. CONCLUSIÓN.

Como objetivo principal se pretendía diseñar una impresora 3D de modelado por deposición fundida con una fabricación viable en vistas a su uso por parte del departamento de Ingeniería Mecánica y Minera, con lo cual en este aspecto se ha cumplido satisfactoriamente. La impresora 3D de impresión FDM se ha desarrollado en entorno 3D con *Autodesk Inventor* generando un primer prototipo que se llevó a montaje. Tras ello y todas las modificaciones pertinentes se concluyó el montaje final totalmente funcional adaptando el diseño realizado por software para la generación de planos.

Ha de tenerse en cuenta que la propuesta de montaje es adicional y se encuentra financiada por la Universidad Jaén alineándose con el proyecto de Innovación Docente *PIMED46_201921* en el que los tutores del proyecto participan. Su uso ya puede dotar a la Escuela Politécnica Superior de Linares de una plataforma sobre la cual permitirá a estudiantes realizar prácticas de las diferentes asignaturas, así como elementos de utillaje en proyectos envueltos con el departamento de mecánica.

La máquina es capaz de realizar piezas de gran tamaño guardando buena calidad superficial a altas velocidades, dando la posibilidad de imprimir con diversos materiales termoplásticos. Para poder imprimir las piezas en el material que mejor se adapte al carácter mecánico de uso de las piezas.

Para su utilización en los diferentes proyectos que la Escuela Politécnica Superior de Linares pueda proponer a sus alumnos, se añadirá un manual de control en los Anexos. En él se explicará detalladamente el control y se proporcionará una guía de uso rápido.

8. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] Fabricación aditiva Principios generales Terminología (ISO/ ASTM 52900:2015)
- [2] INTECH3D. *7 curiosidades de la impresión 3D que no te puedes perder*. INTECH3D. 2021. <https://intech3d.es/2021/11/25/7-curiosidades-de-la-impresion-3d-que-no-te-puedes-perder/>
- [3] INTECH3D. *Impresión 3D y materiales inteligentes*. INTECH3D. 2019. <https://intech3d.es/2019/03/05/impresion-3d-y-materiales-inteligentes/>
- [4] Mecalux. *Fabricación aditiva: la impresión 3D digitaliza la manufactura*. Mecalux. 2021. <https://www.mecalux.com.mx/blog/fabricacion-aditiva>
- [5] Wikipedia contributors. (s/f). *Impresión 3D*. Wikipedia, The Free Encyclopedia. https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Impresi%C3%B3n_3D&oldid=144556848
- [6] iMH CENTRO AVANZADO DE FABRICACIÓN. *Fabricación aditiva. Oportunidades y claves para su incorporación en la empresa*. Gipuzkoako Foru Aldundia Diputación Foral de Gipuzkoa, ORAIN GIPUZKOA
- [7] ISO 6983-1:2009 Automation systems and integration — Numerical control of machines — Program format and definitions of address words — Part 1: Data format for positioning, line motion and contouring control systems
- [8] DIN 66025-1/A1:1987-09 Industrial automation; numerical control of machines, format; general requirements; amendment 1
- [9] Materialise. *Modelado por deposición fundida*. <https://www.materialise.com/es/manufacturing/tecnologia-de-impresion-3d/modelado-por-deposicion-fundida#:~:text=El%20FDM%20es%20una%20tecnolog%C3%ADa,un%20material%20soluble%20en%20agua.>
- [10] Hubs. *What's the ideal filament for FDM 3D printing? 3D printing materials compared*. Hubs. <https://www.hubs.com/knowledge-base/fdm-3d-printing-materials-compared/>
- [11] Formlabs. *Guide to 3D printing materials: Types, applications, and properties*. Formlabs. <https://formlabs.com/blog/3d-printing-materials/>
- [12] 3DLaboratorio.es. *Filamento ABS*. 3DLaboratorio.es. <https://3dlaboratorio.es/plastic-abs.htm>
- [13] 3DLaboratorio.es. *Filamento PLA 750 gr para impresión 3D*. 3DLaboratorio.es <https://3dlaboratorio.es/plastic-pla.htm>
- [14] Plásticos carrera. *Ficha Técnica PETG*. [www.plasticoscarrera.com. https://plasticoscarrera.com/wp-content/uploads/2019/09/FT_PetG_PC.pdf](https://plasticoscarrera.com/wp-content/uploads/2019/09/FT_PetG_PC.pdf)

- [15] Descubrearduino.com. *Todo sobre el Nylon (PA). Propiedades, cómo usar y las mejores marcas*. 2019. <https://descubrearduino.com/nylon-impresion-3d/>
- [16] TintasyTonerCompatibles.es. *Partes de la impresora 3D*. BLOG | TintasyTonerCompatibles.es; 2021. <https://www.tintasytonercompatibles.es/blog/partes-de-la-impresora-3d/>
- [17] Lorenzo, J. (2019, enero 29). Qué son y Cómo elegir el Hotend y Extrusor Perfecto para tu Impresora 3D. *Of3lia*. 2019. <https://of3lia.com/guia-extrusor-y-hotend-impresora-3d/>
- [18] Dima 3D. *Motores paso a paso en impresión 3D (I): Nociones básicas*. Impresión 3D Prototipado | 3D Printing Prototyping | Dima 3D Posadas, S. U. 2015. <http://www.dima3d.com/motores-paso-a-paso-en-impresion-3d-i-nociones-basicas-2/>
- [19] Hta3d.com. *Cama caliente y superficie de Impresión 3D..* Hta3d.com <https://www.hta3d.com/es/blog/cama-caliente-y-superficies-de-impresion-3d>
- [20] Norma UNE HD 60364-5-52:2014 Métodos de instalación de referencia
- [21] Lorenzo, J. Todos los Tipos de Impresoras 3D. Cuál necesitas y Cómo funcionan. *Of3lia*. 2018. <https://of3lia.com/tipos-de-impresoras-3d/>
- [22] Richard G.Budynas y J. Keith Nisbett. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, Novena edición ISBN 978-607-150771-6. 2011.
- [23] TECNOPOWER TRANSMISIÓN Y MOVIMIENTO LINEAL, GUÍAS LINEALES Bolas y Rodillos, Hiwin Motion Controls and systems.
- [24] ISO 7906, Part IV Helical Compression Springs Design Standard.
- [25] *thing-O-fun. Functional differential gear system*. Thingiverse.com.

9. ANEXOS.

En este apartado se desarrollará una guía de control de la impresora con un ejemplo de uso docente al final de la misma y por otro lado los planos de conjuntos y piezas del diseño final de la impresora 3D (FDM).

9.1. MANUAL DE CONTROL TURMAN DE LA IMPRESORA.

9.1.1. CONEXIÓN REMOTA A LA IMPRESORA 3D.

Para poder controlar la impresora de manera remota es necesario conectarse a la red IP que genera el módulo de red de la placa base de la impresora.

Para ello se debe de poner en funcionamiento la máquina de impresión 3D y disponer de un ordenador o terminal móvil con disponibilidad de conexión WiFi. Desde la lista redes disponibles aparecerá la red “CORE XY” correspondiente a la máquina:

- CORE XY.

Contraseña: 1234567890

Una vez se ha realizado la conexión, se utiliza cualquier navegador web y en la barra de búsqueda se introduce la IP generada por la impresora:

- 192.168.4.1

En este punto en el navegador debería de aparecer el panel de control principal de la máquina.

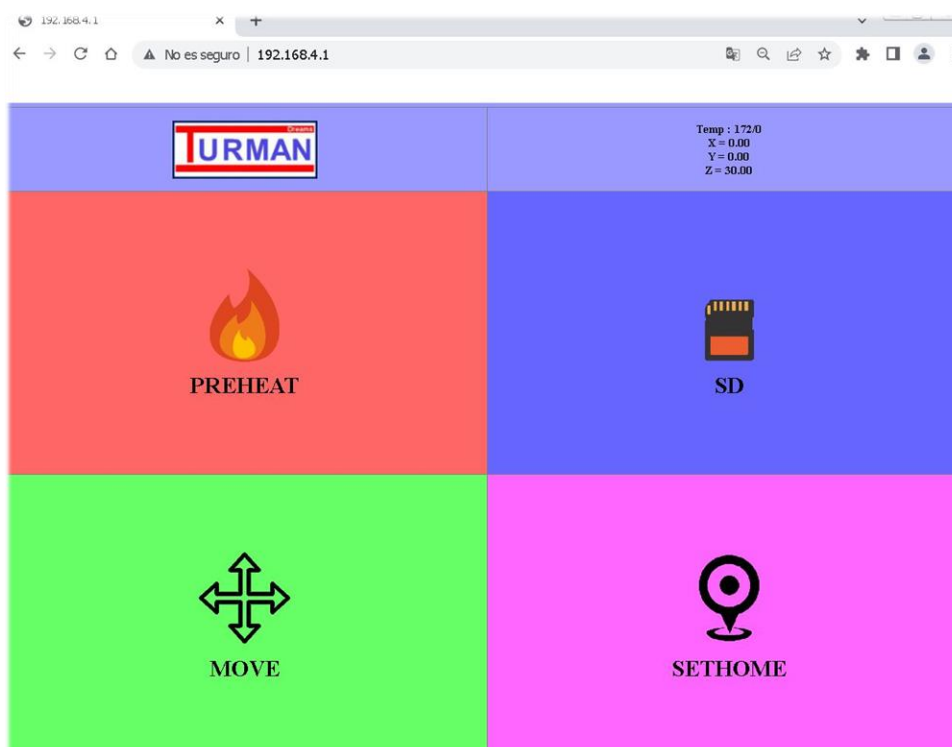


Figura 9.1: Menú principal

9.2. PANEL DE CONTROL PRINCIPAL Y NAVEGACIÓN ENTRE MENÚS.

En el panel de control principal se muestran las principales opciones de control:

- PREHEAT: Precalienta el fusor.
- MOVE: Ajustar posición de cama y fusor
- SETHOME: Establecer nuevo origen (0,0,0).
- SD: Cargar piezas a imprimir (*gcode*).

Si se quiere volver a esta pantalla principal navegando entre estas opciones basta con volver a pulsar en el símbolo TURMAN de la esquina superior izquierda.

El panel de control principal muestra además datos de la temperatura del fusor y su posición en coordenadas (en relación con el origen establecido) en la esquina superior derecha.

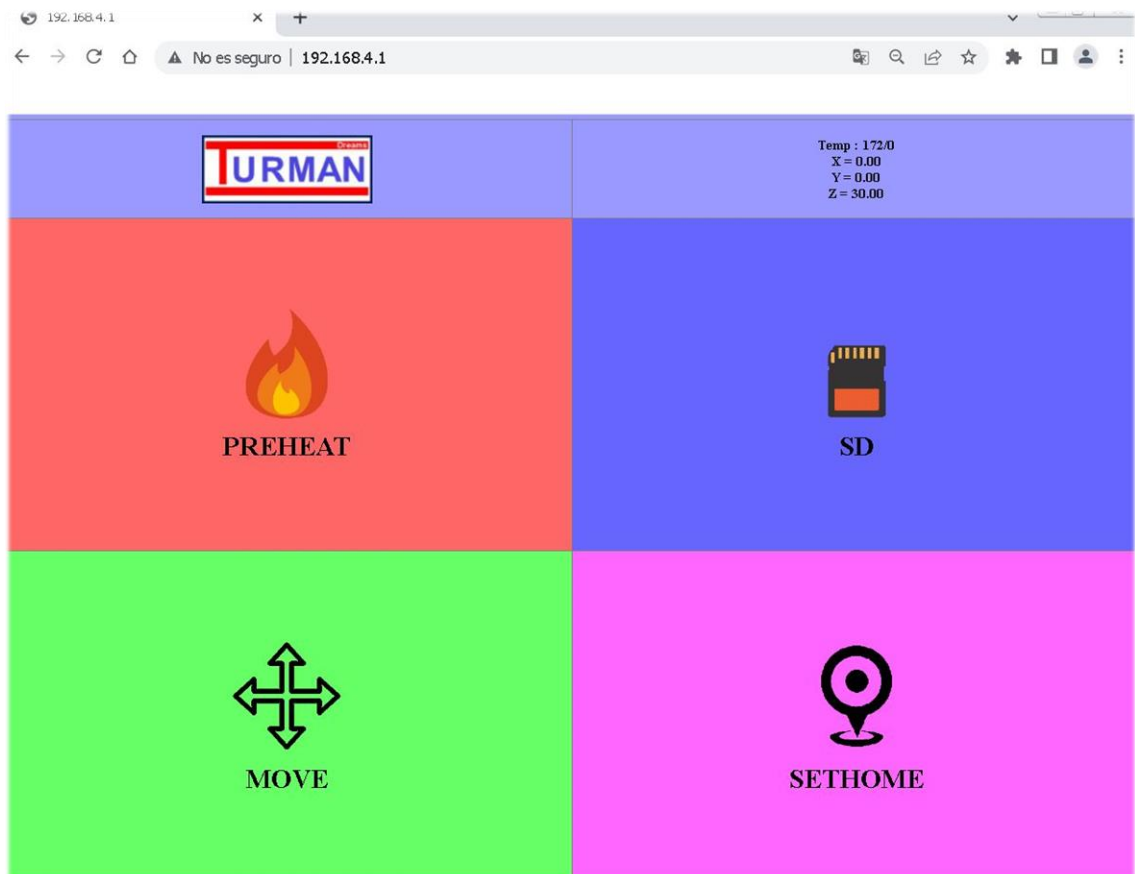


Figura 9.2: Menú principal

Para navegar entre menús basta con pulsar sobre las opciones, excepto para la opción SETHOME la cual establece de manera directa la nueva referencia sin ningún menú adicional. Para el resto de opciones se tienen los siguientes menús y comandos.

9.2.1. PREHEAT.

También se puede acceder a ella desde el comando “192.168.4.1/preheat” en la dirección del navegador web. Esta opción permite el precalentamiento del fusor antes de comenzar la impresión. El rango de temperaturas es de 210, 220, 230 y de 240 °C. Para plástico PLA es recomendable pulsar un precalentamiento de 210 °C, para plástico PETG es recomendable 220 - 230 °C y para plástico ABS de 230 - 240 °C.

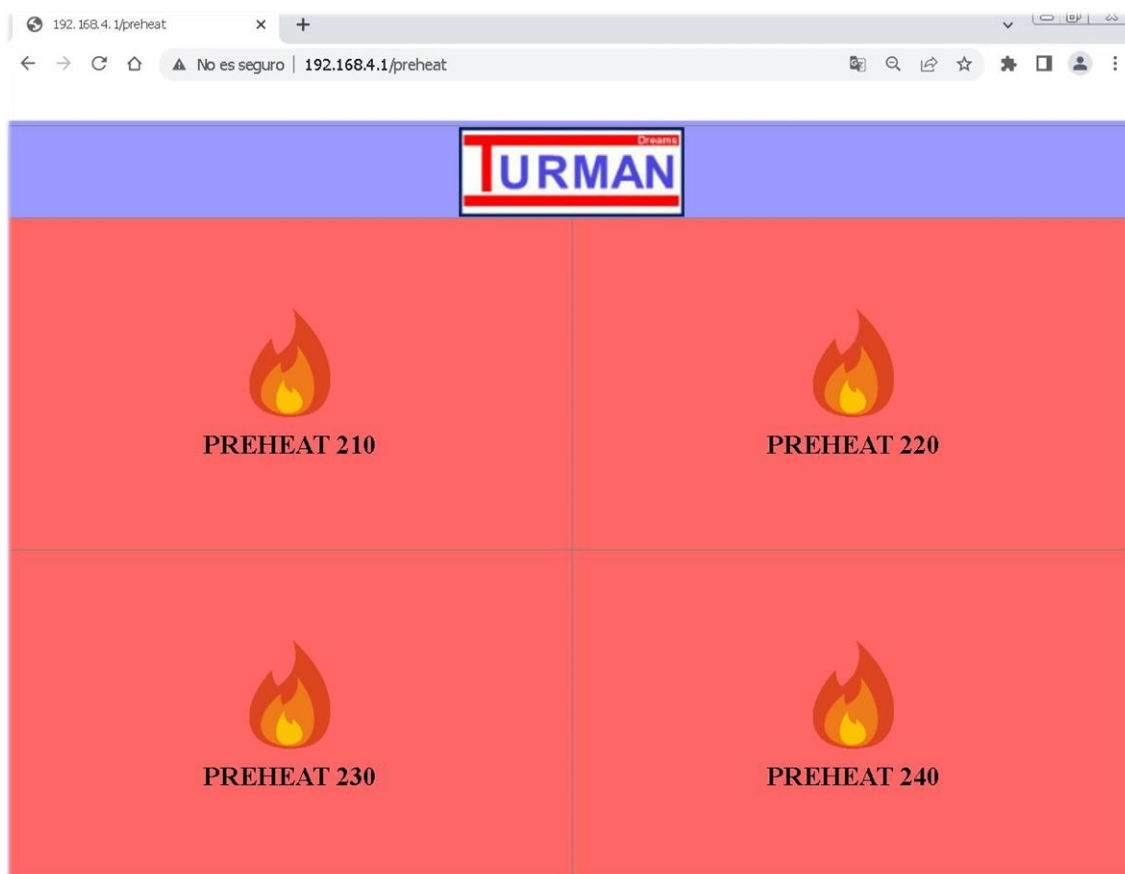


Figura 9.3: Menú para precalentar fusor

Una vez seleccionada la temperatura se vuelve al menú principal pulsando el logo TURMAN y se puede comprobar que el indicador de temperatura del fusor está incrementándose hasta la indicada.

9.2.2. MOVE.

También se puede acceder a ella desde el comando “192.168.4.1/move” en la dirección del navegador web. Pulsando sobre esta opción se despliega un menú permite mover todos los motores de la máquina para recorrer una distancia hacia la posición de origen, en los ejes X, Y, Z y en el extrusor.

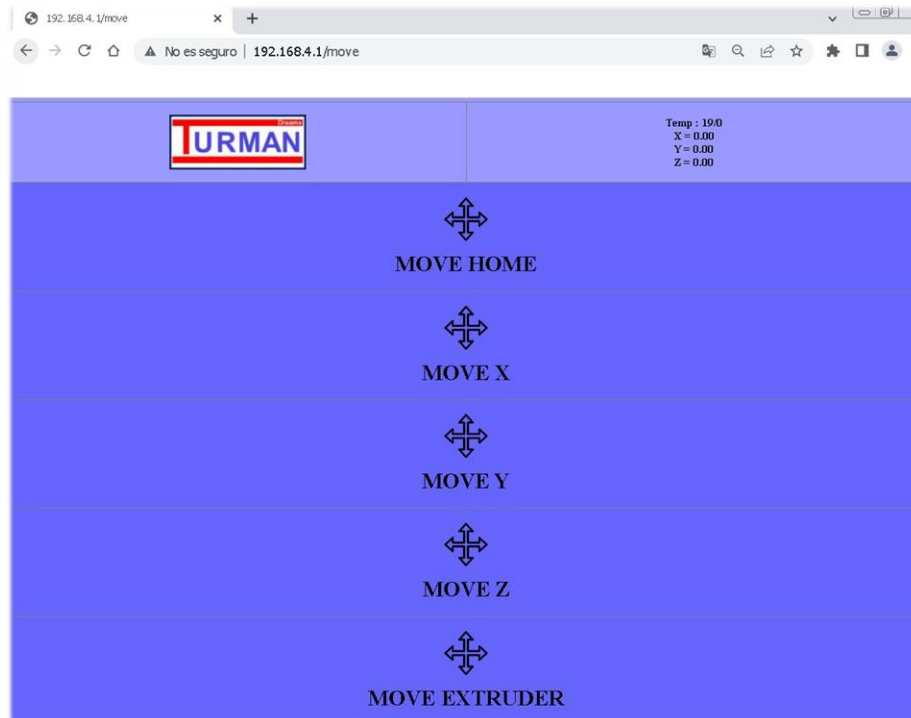


Figura 9.4: Menú de movimiento en ejes (X, Y, Z) y extrusor (E).

Si se pulsa en “MOVE X”, “MOVE Y” o “MOVE Z” se despliega otro menú con las distancias que se pudieran recorrer en esa dirección. Pulsando en la distancia se despliega otro menú donde se indica el sentido de movimiento y tras su selección se lleva a cabo el desplazamiento.

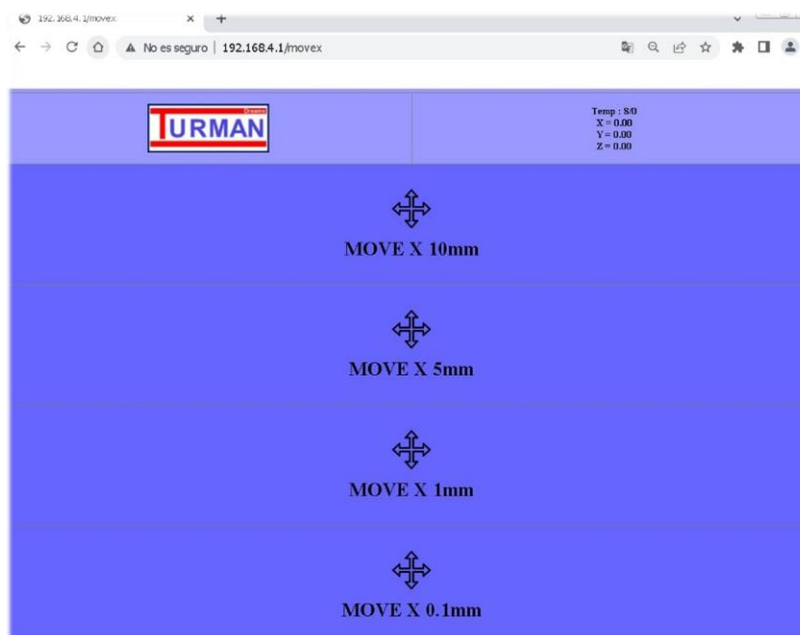


Figura 9.5: Menú de movimiento en ejes.

Para mover el extrusor en caso de comprobar su funcionamiento se utiliza “MOVE EXTRUDER”. En caso de querer llevar de nuevo la cama y el fusor al origen, “MOVE HOME”

Esta opción se utiliza mayormente para el calibrado del eje Z en términos de calibración de la cama con respecto a la boquilla del fusor. Una vez se tiene el posicionamiento adecuado basta con restablecer el origen con la opción SETHOME, a la que se puede acceder volviendo al menú principal.

CUIDADO: Hay que tener en cuenta que, si la cama o el fusor están en sus límites de recorrido en los ejes, mover estos más allá forzará los motores pudiendo provocar una avería en ellos. Por ello siempre es importante comprobar su posición antes de dar la orden de movimiento.

9.2.3. COMANDO DE CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS.

Para acceder a este menú se debe introducir en la dirección del navegador “192.168.1/config”. El menú desplegado contiene las siguientes opciones:

The screenshot shows a web browser window with the address bar displaying "192.168.4.1/config". The page has a blue background and a "TURMAN" logo at the top. The configuration parameters are as follows:

Parameter	Value
CORE XY :	☒
X Step Angle :	1.80
X Forward Per Lap :	40.00
Y Step Angle :	1.80
Y Forward Per Lap :	40.00
Z Step Angle :	1.80
Z Forward Per Lap :	0.80
E Step Angle :	1.80
E Forward Per Lap :	33.20
Microstep X :	32
Microstep Y :	32
Microstep Z :	32
Microstep E :	32
Velocidad XYE :	242
Velocidad Z :	250

At the bottom of the form is a button labeled "GUARDAR".

Figura 9.6: Menú de configuración de parámetros de la impresora 3D FDM CORE XY

- X, Y, Z STEP ANGLE: Este valor viene definido por el tipo de motor paso a paso utilizado. En este caso los Nema 17 tienen un ángulo de paso de 1.8° (200 pasos por vuelta). Solo se debe modificar en el caso de cambiar la subdivisión de pasos.
- X, Y FORWARD PER LAP: Este valor equivale al avance por vuelta, definido por la polea dentada de 20 dientes y 2 mm de avance por diente con un resultado de 40 mm por vuelta. Solo se debe modificar en el caso de cambiar la polea dentada en los motores del sistema CORE XY.
- Z FORWARD PER LAP: Este valor equivale al avance por vuelta del husillo o varilla roscada utilizada para elevar o bajar la cama en el eje Z, definido por el

paso y el tipo de rosca de la varilla y husillo. En este caso está instalada una varilla roscada de métrica unificada de 5 mm y de paso 0.8 mm con rosca simple por lo que el avance es igual al paso. Solo debe modificarse si se cambia de varilla o husillo con el valor del avance correspondiente.

- E FORWARD PER LAP: Este valor equivale a la longitud de la polea utilizada en el extrusor. Depende del diámetro de la polea dentada que empuja el filamento. En este caso el valor es de 33.2 mm ya que el diámetro medio de la polea es de 10.57 mm, por lo que la longitud $L = 2 \cdot \pi \cdot \text{radio} = 33.2 \text{ mm}$. Solo debe modificarse si se cambia la polea y con ella cambia dicho diámetro.
- MICROSTEP X, Y, Z, E: Este valor viene definido por los drivers instalados en los motores paso a paso Nema 17. Para los drivers DRV8825 que llevan instalados el valor de micro pasos es de 32. Solo debe modificarse en caso de cambio de drivers o motores.
- VELOCIDAD XYE: Un valor orientativo para la velocidad del sistema CORE XY y el extrusor, definido por la programación del software entre 200 y 300. Puede modificarse en función de la velocidad a la que queramos imprimir, aunque tras varias impresiones se ha comprobado una buena calidad y velocidad de impresión en el intervalo de 240-250.
- VELOCIDAD Z: Un valor orientativo para la velocidad de subida y bajada de la cama, definido por la programación del software ente 0 y 250. Se encuentra limitado por el peso de la cama ya que el motor procura un par en función de la velocidad de giro. En este caso el motor puede dar su velocidad máxima con 250 sin problemas de falta de par de subida o bajada para la cama.

En resumen, los parámetros a modificar para una impresión normal, podrían ser el de las “Velocidades XYE” y el de “Velocidad Z” en función de la necesidad del usuario.

9.2.4. ENVÍO DE PIEZAS A TARJETA SD.

Gracias al software desarrollado por TURMAN DREAMS pueden enviarse las piezas a imprimir a la máquina sin necesidad de extraer la tarjeta de memoria SD. Para ello se utiliza un programa desarrollado en Java por TURMAN DREAMS llamado “3D Sender by Turman”. Al abrirlo se despliega una ventana de comandos:

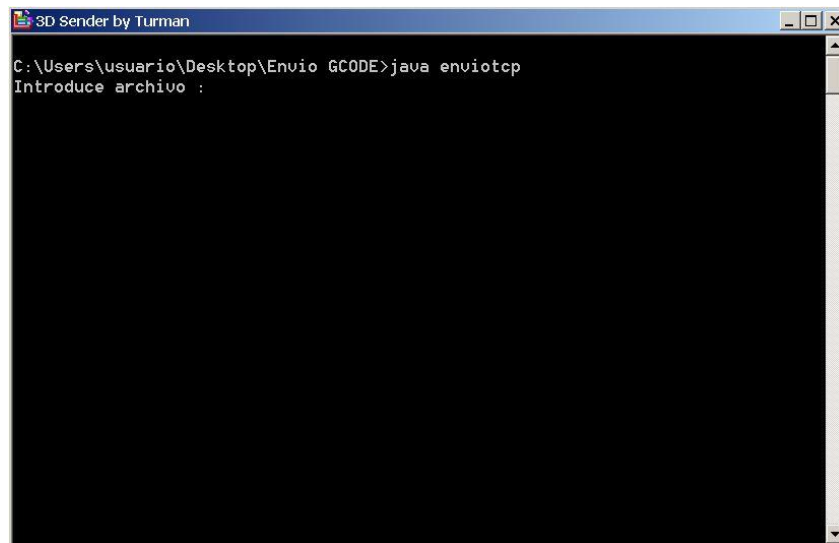


Figura 9.7: 3D sender by Turman. Un programa creado por Pedro Aguilar para enviar los archivos de manera remota a la impresora.

Basta con arrastrar el archivo `.gcode` que contiene los parámetros de impresión dentro de la ventana y pulsar ENTER. Tras esto aparecerá un mensaje diciendo “Envío sin impresión en juego” a lo que volvemos a dar ENTER. Una vez realizado estos pasos el `.gcode` aparecerá en la lista de archivos de la tarjeta de memoria SD.

9.2.5. SD (LANZAR IMPRESIÓN).

También se puede acceder con el comando “192.168.1/sd” desde la dirección de búsqueda del navegador. Pulsando en esta opción se despliega un menú con todos los códigos contenidos en la tarjeta de memoria SD de la placa base. Obviando la opción “/System volumen information”, pulsar en el código de la pieza que se desee imprimir comenzaría el proceso de impresión.

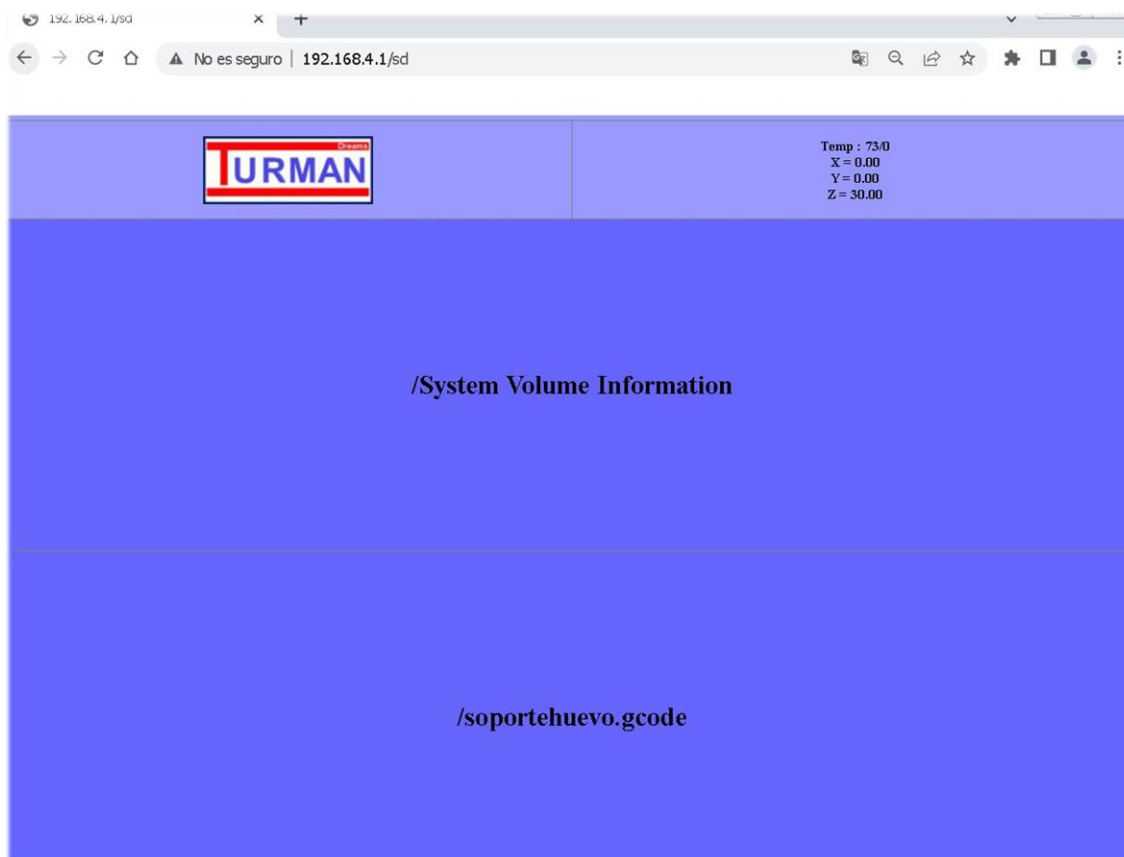


Figura 9.8: Manú de SD desde donde se lanzan las impresiones

Una vez lanzada la impresión, aparecerá un menú detallando el proceso. En él se puede pausar o detener por completo la impresión utilizando “PAUSE” o “STOP” respectivamente.

Durante la impresión pueden cambiarse además otros parámetros (pulsar guardar tras cambiarlos):

- PRINT SPEED: Su valor es orientativo y fluctúa entre 10 y 200, aumentando su velocidad cuanto mayor valor se especifique.
- FAN HOTEND: Este parámetro activa los ventiladores de capa, necesarios para imprimir materiales como PLA enfriando rápidamente las capas de material. Su valor es orientativo y va de 0 a 255 y en este caso es recomendable darle un valor cualquiera diferente a 0, ya que los ventiladores aún no contienen control de velocidad de giro y utilizan una velocidad constante.
- HOTEND °C: Control de temperatura para el fusor. En este caso el rango de temperaturas se ajusta al del fusor yendo desde 180 °C a 245 °C.

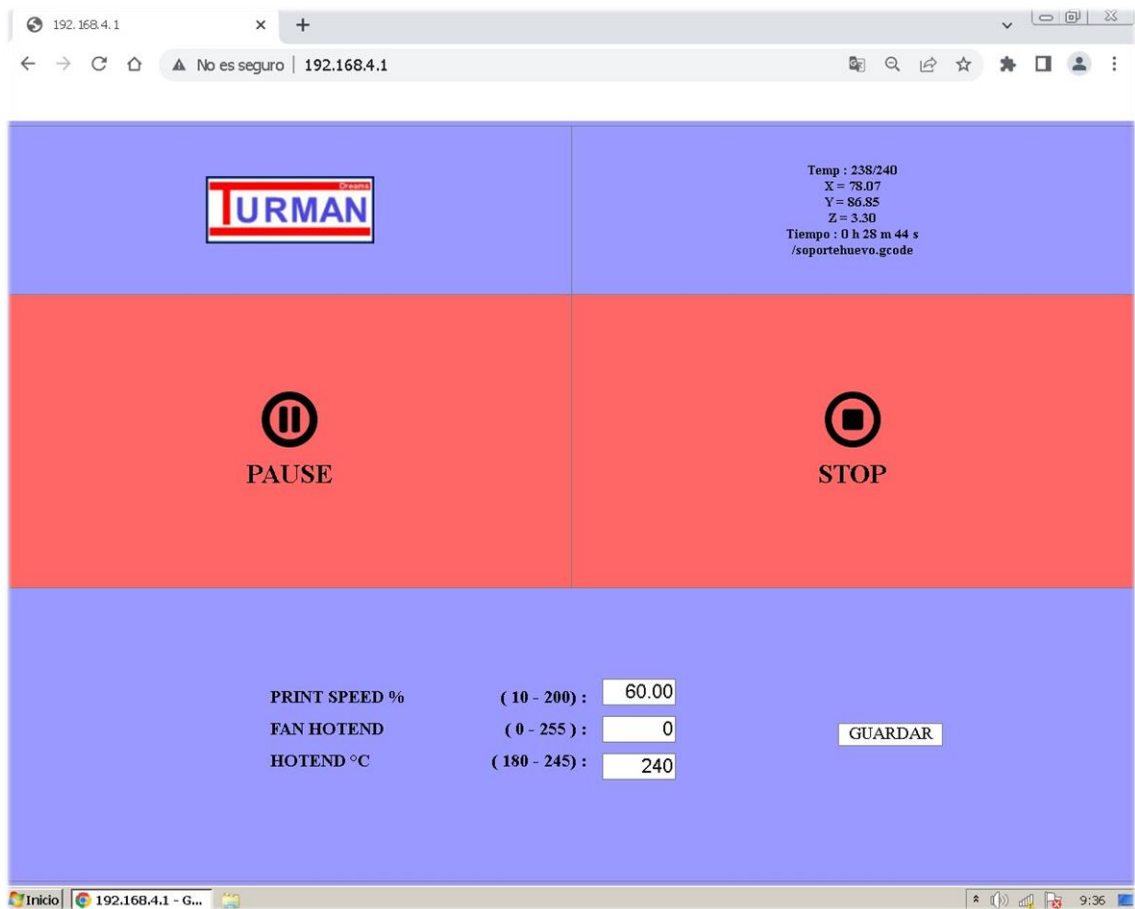


Figura 9.9: Menú de proceso de impresión.

9.2.6. OTROS COMANDOS.

- Registro de acontecimientos, modificaciones y tiempo de impresión durante la fabricación de piezas con "192.168.4.1/log".

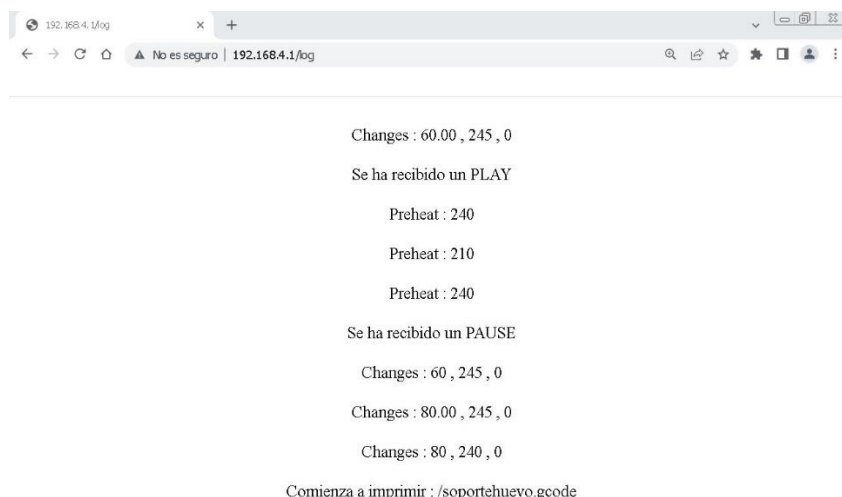


Figura 9.10: Log generado a tiempo real para comprobar últimas acciones.

- La tarjeta de memoria SD se reinicia automáticamente al finalizar cada impresión, pero cuando una pieza no acaba de imprimirse por completo se necesita hacer un reinicio manual con el comando “192.168.4.1/reboot”.
- Cada 100 archivos cargados en la tarjeta de memoria, se necesita un reseteo que se lleva a cabo con el comando “192.168.4.1/delete”.

9.3. CONFIGURACIÓN DEL GCODE.

Existen diferentes softwares con los que se pueden cargar piezas *.stl* con el fin de generar una configuración *gcode* para su impresión. Estas configuraciones dependen mayormente del material a utilizar y del diámetro de la boquilla de inyección.

Para que sirva de ejemplo, se van a mostrar algunas configuraciones realizadas con el software Cura para plásticos PLA, PETG y ABS con una boquilla de 0.8 mm de diámetro para la impresora.

- Ajustes de máquina en Cura: Ajustes provisionales establecidos para la máquina, donde la anchura X (mm) puede aumentar hasta 550 mm. El filamento utilizado es de diámetro 1.75 mm y la boquilla de diámetro 0.8 mm.

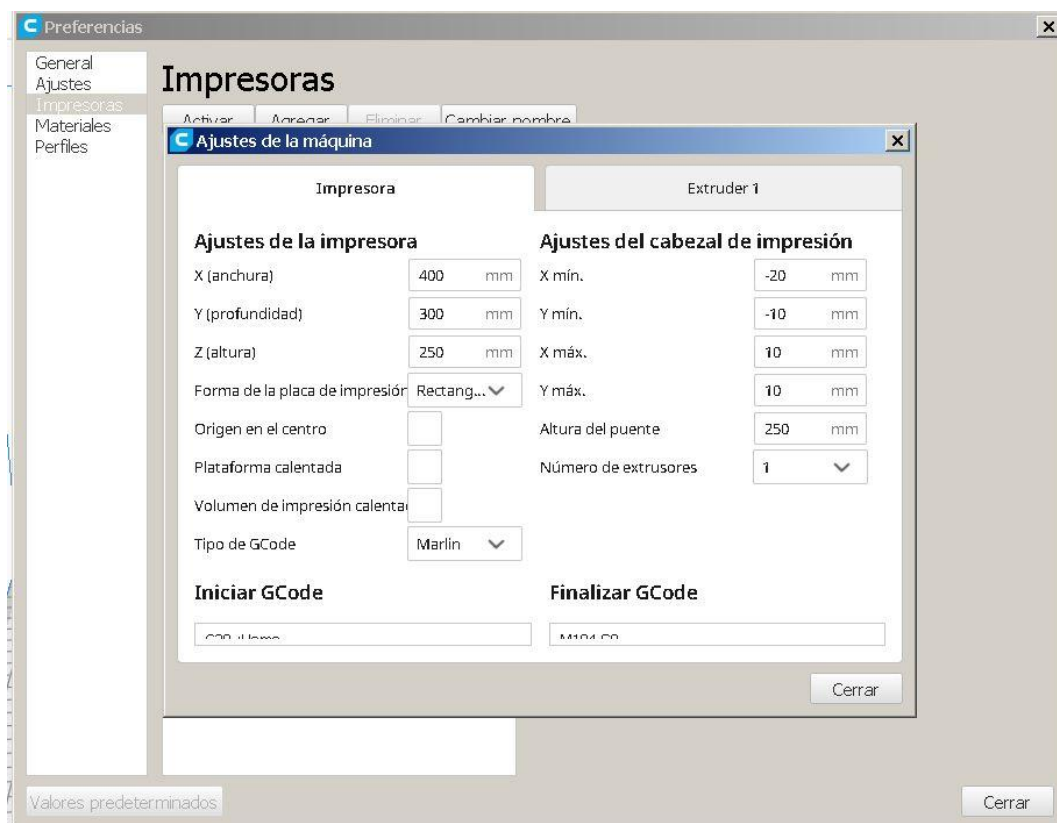


Figura 9.11: Configuración en software CURA para la impresora. La superficie de impresión se cambiaría a la de volumen de trabajo, que puede ser de 590x300x25 (xyz), siempre dentro de los límites.

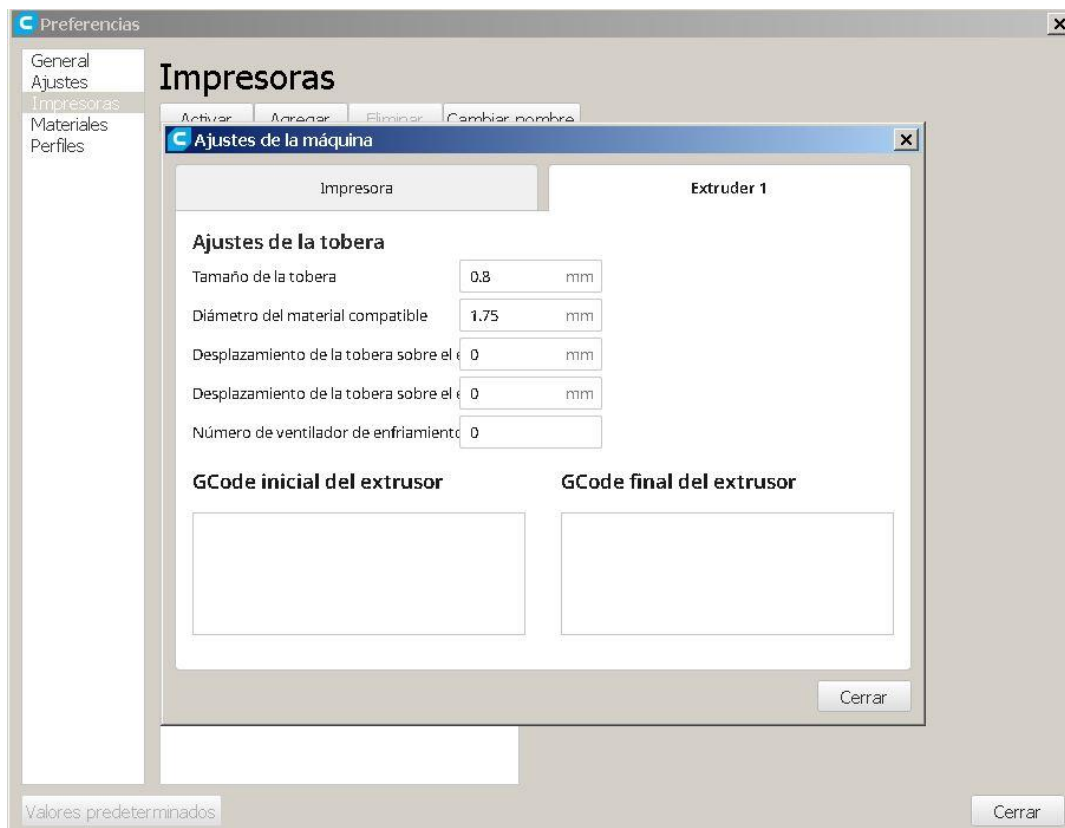


Figura 9.12: Configuración en software CURA para el extrusor de la impresora.

A. PERFIL PARA PLÁSTICO PLA.

Ajustes de impresión

Perfil

COREXY08PLA - Fine - 0.3mm

★ ▼

🔍 Buscar ajustes

☰

☰ Calidad ▼

Altura de capa	🔗 ↺	0.5	mm
Altura de capa inicial	🔗	0.3	mm
Ancho de línea		0.8	mm
Ancho de línea de pared		0.8	mm
Ancho de línea de la pared exterior		0.8	mm
Ancho de línea de pared(es) interna(s)		0.8	mm
Ancho de línea superior/inferior		0.8	mm
Ancho de línea de relleno		0.8	mm
Ancho de línea de falda/borde		0.8	mm
Ancho de línea de la capa inicial		100.0	%

⚙️ Adherencia de la placa de impresión ▼

Tipo adherencia de la placa de impresión	🔗	Falda ▼
Recuento de líneas de falda	🔗	1
Distancia de falda	🔗	3 mm
Longitud mínima de falda/borde		250 mm

Refrigeración

Activar refrigeración de impresión

✓

Velocidad del ventilador

100.0

%

Velocidad normal del ventilador

100.0

%

Velocidad máxima del ventilador

100.0

%

Umbral de velocidad nor.../máxima del ventilador

10

s

Velocidad inicial del ventilador

0

%

Velocidad normal del ventilador a altura

0.3

mm

Velocidad normal del ventilador por capa

2

Tiempo mínimo de capa

5

s

Velocidad mínima

10

mm/s

Levantar el cabezal

Soporte

Generar soporte

Velocidad

Velocidad de impresión

60

mm/s

Velocidad de relleno

60

mm/s

Velocidad de pared

30.0

mm/s

Velocidad de pared exterior

30.0

mm/s

Velocidad de pared interior

60.0

mm/s

Velocidad superior/inferior

30.0

mm/s

Velocidad de desplazamiento

150

mm/s

Velocidad de capa inicial

30.0

mm/s

Velocidad de impresión de la capa inicial

30.0

mm/s

Velocidad de desplazamiento de la capa inicial

75.0

mm/s

Velocidad de falda/borde

30.0

mm/s

Número de capas más lentas

2

Igualar flujo de filamentos

Activar control de aceleración

Activar control de impulso

Material		
Temperatura de impresión	210	°C
Temperatura de impresión de la capa inicial	210	°C
Temperatura de impresión inicial	200	°C
Temperatura de impresión final	195	°C
Flujo	100	%
Flujo de pared	100	%
Flujo de pared exterior	100	%
Flujo de pared o paredes interiores	100	%
Flujo superior o inferior	100	%
Flujo de relleno	100	%
Flujo de falda/borde	100	%
Flujo de la torre auxiliar	100	%
Flujo de capa inicial	100	%
Habilitar la retracción	☐	
Retracción en el cambio de capa	☐	
Anchura de retirada del forro	1.6	mm
Anchura de retirada del forro superior	1.6	mm
Anchura de retirada del forro inferior	1.6	mm
Distancia de expansión del forro	1.6	mm
Distancia de expansión del forro superior	1.6	mm
Distancia de expansión del forro inferior	1.6	mm
Ángulo máximo de expansión del forro	90	°
Anchura de expansión mínima del forro	0.0	mm

Relleno	
Densidad de relleno	30 %
Distancia de línea de relleno	5.3333 mm
Patrón de relleno	Rejilla
Conectar líneas de relleno	☐
Direcciones de línea de relleno	[]
Desplazamiento del relleno sobre el eje X	0 mm
Desplazamiento del relleno sobre el eje Y	0 mm
Comienzo de relleno aleatorio	☐
Multiplicador de línea de relleno	1
Recuento de líneas de pared adicional	0
Porcentaje de superposición del relleno	10 %
Superposición del relleno	0.08 mm
Distancia de pasada de relleno	0.2 mm
Grosor de la capa de relleno	0.5 mm
Pasos de relleno necesarios	0
Relleno antes que las paredes	☒
Área de relleno mínima	0 mm ²
Compensar superposiciones de pared	☒
Compensar superposiciones de pared exterior	☒
Compensar superposiciones de pared interior	☒
Flujo de pared mínimo	0 %
Rellenar espacios entre paredes	En todas partes
Filtrar pequeños huecos	☒
Imprimir paredes finas	☐
Expansión horizontal	0 mm
Expansión horizontal de la capa inicial	0 mm
Alineación de costuras en Z	Esquina más pronu...
Preferencia de esquina de costura	Ocultar costura
Sin forro en huecos en Z	☐
Recuento de paredes adicionales de forro	1
Habilitar alisado	☐
Porcentaje de superposición del forro	5 %
Superposición del forro	0.04 mm

Perímetro	
Grosor de la pared	0.8 mm
Recuento de líneas de pared	2
Distancia de pasada de la pared exterior	0.4 mm
Capas de la superficie superior del forro	0
Grosor superior/inferior	0.8 mm
Grosor superior	0.8 mm
Capas superiores	2
Grosor inferior	0.8 mm
Capas inferiores	2
Capas inferiores iniciales	2
Patrón superior/inferior	Líneas
Patrón inferior de la capa inicial	Líneas
Direcciones de línea superior/inferior	[]
Entrante en la pared exterior	0 mm
Optimizar el orden de impresión de paredes	☐
Paredes exteriores antes que interiores	☐
Alternar pared adicional	☐

Correcciones de malla	
Volúmenes de superposiciones de uniones	☒
Eliminar todos los agujeros	☐
Cosido amplio	☐
Mantener caras desconectadas	☐
Superponer mallas combinadas	0.15 mm
Eliminar el cruce de mallas	☐
Eliminar primeras capas vacías	☒
Resolución máxima	0.5 mm
Resolución de desplazamiento máximo	1.25 mm
Desviación máxima	0.05 mm

Figura 9.13: Configuración global para imprimir en Plástico PLA en software CURA con la impresora

B. PERFIL PARA PLÁSTICO PETG.

Material		
Temperatura de impresión	235	°C
Temperatura de impresión de la capa inicial	235	°C
Temperatura de impresión inicial	235	°C
Temperatura de impresión final	235	°C
Flujo	100	%
Flujo de pared	100	%
Flujo de pared exterior	100	%
Flujo de pared o paredes interiores	100	%
Flujo superior o inferior	100	%
Flujo de relleno	100	%
Flujo de falda/borde	100	%
Flujo de la torre auxiliar	100	%
Flujo de capa inicial	100	%
Habilitar la retracción	☐	
Retracción en el cambio de capa	☐	

Velocidad		
Velocidad de impresión	50	mm/s
Velocidad de relleno	50	mm/s
Velocidad de pared	25.0	mm/s
Velocidad de pared exterior	25.0	mm/s
Velocidad de pared interior	50.0	mm/s
Velocidad superior/inferior	25.0	mm/s
Velocidad de desplazamiento	150	mm/s
Velocidad de capa inicial	25.0	mm/s
Velocidad de impresión de la capa inicial	25.0	mm/s
Velocidad de desplazamiento de la capa inicial	75.0	mm/s
Velocidad de falda/borde	25.0	mm/s
Número de capas más lentas	2	
Igualar flujo de filamentos	☐	
Activar control de aceleración	☐	
Activar control de impulso	☐	

Figura 9.14: Configuración global para imprimir en Plástico PETG con en software CURA en la impresora

C. PERFIL PARA PLÁSTICO ABS (ACTIVAR SILICONAS CALEFACTORAS).

Velocidad		
Velocidad de impresión	40	mm/s
Velocidad de relleno	40	mm/s
Velocidad de pared	20.0	mm/s
Velocidad de pared exterior	20.0	mm/s
Velocidad de pared interior	40.0	mm/s
Velocidad superior/inferior	20.0	mm/s
Velocidad de desplazamiento	150	mm/s
Velocidad de capa inicial	20.0	mm/s
Velocidad de impresión de la capa inicial	20.0	mm/s
Velocidad de desplazamiento de la capa inicial	75.0	mm/s
Velocidad de falda/borde	20.0	mm/s
Número de capas más lentas	2	
Igualar flujo de filamentos	☐	
Activar control de aceleración	☐	
Activar control de impulso	☐	

Material		
Temperatura de impresión	240	°C
Temperatura de impresión de la capa inicial	240	°C
Temperatura de impresión inicial	240	°C
Temperatura de impresión final	240	°C
Flujo	100	%
Flujo de pared	100	%
Flujo de pared exterior	100	%
Flujo de pared o paredes interiores	100	%
Flujo superior o inferior	100	%
Flujo de relleno	100	%
Flujo de falda/borde	100	%
Flujo de la torre auxiliar	100	%
Flujo de capa inicial	100	%
Habilitar la retracción	☐	
Retracción en el cambio de capa	☐	

Perímetro		
Grosor de la pared		0.8 mm
Recuento de líneas de pared	1	
Distancia de pasada de la pared exterior		0.4 mm
Capas de la superficie superior del forro		0
Grosor superior/inferior		0.8 mm
Grosor superior		0.8 mm
Capas superiores	2	
Grosor inferior		0.8 mm
Capas inferiores	2	
Capas inferiores iniciales		2
Patrón superior/inferior		Líneas
Patrón inferior de la capa inicial		Líneas
Direcciones de línea superior/inferior		[]
Entrante en la pared exterior		0 mm
Optimizar el orden de impresión de paredes		
Paredes exteriores antes que interiores		
Alternar pared adicional		

Refrigeración		
Activar refrigeración de impresión		
Umbral de velocidad normal/máxima del ventilador	10	s
Velocidad normal del ventilador a altura	0.3	mm
Velocidad normal del ventilador por capa	2	
Tiempo mínimo de capa	5	s
Velocidad mínima	10	mm/s
Levantar el cabezal		

Soporte		
Generar soporte		

Adherencia de la placa de impresión		
Tipo adherencia de la placa de impresión	Borde	
Longitud mínima de falda/borde	250	mm
Ancho del borde	10	mm
Recuento de líneas de borde	13	
Borde solo en el exterior	✓	

Figura 9.15: Configuración global para imprimir en Plástico ABS en software CURA con la impresora. Hay que tener en cuenta que solo podrá imprimirse en ABS si se tienen las condiciones de calor ambiente necesarias o las siliconas calefactoras activas

D. CONFIGURACIÓN TIPO VASO (IMPRESIÓN PERIFÉRICA).

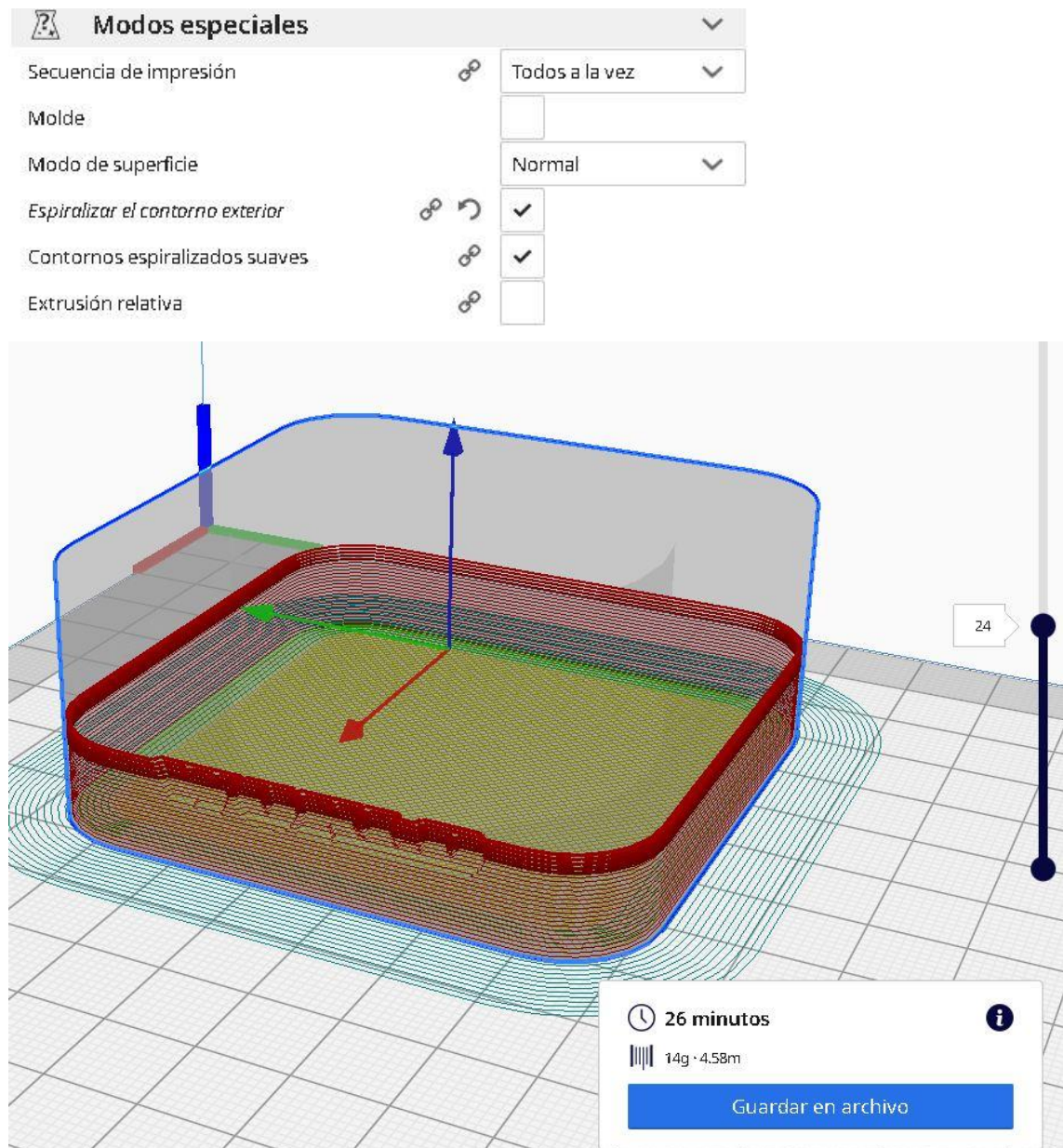


Figura 9.16: Configuración para imprimir en modo vaso en software CURA, la figura muestra cómo activarla si se necesita este tipo de impresión.

Se carga el archivo que proceda y se posiciona con las herramientas de la barra izquierda, se analiza el modelo y se está conforme, se genera el *gcode* y se guarda para su envío (Figura 9.16)

E. MENÚ DE POSICIONAMIENTO DE PIEZAS (FIG. 9.17).

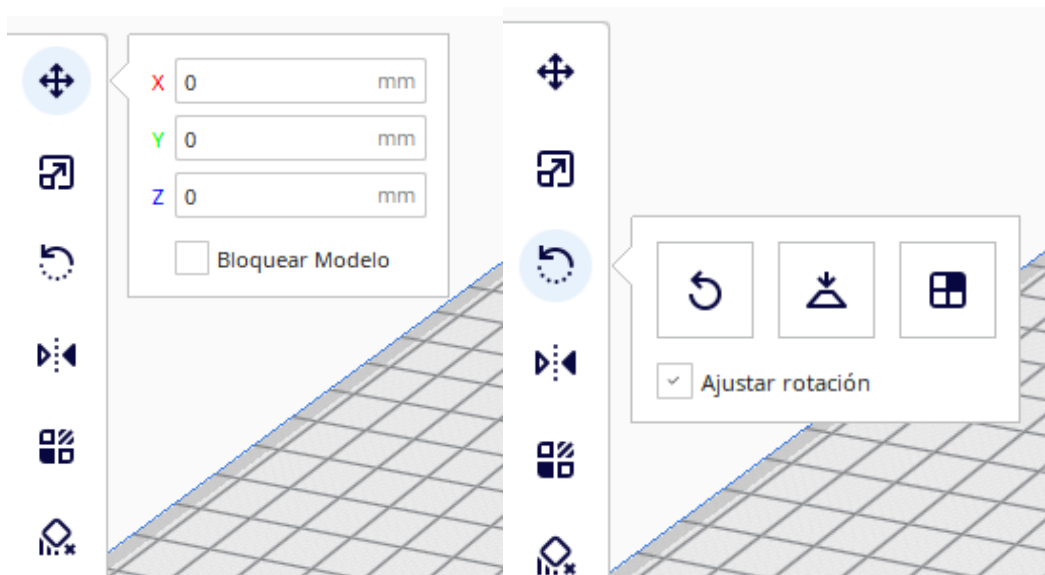


Figura 9.17: Barra de herramientas para posicionar piezas y modificar escala de piezas.

F. GENERACIÓN DEL GCODE.

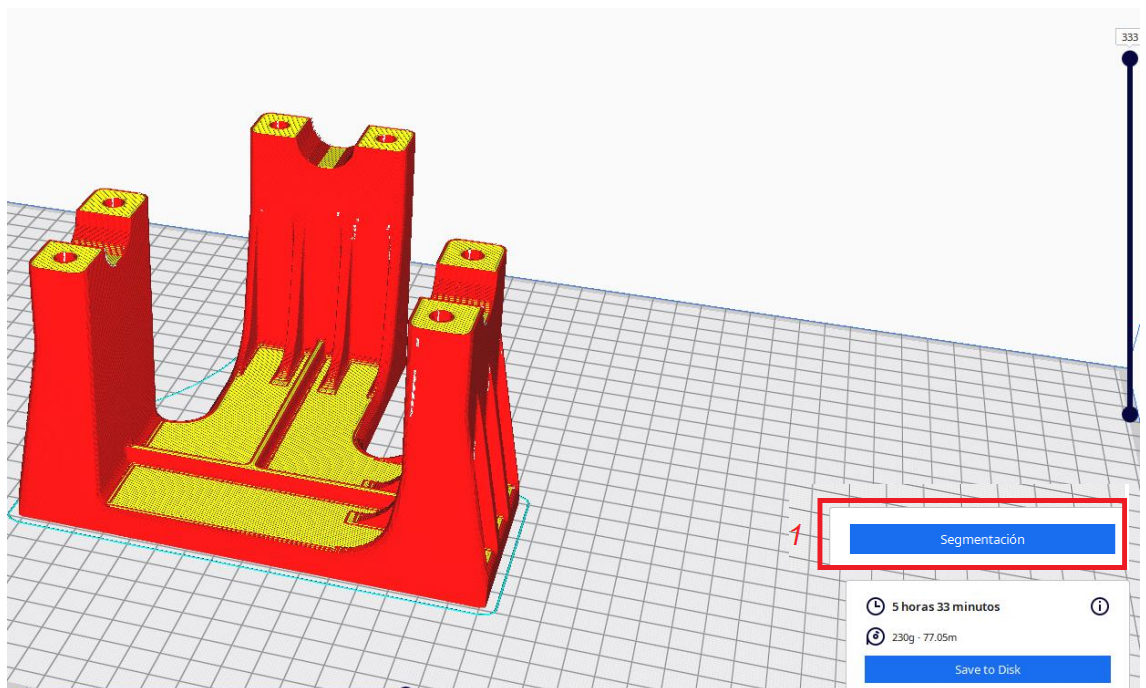


Figura 9.18: Segmentación y guardado del gcode (save to disk).

En la Figura 9.18 se puede ver que la segmentación hace la división de capas. Se genera el archivo y se envía a la impresora.

9.4. GUÍA DE USO RÁPIDA.

En este punto se explica cómo utilizar la impresora 3D con la configuración ya explicada anteriormente. Hay que tener en cuenta que los *gcode* ya vendrían configurados según el tipo de impresión de manera externa desde un software de PC.

- 1) Configuración y generación del *gcode* desde un software externo en el PC (9.3).
- 2) Encendido de la impresora y puesta en marcha del equipo externo de control (PC).
- 3) Conexión remota a la impresora desde PC. (9.1.1)
- 4) Envío de piezas a tarjeta SD; Envío del *gcode* con “3D Sender by Turman” (9.2.4).
- 5) Rociado de laca en el cristal de la cama para aumentar adherencia de la primera capa. Comprobar lubricación en guías y aplicar lubricante en caso de su ausencia.
- 6) Utilizar el comando principal “MOVE” para posicionar cama de impresión (Z) y posicionar fusor (X e Y). El fusor se puede posicionar también manualmente desde la máquina con mayor facilidad (9.2.2).
- 7) Establecer el comando principal “SETHOME” para un nuevo origen (9.2).
- 8) Utilizar comando de configuración de parámetros “192.168.4.1/config” si se quiere cambiar la velocidad de impresión o la temperatura de la boquilla (9.2.3).
- 9) Utilizar el comando principal “PREHEAT” a la temperatura que requiera el plástico utilizado y esperar a que el indicador marque la temperatura escogida (9.2.1).
- 10) Utilizar el comando principal “SD” pulsando en el *gcode* de la pieza a fabricar. Esto pondrá en marcha la impresión de la pieza con los parámetros de configuración ya preestablecidos (9.2.5).
- 11) Durante la impresión se puede cambiar la temperatura del fusor, la velocidad de impresión y activar el ventilador de capa. Si existiera algún error en el proceso, puede pausarse (bloquea los motores) o parar el proceso por completo. En este último caso es necesario un reinicio manual de la tarjeta SD con el comando “192.168.4.1/reboot” para imprimir la siguiente pieza.
- 12) Cuando la impresión se ha finalizado el fusor vuelve al origen XY (0,0). Se extrae la pieza tras unos minutos de enfriamiento y se utiliza el comando “MOVE HOME” que se puede encontrar en el comando principal “MOVE” (9.2.2).

ROLLO DE FILAMENTO CASI ACABADO:

Si la máquina se quedara sin filamento y se quiere cambiar:

- Antes de imprimir: Primero se calienta el fusor con el comando *Preheat* 9.2.1 a la temperatura de deposición del material y posteriormente con precaución, mientras con una mano se pulsa el extrusor para que deje de aprisionar el

filamento, con la otra se saca el filamento desde la parte superior. Se introduce el nuevo con el mismo proceso inverso y se empuja hasta que por la boquilla salga el filamento fundido. Se limpia la boquilla del material saliente y listo.

- Durante una impresión: Primero se debe parar la impresión en la pantalla principal del proceso con “PAUSE”. Con precaución de no quemarse con el inyector, pulsar con una mano la palanca del extrusor que comprime el filamento dejándolo libre y con la otra sacarlo. Se introduce el nuevo con el mismo proceso inverso y se empuja hasta que por la boquilla salga el filamento fundido. Se limpia la boquilla del material saliente y listo.

CUIDADO:

Para imprimir en material plástico ABS con temperatura ambiente menor a 25 °C se requiere de la activación de las siliconas calefactoras. Éstas están implementadas en la máquina, pero todavía falta implementarlas en el software. Tras ello, solo habría que activarlas antes de lanzar la impresión.

9.5. EJEMPLO DE USO DOCENTE.

Con la guía anteriormente descrita se propone la utilización de la impresora 3D FDM CORE XY para la creación de un ejemplo docente que ayude a comprender mejor la explicación de los sistemas diferenciales de la asignatura de Ingeniería de vehículos, perteneciente a la mención de Diseño Mecánico.

Para ello se ha escogido un modelo por *Thing- O- Fun*, llamado *Functional Differential Gear System*, que puede ser encontrado en la página web de uso gratuito *Thingiverse*. [25]

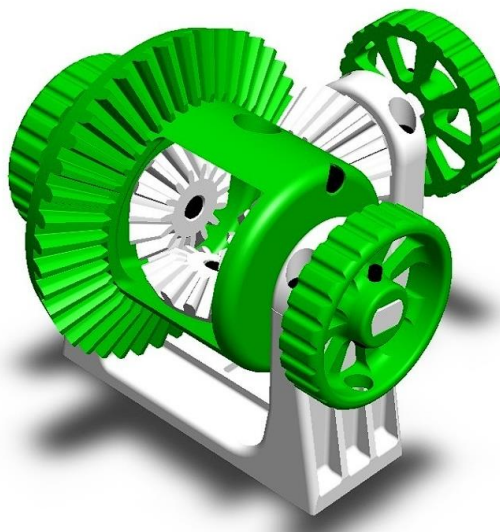


Figura 9.19: Modelo de diferencial simple. [25]

Primero, se genera el *gcode*, que se muestra en el *Apartado A* de este punto. Posteriormente se utiliza la guía de uso rápida del *Capítulo 9.4*. enviando los conjuntos de piezas a imprimir y finalmente acondicionarlos para el montaje, que se puede consultar en la *Figura 9.20* y *Figura 9.21*.

ITEM NO.	Part Name	QTY.
1	Casing	1
2	Side Gear	2
3	Spider	1
4	Side	1
5	Stand	1
6	Input Pinion	1
7	Top	3
8	M3 x 16	14
9	Handle	3
10	Shaft	3
11	Spider Shaft	1
12	M3 x 12	1

Figura 9.20: Lista de componentes del diferencial. [25]

Para este caso se ha mantenido la boquilla de 0.8 mm de diámetro y 0.3 mm de altura de capa, como se verá más adelante. Teniendo en cuenta una escala del 200% aplicada al modelo (para sacarlo en mayor tamaño). Con lo cual la tornillería descrita para el despiece que se muestra a continuación correspondería a métrica 6 mm, longitud 30 mm y 25 mm.

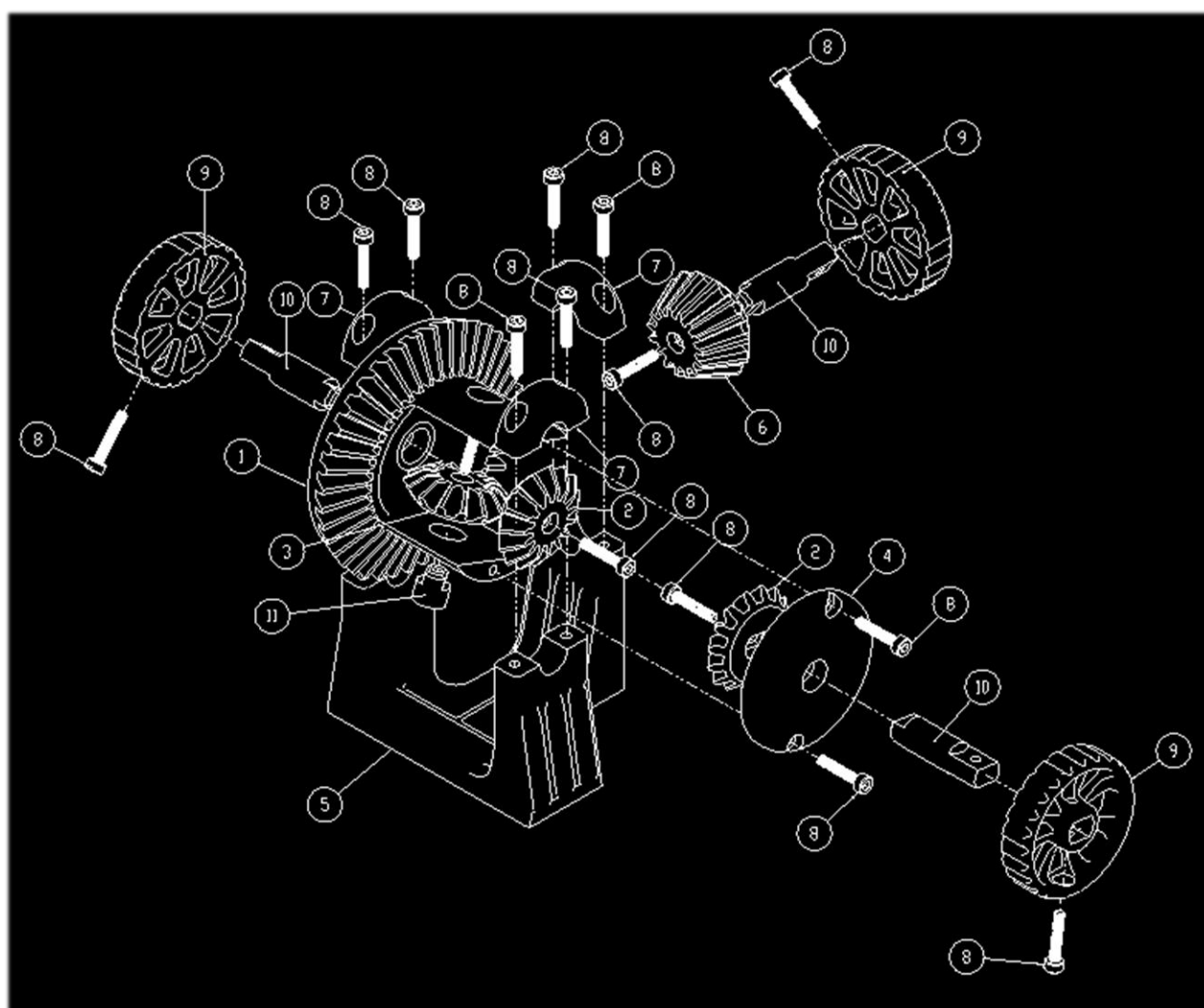


Figura 9.20: Despiece del mecanismo diferencial. [25]

En este punto se siguen los pasos descritos en la guía de uso rápida con el perfil de plástico que se quiera, en este caso se seleccionará PLA. Se cargan los archivos .stl y se procede al posicionamiento de piezas y su sobredimensión con un 200% de escala con la barra izquierda descrita al final del *Capítulo 9.3 E*. Para la impresión se usa la boquilla de 0.8 mm de diámetro con altura de capa 0.3 mm y relleno de mallado a un 40% de densidad, con dos capas completas de impresión superior e inferior.

Teniendo en cuenta la superficie de impresión de la cama se puede aprovechar el espacio para imprimir varias de estas piezas en una sola impresión, que en este caso se dividen varios conjuntos por colores, pero se podrían imprimir en cualquier color.

A. CONJUNTOS.

Si se divide por conjuntos para tardar menos y tener diferentes colores en las piezas de PLA:

- **CONJUNTO AZUL (Figura 9.21).**
 - SIDE GEAR (2) SATÉLITE. X2 [25]
 - HANDLE (9) MANGO ROTATIVO. X2 [25]
 - SHAFT (10) EJE DE MANGO ROTATIVO. X2 [25]

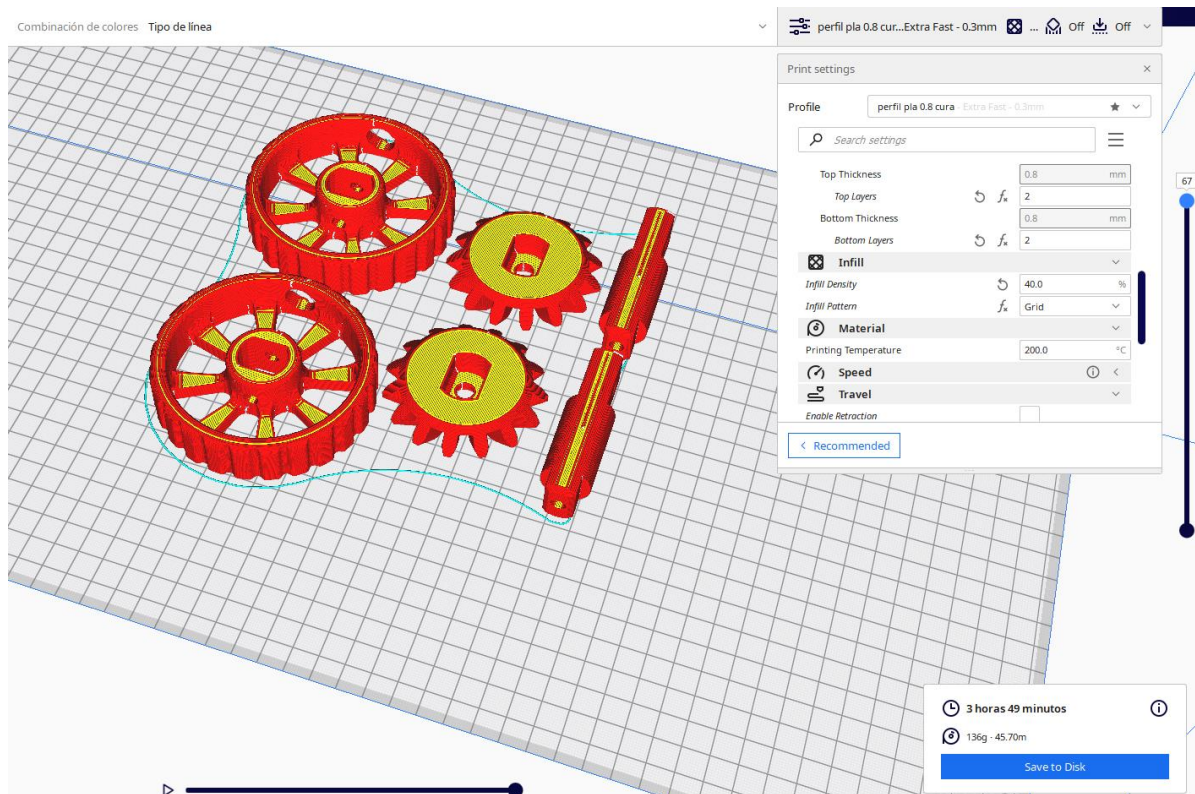


Figura 9.21: Conjunto Azul. Esta vez se ha aumentado la densidad de relleno al 40 %

- **CONJUNTO ROJO (Figura 9.22).**
 - STAND (5) SOPORTE PRINCIPAL. X1 [25]
 - TOP (7) CIERRE DE SOPORTE PRINCIPAL. X3 [25]

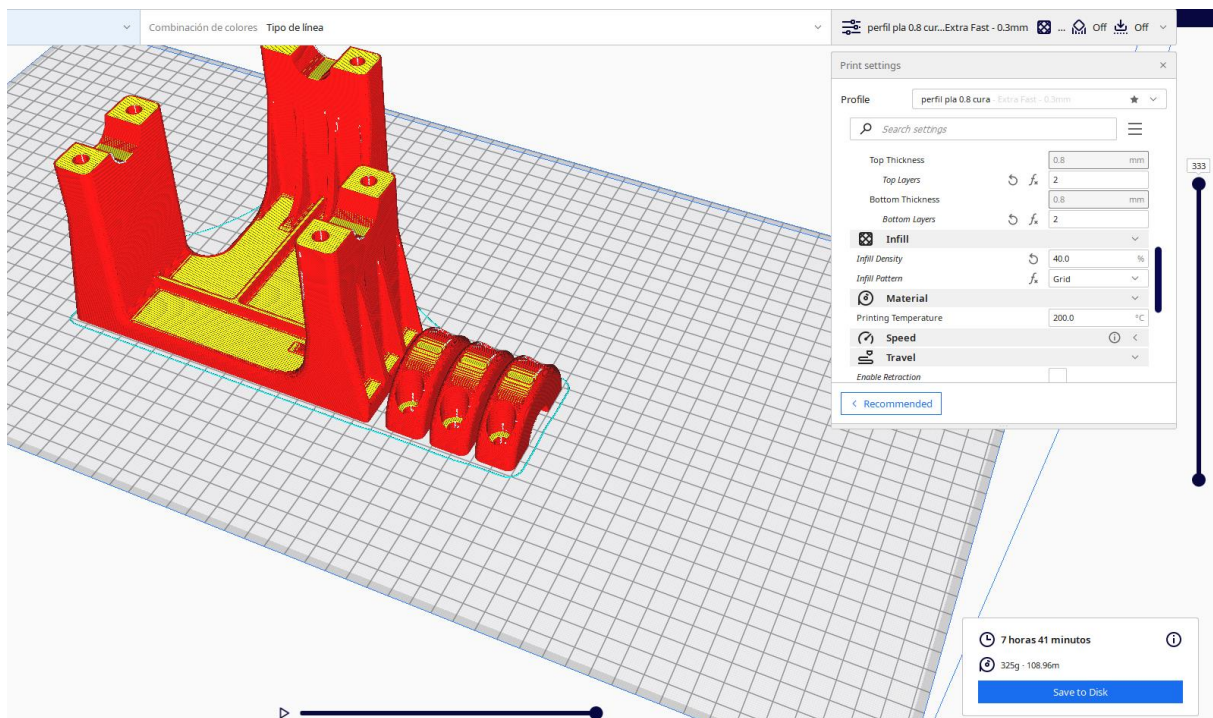


Figura 9.22: Conjunto rojorojo. Esta vez se ha aumentado la densidad de relleno al 40 %

- **CONJUNTO VERDE (Figura 9.23).**
 - HANDLE (9) MANGO ROTATIVO. X1 [25]
 - SHAFT (10) EJE MANGO ROTATIVO. X1 [25]
 - INPUT PINION (6) PIÑÓN. X1 [25]

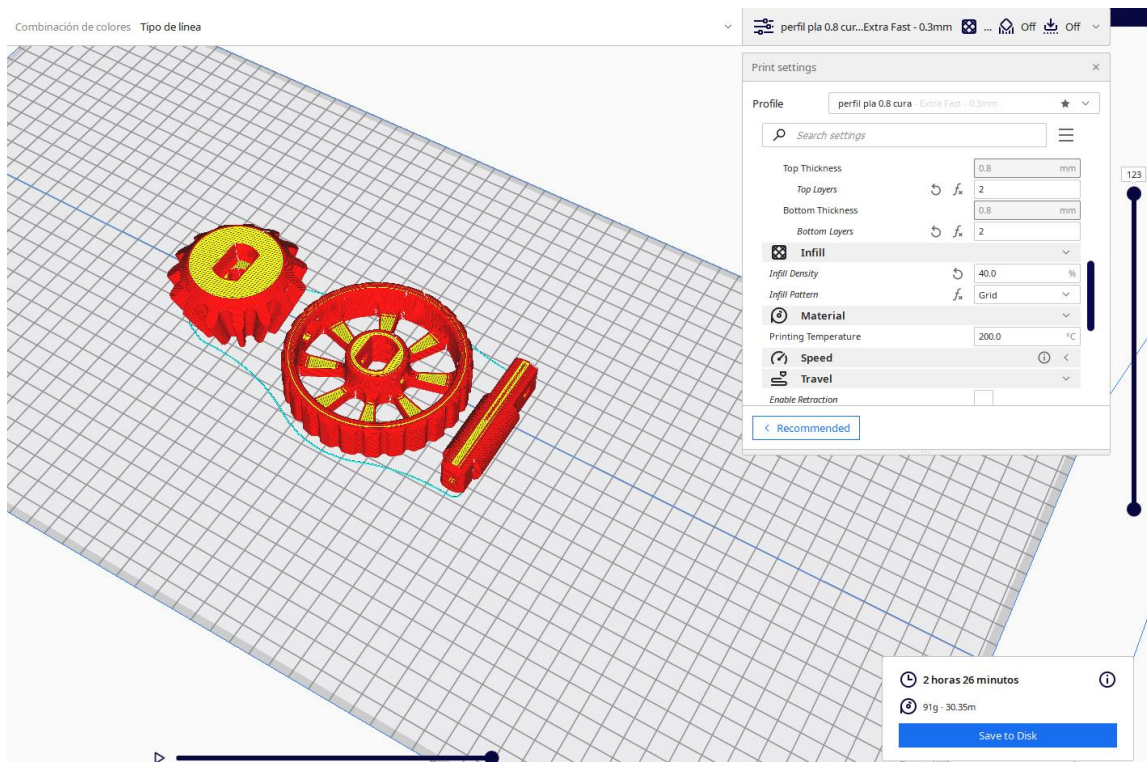


Figura 9.23: Conjunto Verde. Esta vez se ha aumentado la densidad de relleno al 40 %

- **CONJUNTO AMARILLO (Figura 9.24).**

- CASING (1). CORONA. X1 [25]
- SPIDER (3). PALIER. X1 [25]
- SIDE (4) JUNTA DE SATÉLITE. X1 [25]
- SPIDER SHAFT (11) TUERCA DE UNIÓN SATÉLITE- PALIER. X1 [25]

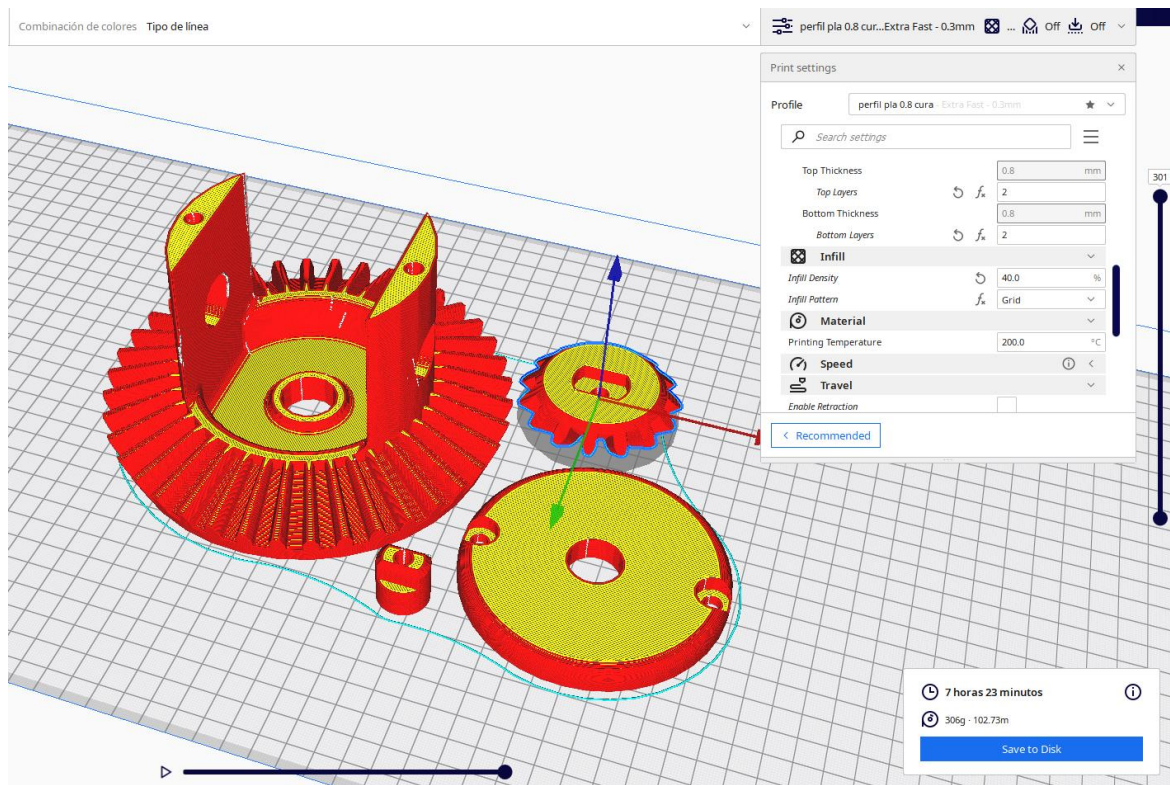


Figura 9.24: Conjunto Amarillo. Esta vez se ha aumentado la densidad de relleno al 40 %

B. TORNILLOS M6 L30 L25. (8) (12) (Figura 9.25).



Figura 9.25: Tornillo Allen con cabezas de casquillo hexagonal. Se necesitan 1 tornillo para ensamblar uno de los satélites (2) en concreto con el palier (1) y cierre con tuerca de unión (11)

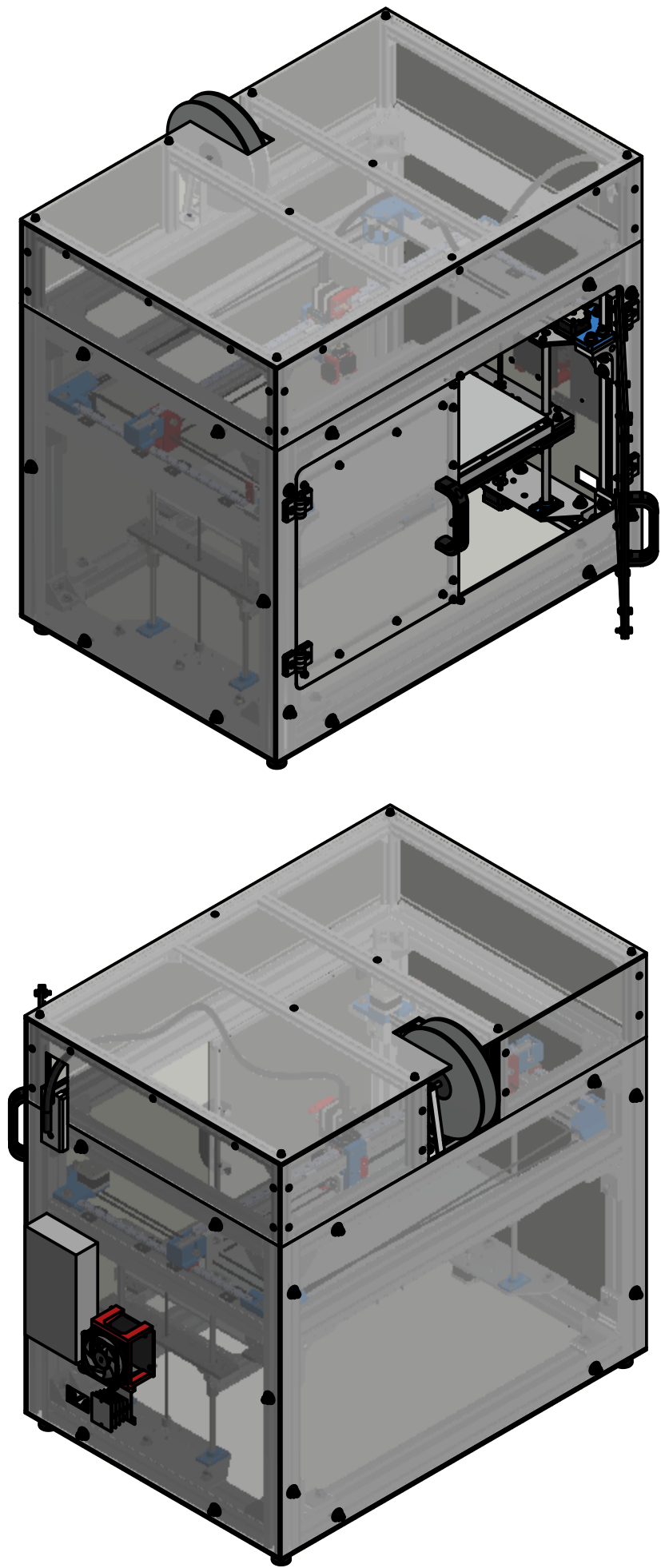
C. MONTAJE (Figura 9.25).

El montaje del conjunto debería resultar similar al de la *Figura 9.26*. [25]



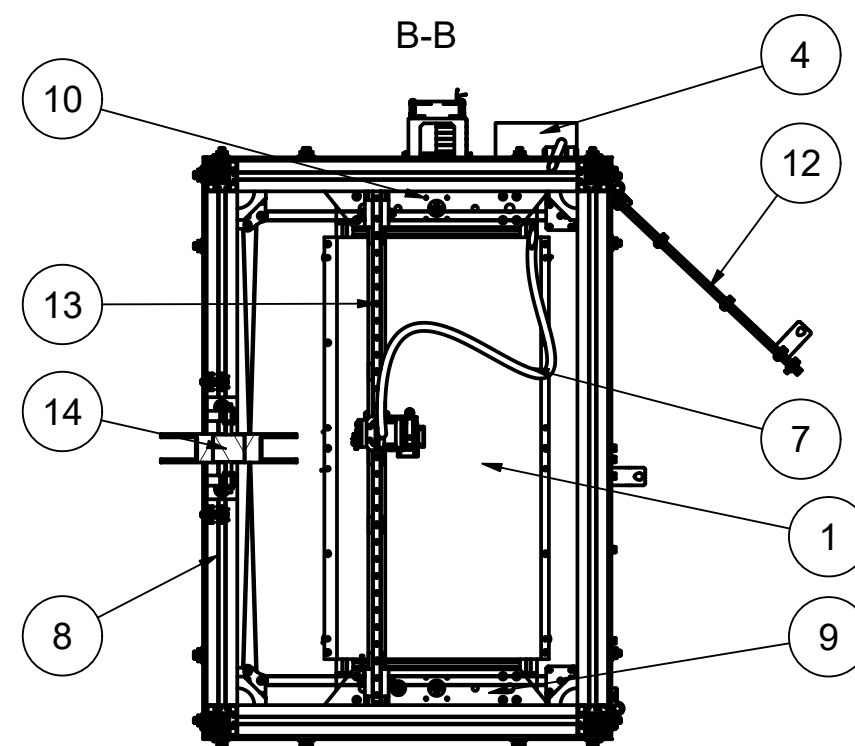
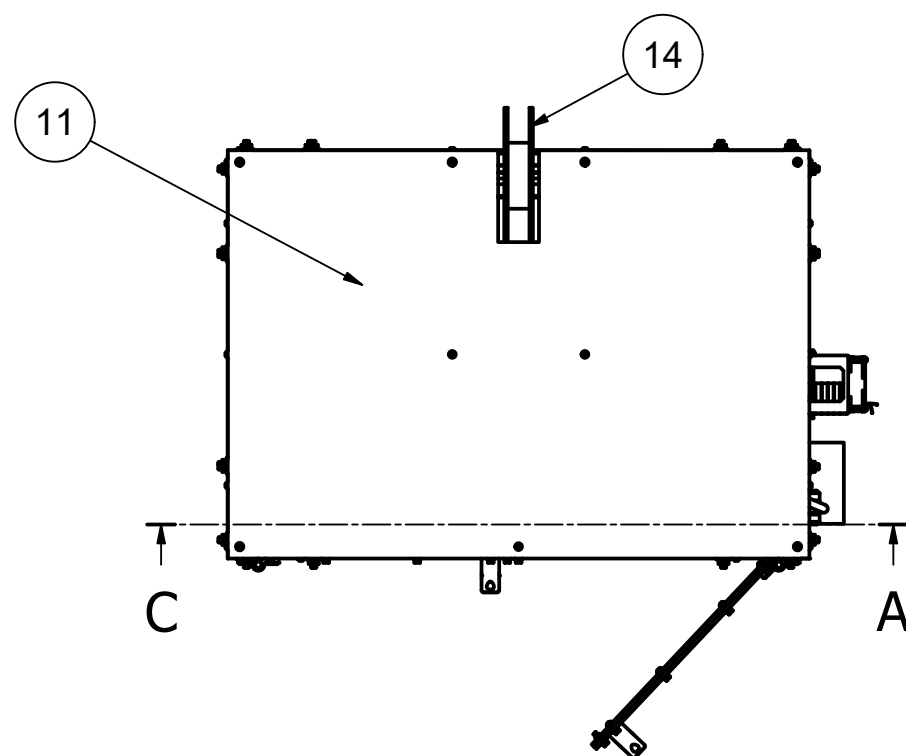
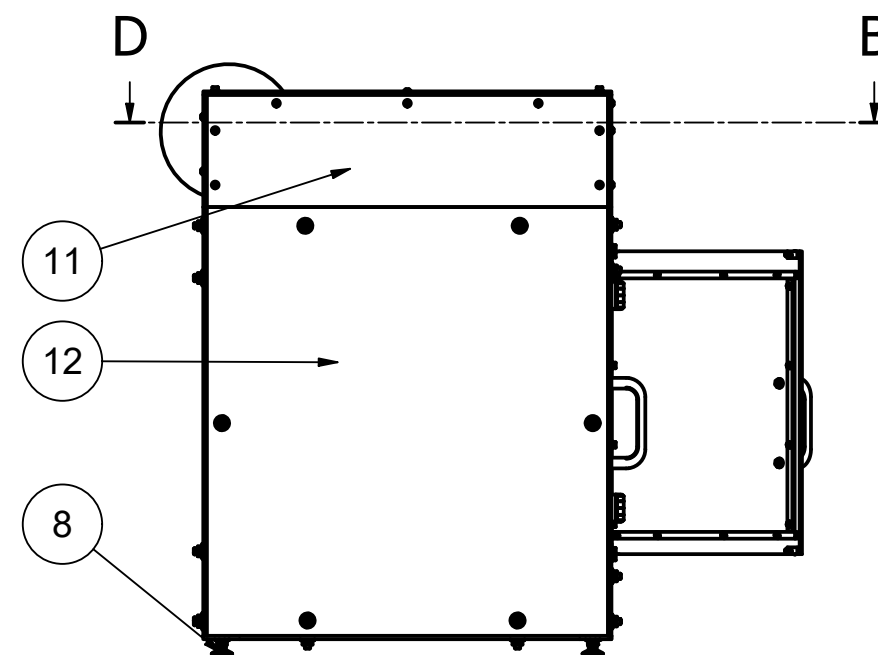
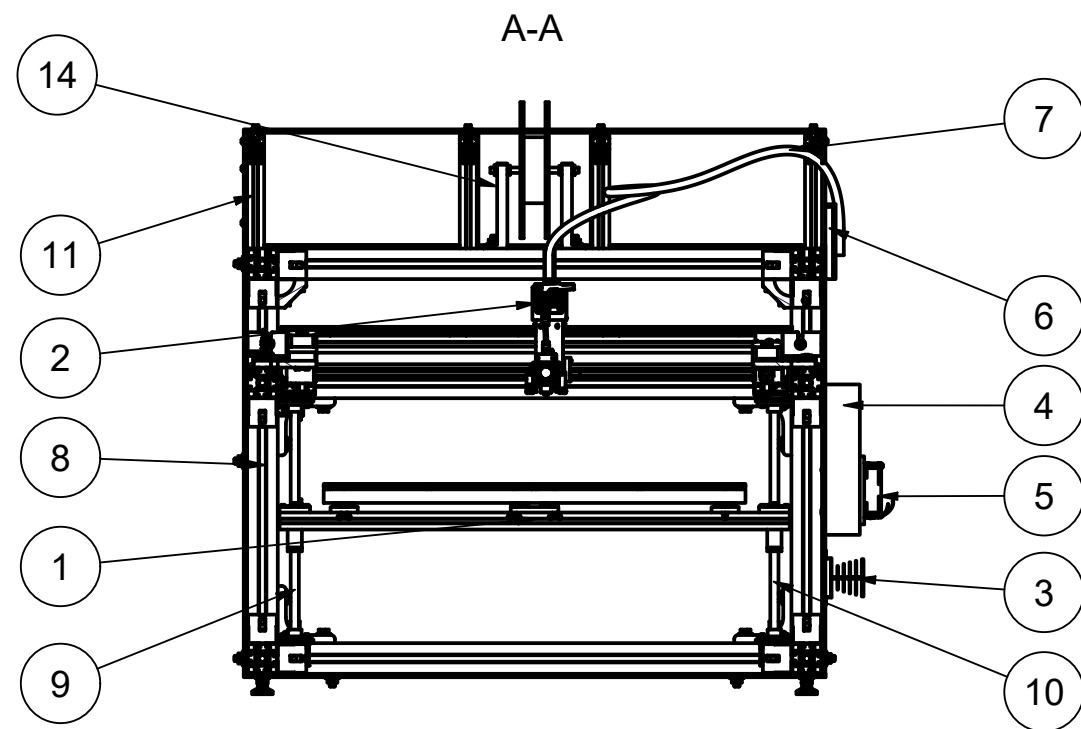
Figura 9.26: Conjunto diferencial impreso. Diseño por Thing-O-Fun, Usuario de Thingiverse. [25]

9.6. PLANOS DE LA IMPRESORA 3D (FDM).



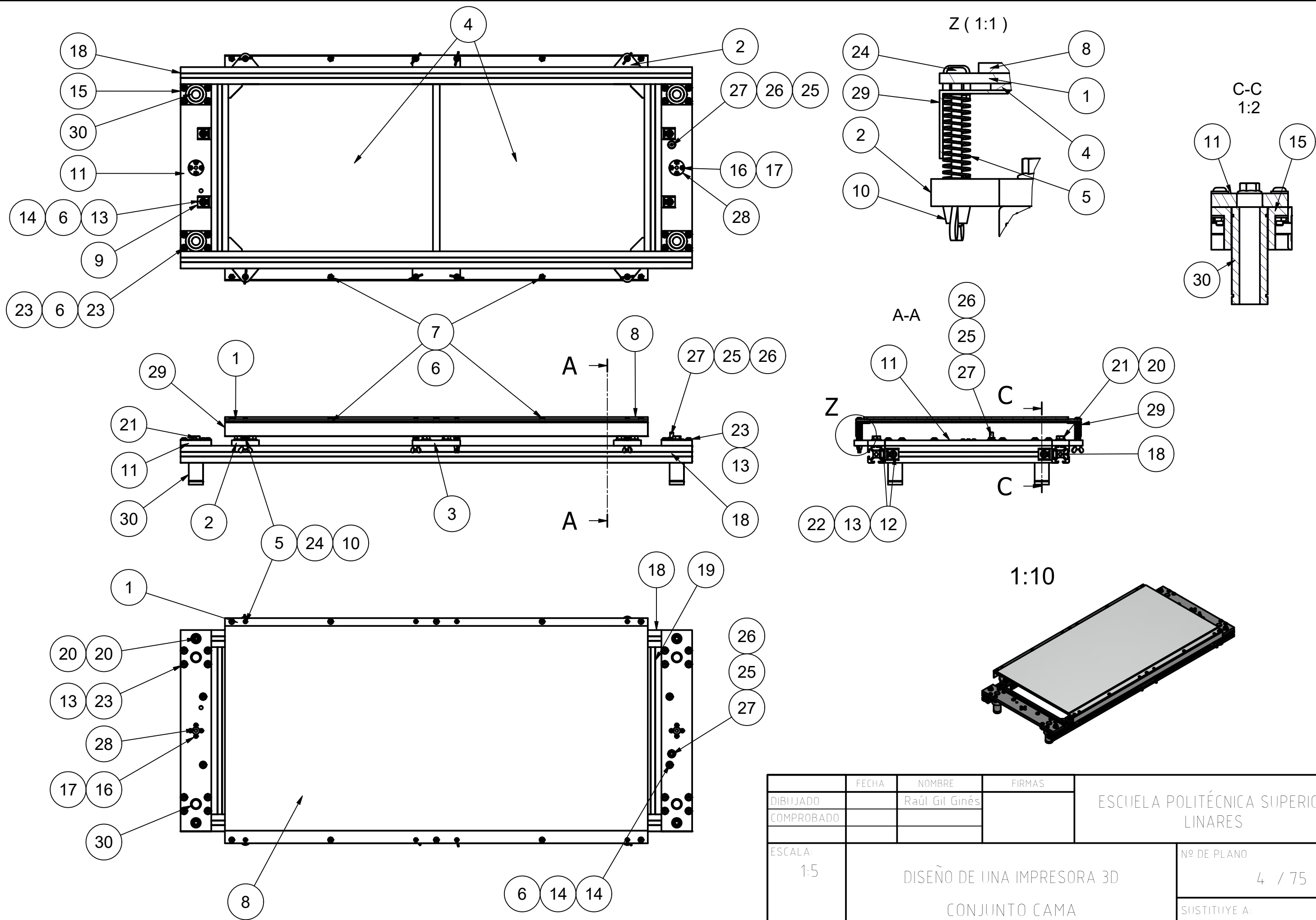
1	1	CONJUNTO CAMA	
2	1	CONJUNTO CARRO EXTRUSOR - FUSOR	
3	1	SOPORTE RELÉ SSR 40 DD	COMERCIAL
4	1	FUENTE DE ALIMENTACIÓN	COMERCIAL
5	1	CONJUNTO PLACA BASE	
6	1	6 SOPORTE TUBO FLEXIBLE DE CABLEADO	
7	1	TUBO FLEXIBLE DE CABLEADO	
8	1	CONJUNTO ESTRUCTURA PRINCIPAL	
9	1	CONJUNTO DE ELEVACIÓN Z LATERAL IZQUIERDO	
10	1	CONJUNTO ELEVACIÓN Z LATERAL DERECHO	
11	1	CONJUNTO AISLAMIENTO TAPA	
12	1	CONJUNTO AISLAMIENTO PRINCIPAL	
13	1	CONJUNTO SISTEMA CORE XY	
14	1	CONJUNTO SOPORTE ROLLO DE FILAMENTO	

Marca	Ctd.	Designación	Descripción
Lista de piezas			
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés	
COMPROBADO			
ESCALA: 1:10	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D IMPRESORA 3D FDM		Nº DE PLANO 1 / 75
			SUSTITUYE A:
			SUSTITUIDO POR:

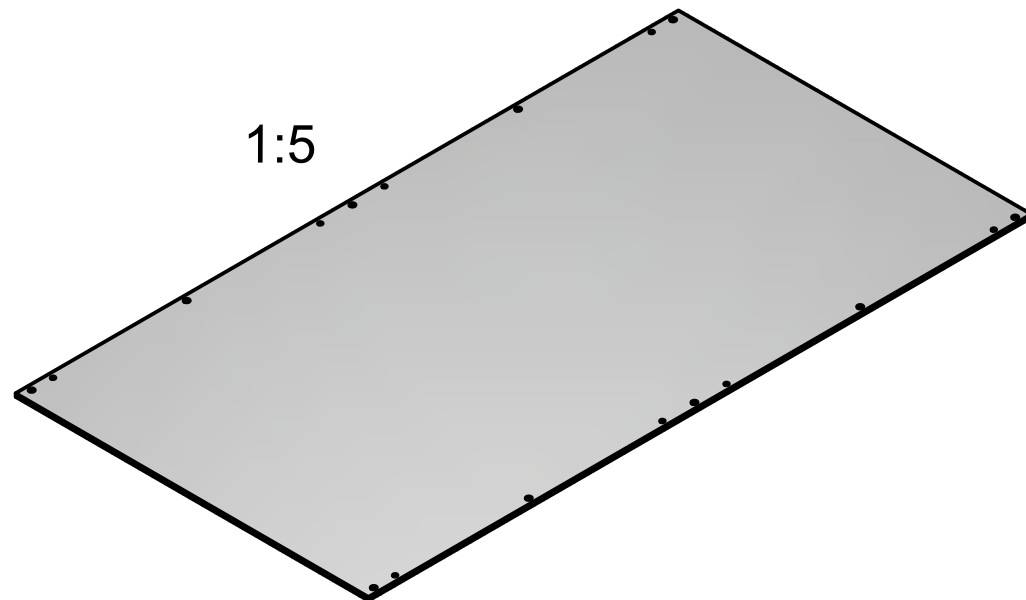
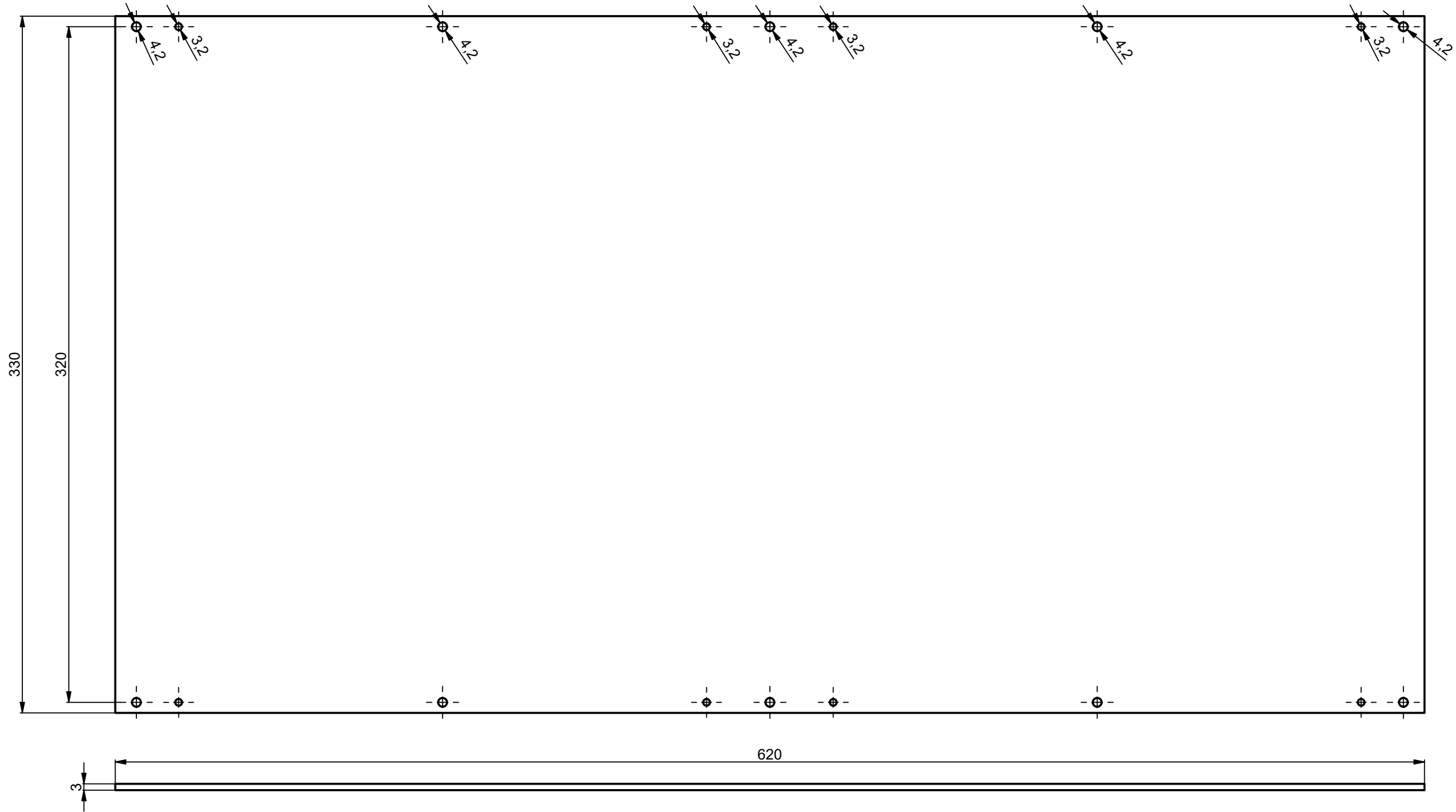


	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:10	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D IMPRESORA 3D FDM			Nº DE PLANO 2 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:

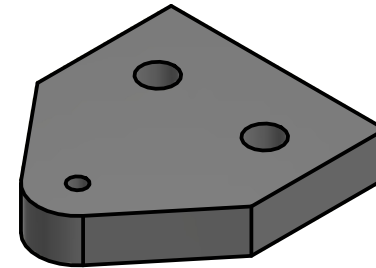
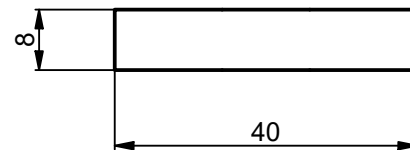
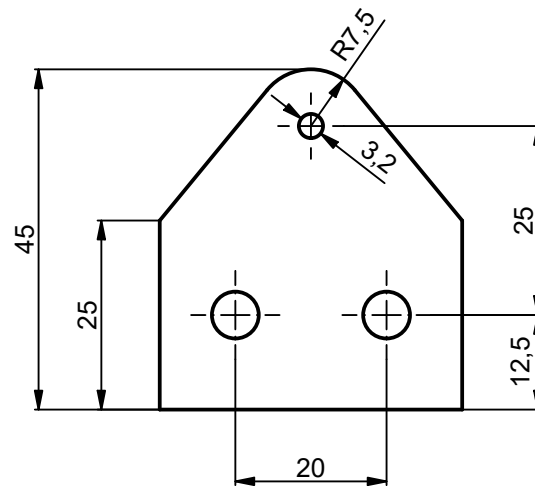
1	1	PLANCHA ALUMINIO CAMA							
2	4	SOPORTE RESORTE PVC 1							
3	2	1.3 SOPORTE RESORTE PVC 2							
4	2	SILICONA TANGXI 310X310 MM	COMERCIAL						
5	8	RESORTE CAMA	L25 MM						
6	40	BS 4183 - M4	Tornillos para maquinaria y tuercas de tornillos para maquinaria. Serie métrica						
7	10	JIS B 1174 - M4 x 8	Tornillos de cabeza cilíndrica abombada con hueco hexagonal						
8	1	1.8 CRISTAL							
9	8	ESCUADRA 20x20x17	FASTEN 53301						
10	8	CNS 4373 - M 3	Tuerca de palomilla						
11	2	PIEZA SOPORTE Y PVC							
12	12	JIS B 1174 - M4 x 10	Tornillos de cabeza cilíndrica abombada con hueco hexagonal						
13	52	ANSI B18.22M - 4 N	Arandelas métricas planas						
14	4	JIS B 1174 - M4 x 16	Tornillos de cabeza cilíndrica abombada con hueco hexagonal						
15	4	1.15 ACOUPLE LMU12	PLA						
16	8	ANSI B18.3.4M - M3 x 0.5 x 16, BHSBHCSM	Tornillo brochado de cabeza de botón hexagonal hueca - Métrico						
17	8	BS 4183 - M3	Tornillos para maquinaria y tuercas de tornillos para maquinaria. Serie métrica						
18	2	PERFIL 25X25 L750 MM	FASTEN 5011						
19	2	PERFIL ALUMINIO 25X25 L245 MM	FASTEN 5011						
20	16	TORNILLO CABEZA MARTILLO M6 L20 MM	FASTEN 525113						
21	16	TUERCA BRIDA M6	FASTEN 525113						
22	12	TUERCA CUADRADA M4 CANAL 6 MM	FASTEN 52084						
23	16	ANSI B18.3.4M - M4 x 0.7 x 20, BHSBHCSM	Tornillo brochado de cabeza de botón hexagonal hueca - Métrico						
24	8	ANSI B18.3.4M - M3 x 0.5 x 45, BHSBHCSM	Tornillo brochado de cabeza de botón hexagonal hueca - Métrico						
25	2	BS 4183 - M5	Tornillos para maquinaria y tuercas de tornillos para maquinaria. Serie métrica						
26	2	ANSI B18.22M - 5 N	Arandelas métricas planas						
27	1	JIS B 1174 - M5 x 25	Tornillos de cabeza cilíndrica abombada con hueco hexagonal						
28	2	TUERCA COLLARÍN M5 DC16 MM							
29	2	PERFIL L 20X20 L620 MM							
30	4	LMU12	RODAMIENTO LINEAL LMU12 MM						
Marca	Ctd.	Designación	Descripción						
				FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES		
			DIBUJADO		Raúl Gil Ginés				
			COMPROBADO						
			ESCALA:	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D CONJUNTO CAMA					Nº DE PLANO 3 / 75
								SUSTITUYE A:	
								SUSTITUIDO POR:	



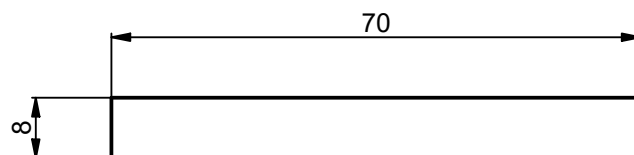
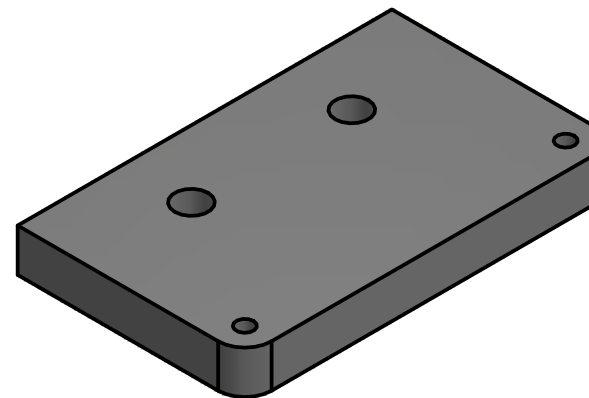
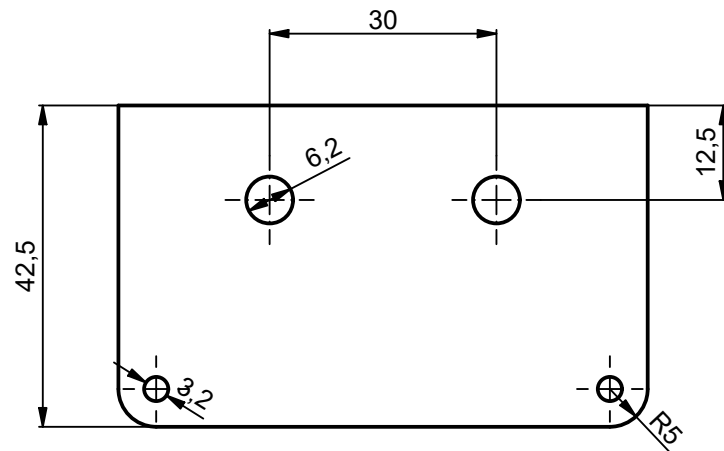
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:5	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D CONJUNTO CAMA			Nº DE PLANO 4 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



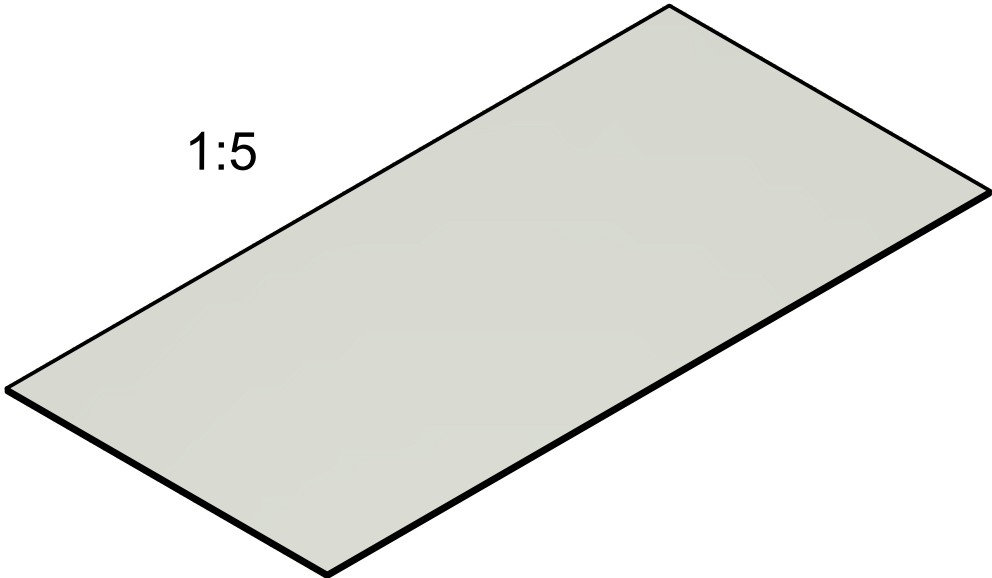
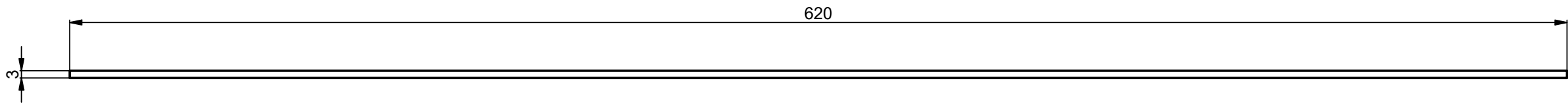
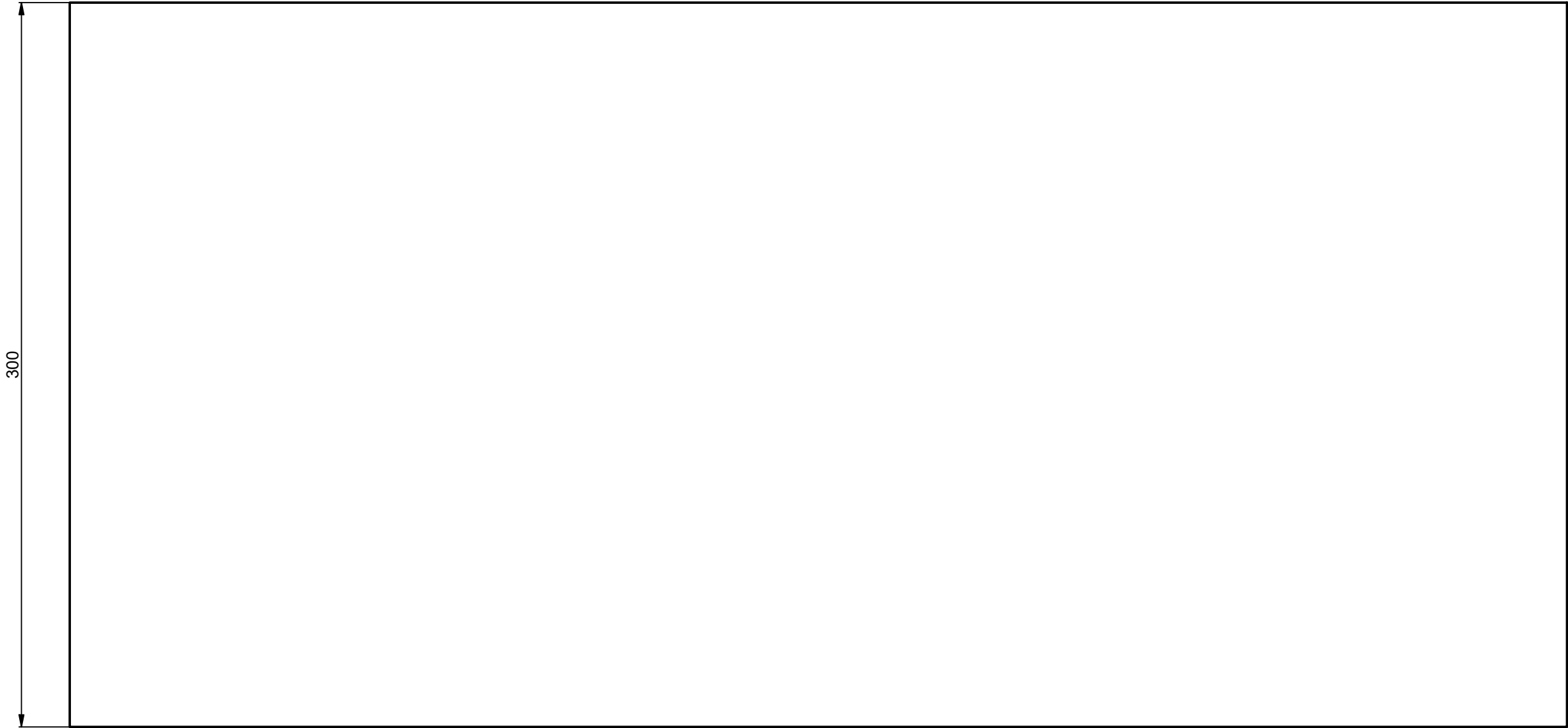
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES		
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés				
COMPROBADO						
ESCALA: 1:2	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D PLANCHA ALUMINIO CAMA			Nº DE PLANO 5 / 75		
SUSTITUYE A:						
SUSTITUIDO POR:						



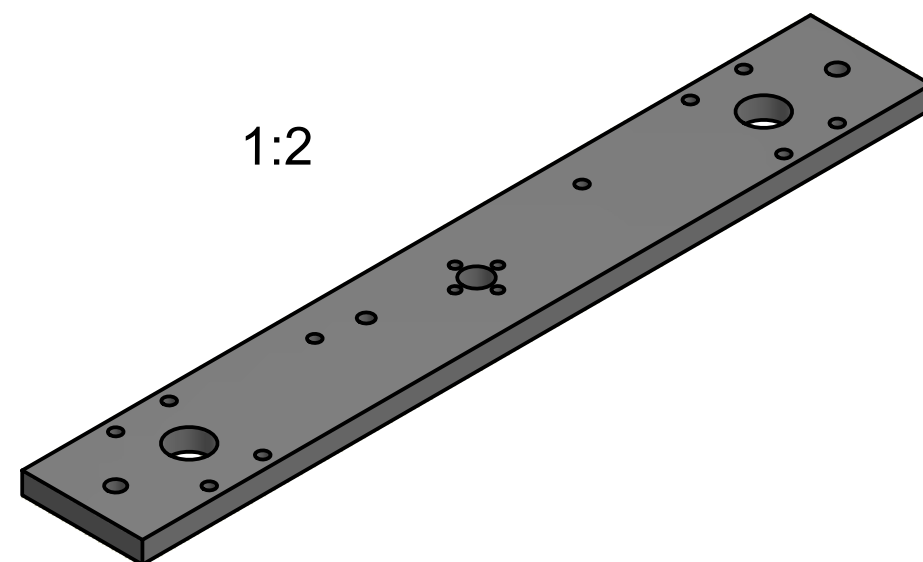
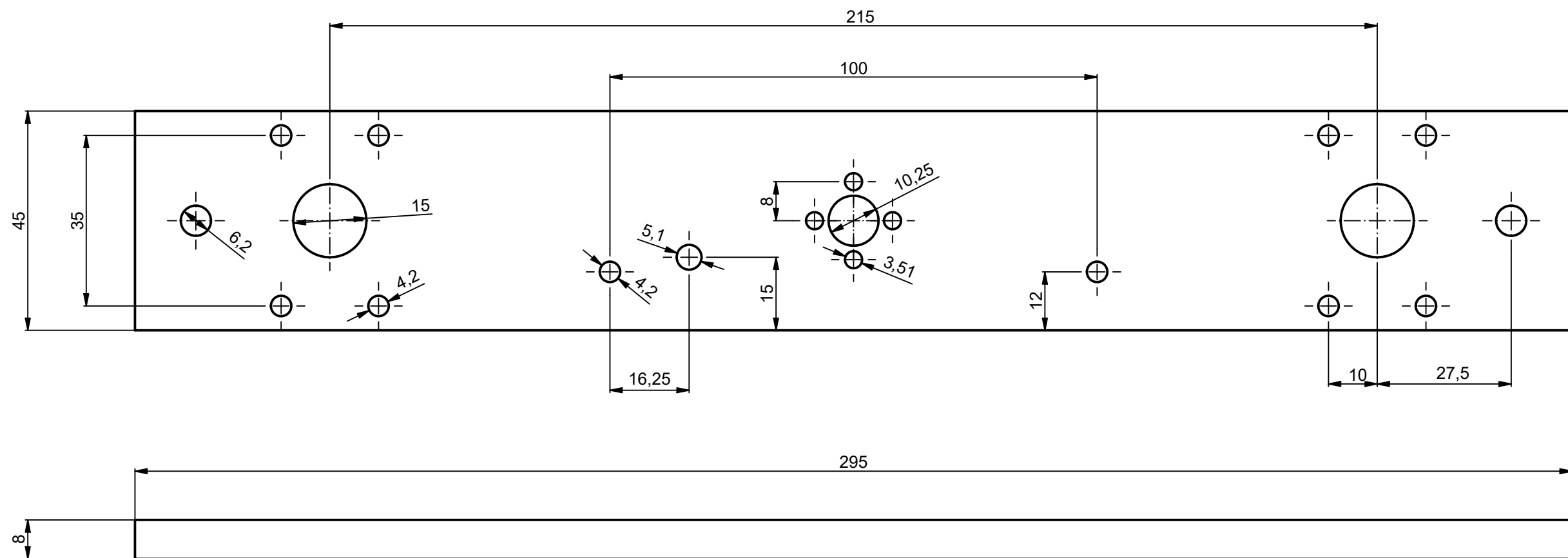
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:1	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 1.2 SOPORTE RESORTE PVC			Nº DE PLANO 6 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



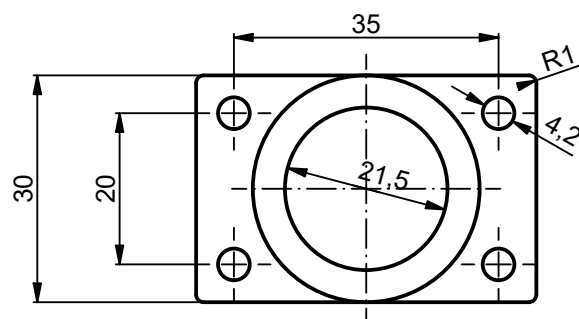
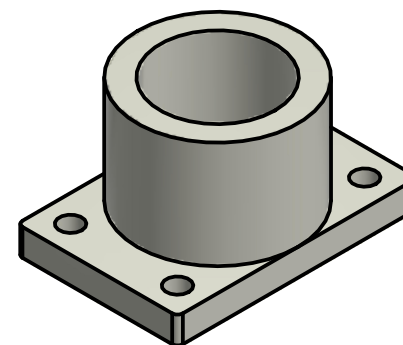
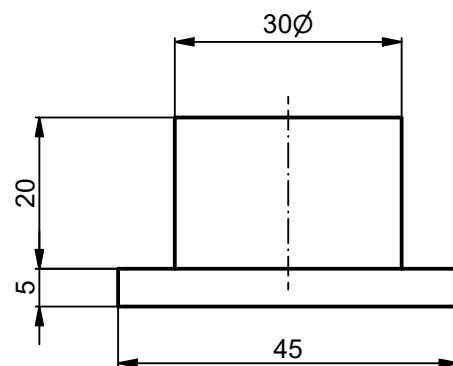
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:1	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 1.3 SOPORTE RESORTE PVC 2			Nº DE PLANO 7 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



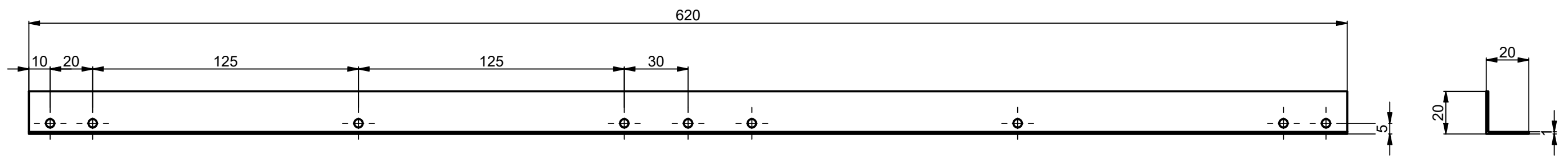
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:2	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 1.8 CRISTAL			Nº DE PLANO 8 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



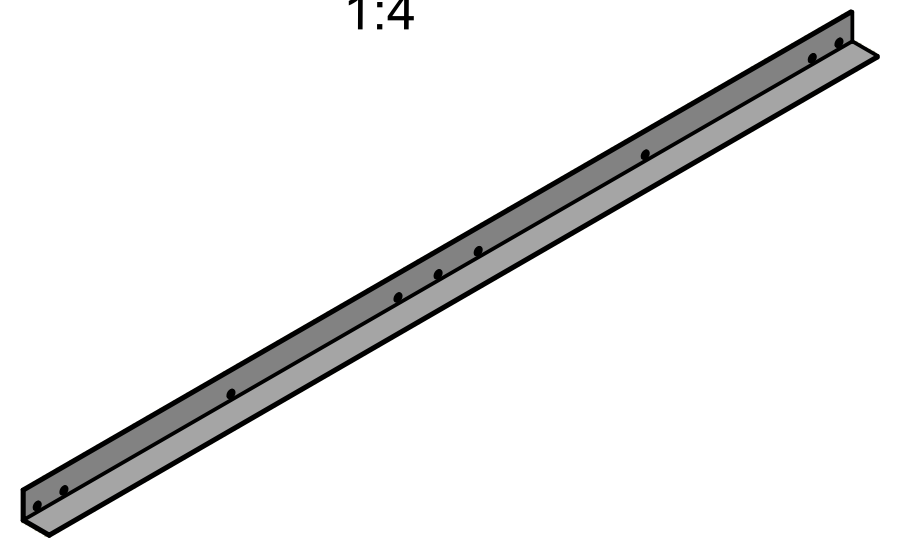
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES		
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés				
COMPROBADO						
ESCALA: 1:1	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D PIEZA SOPORTE Y PVC			Nº DE PLANO 9 / 75		
SUSTITUYE A:						
SUSTITUIDO POR:						



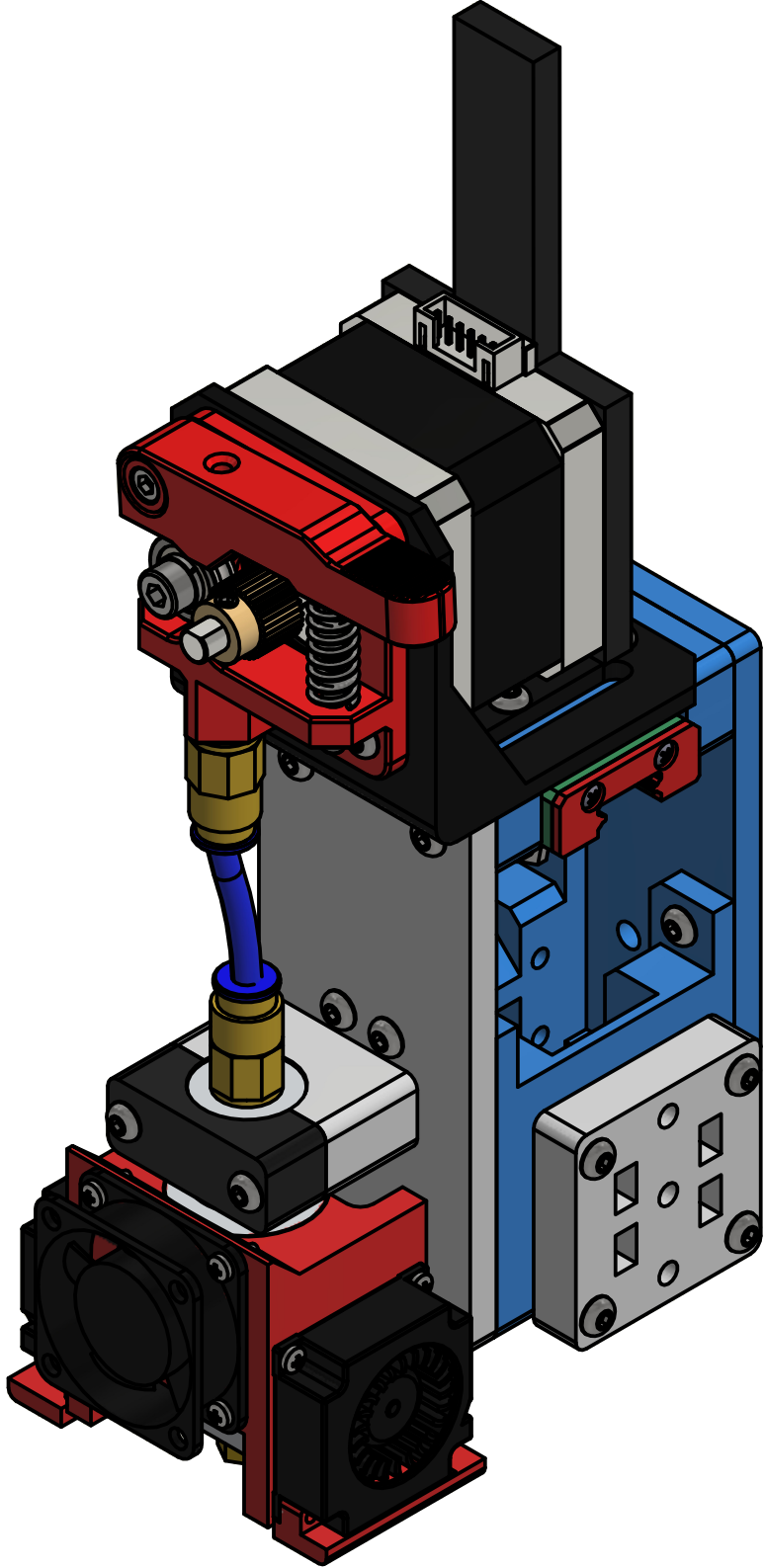
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:1	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 1.15 ACOPLE LMU12			Nº DE PLANO 10 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



1:4

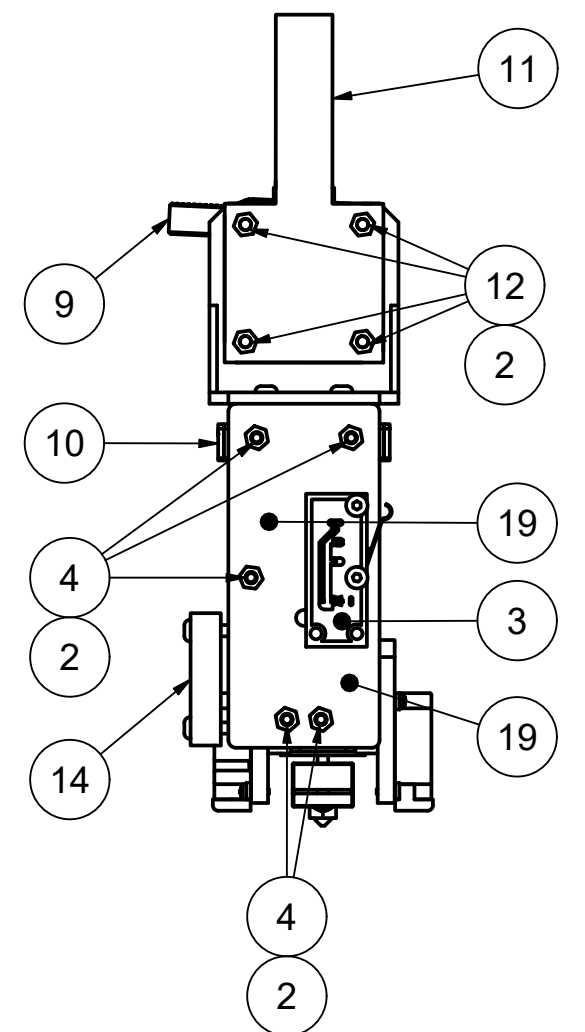
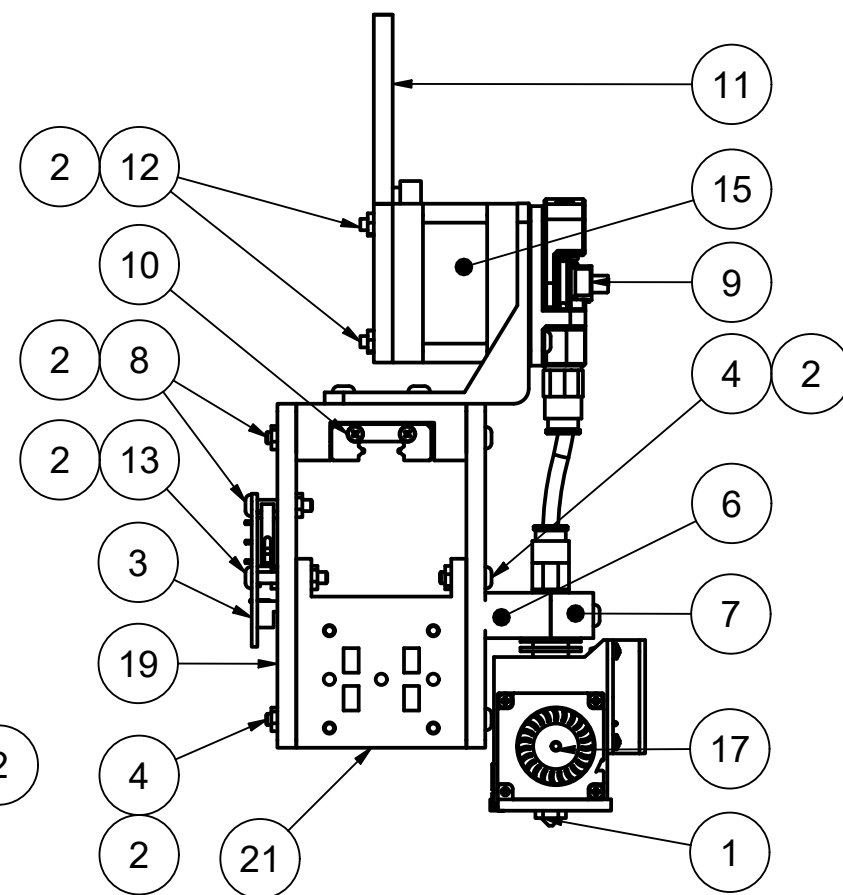
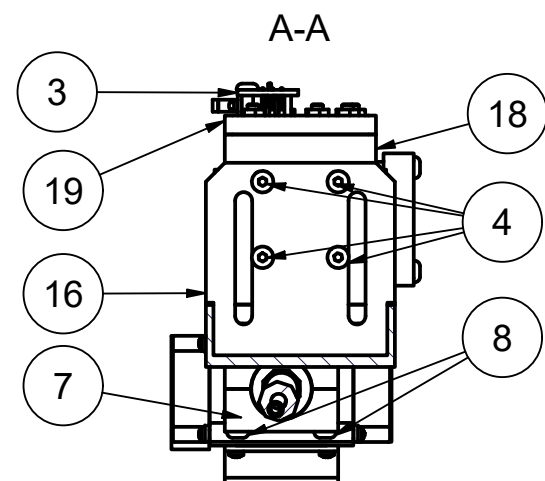
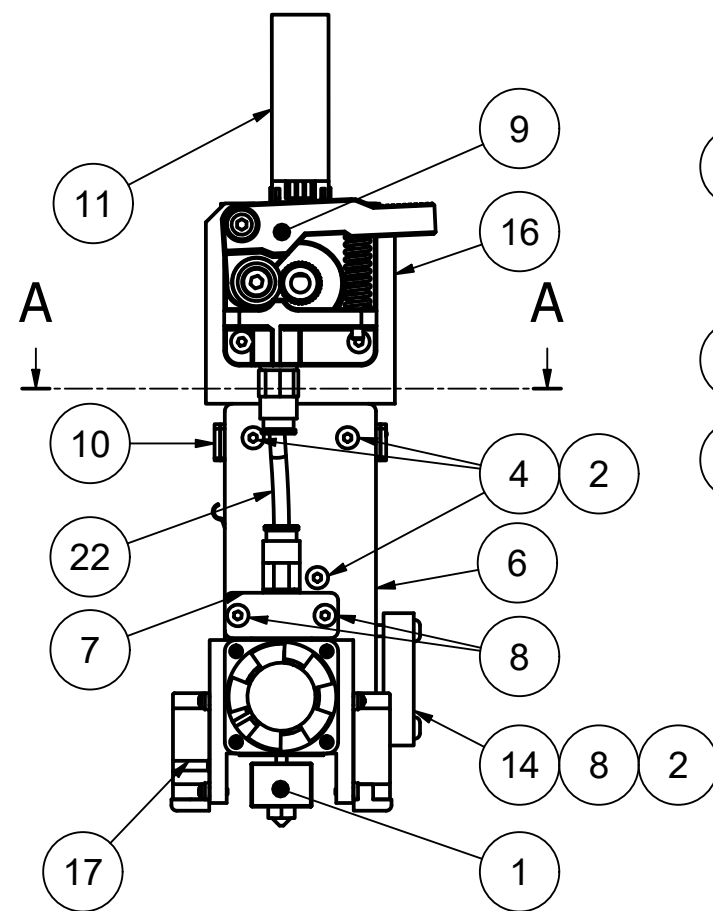
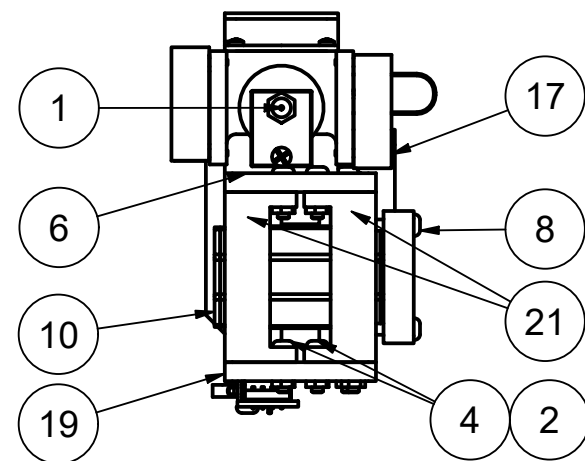
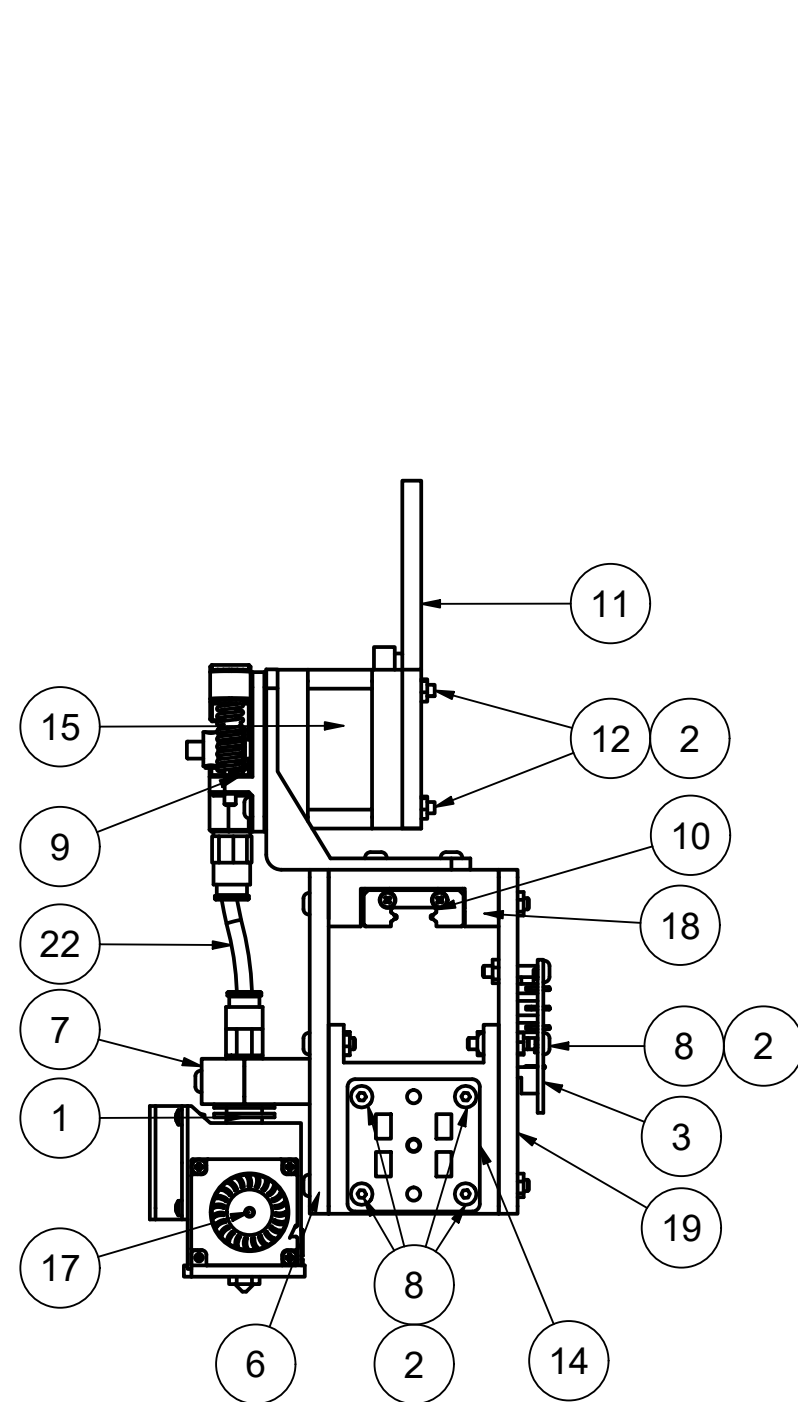


	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:2	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 1.29 PERFIL L 20X20 L620 MM			Nº DE PLANO 11 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:

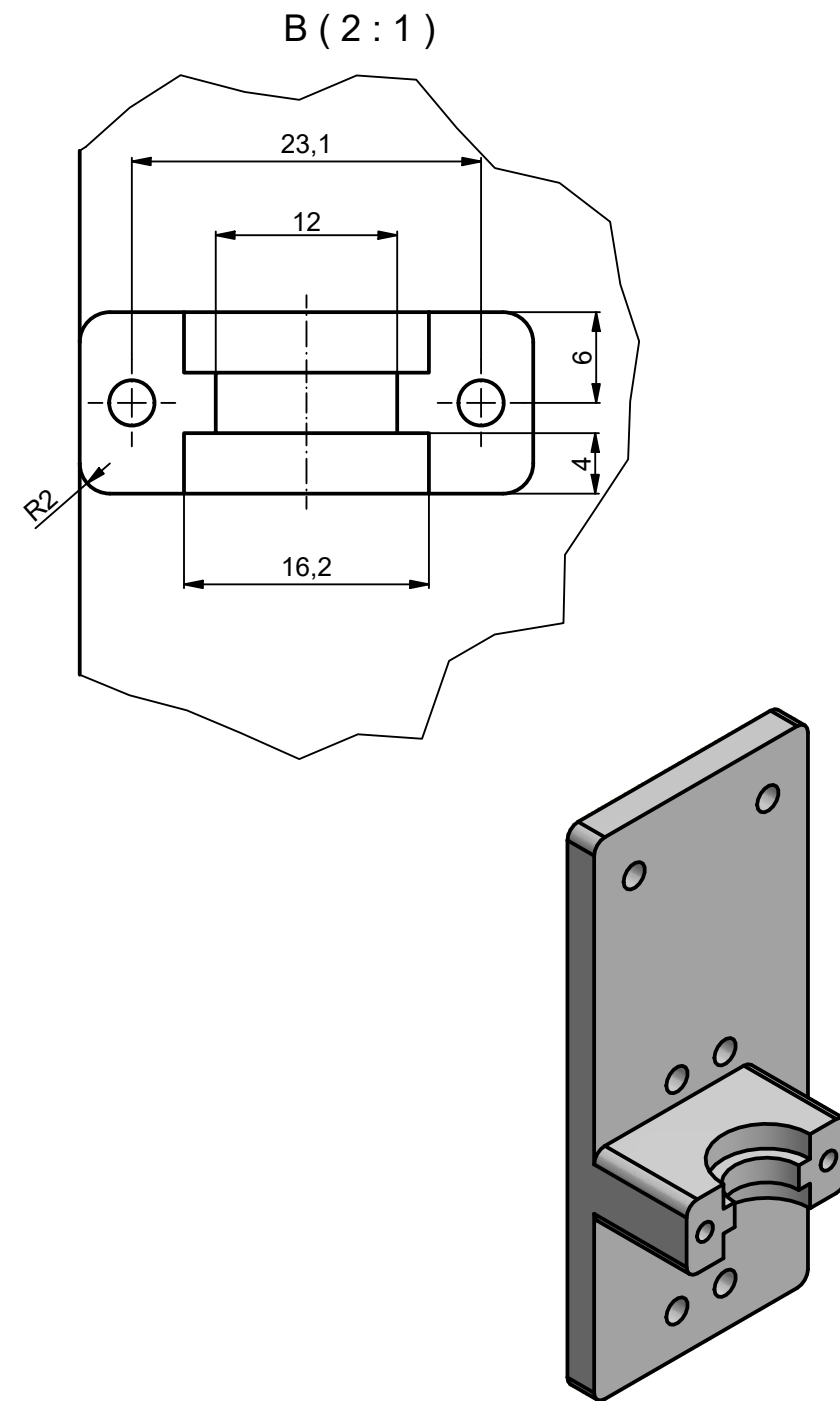
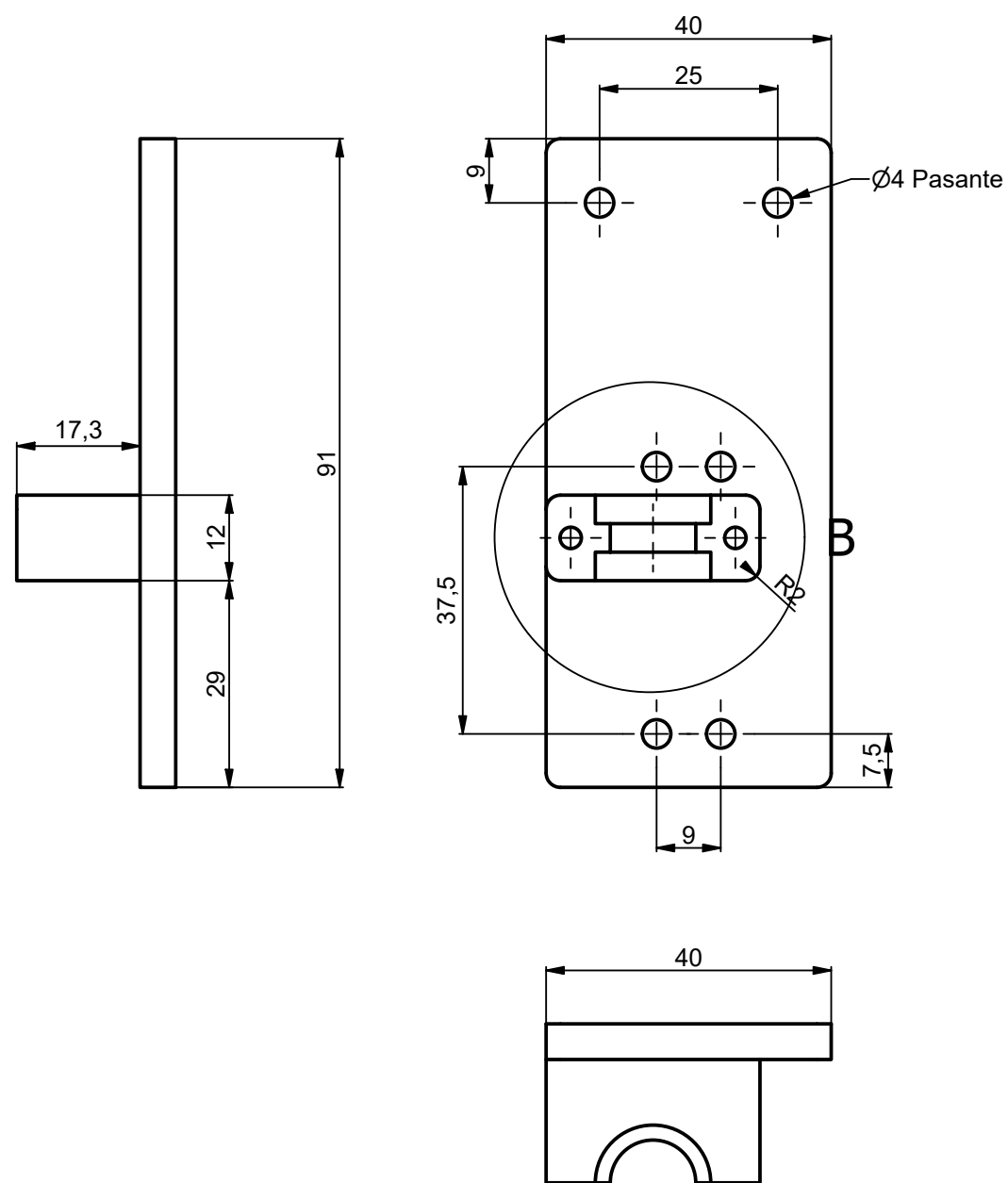


1	1	FUSOR YOTINO V6	COMERCIAL
2	17	BS 4183 - M3	Tornillos para maquinaria y tuercas de tornillos para maquinaria. Serie métrica
3	1	INTERRUPTOR FINAL DE CARRERA	COMERCIAL
4	15	ANSI B18.3.4M - M3 x 0.5 x 12, BHSBHCSM	Tornillo brochado de cabeza de botón hexagonal hueca - Métrico
6	1	2.6 SOPORTE INYECTOR CARRO	PLA
7	1	2.7 CIERRE SOPORTE INYECTOR CARRO	PLA
8	7	ANSI B18.3.4M - M3 x 0.5 x 16, BHSBHCSM	Tornillo brochado de cabeza de botón hexagonal hueca - Métrico
9	1	EXTRUSOR MK8	COMERCIAL
10	1	PATÍN MGN 12H	COMERCIAL
11	1	2.11 SOPORTE CABLES CARRO	PETG
12	4	VARILLA ROSCADA M3 L45 MM	
13	1	ANSI B18.3.4M - M3 x 0.5 x 20, BHSBHCSM	Tornillo brochado de cabeza de botón hexagonal hueca - Métrico
14	1	2.14 TENSOR DE CORREA CARRO	PLA
15	1	MOTOR PASO A PASO NEMA 17 17HS19-2004S1	COMERCIAL
16	1	2.16 SOPORTE NEMA 17 90 GRADOS	
17	1	CONJUNTO VENTILACIÓN FUSOR	COMERCIAL
18	1	2.19 TAPA CONJUNTO CARRO	PLA
19	1	2.19 PIEZA TRASERA CARRO	PLA
20	1	2.21 LATERAL DERECHO CARRO	PLA
21	1	2.21 LATERAL IZQUIERDO CARRO	PLA
22	1	TUBO PTFE DE4 DI2 MM	L60 MM

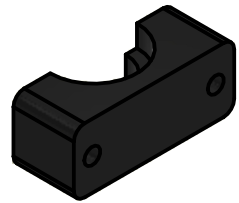
Marca	Ctd.	Designación				Descripción
			FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
	DIBUJADO		Raúl Gil Ginés			
	COMPROBADO					
	ESCALA: 1:1	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D CONJUNTO CARRO EXTRUSOR - FUSOR				Nº DE PLANO 12 / 75
						SUSTITUYE A:
						SUSTITUIDO POR:



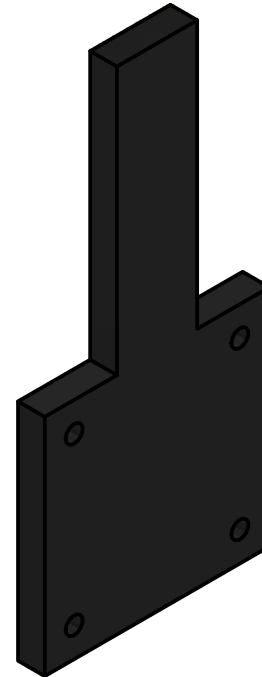
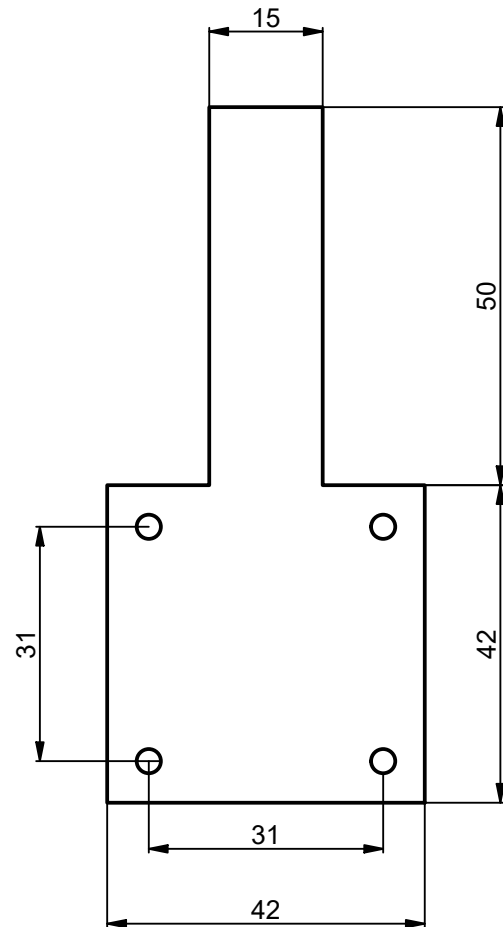
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:2	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D CONJUNTO CARRO EXTRUSOR - FUSOR			Nº DE PLANO 13 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



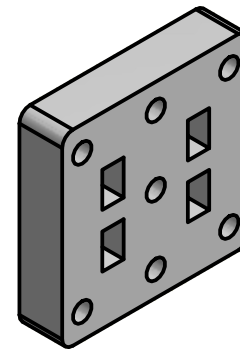
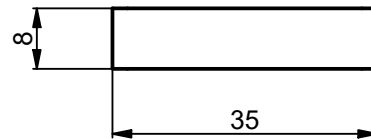
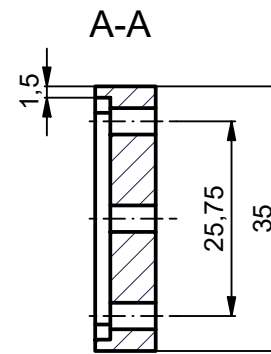
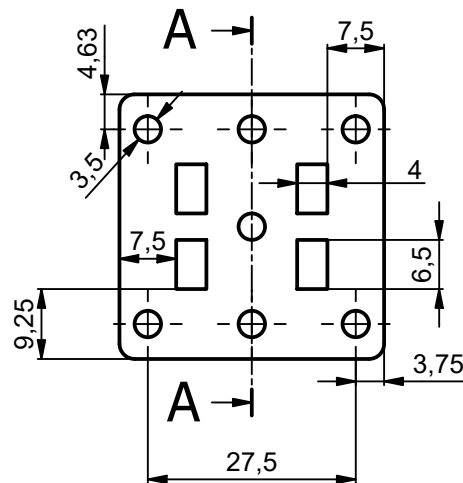
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:1	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 2.6 SOPORTE INYECTOR CARRO			Nº DE PLANO 14 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



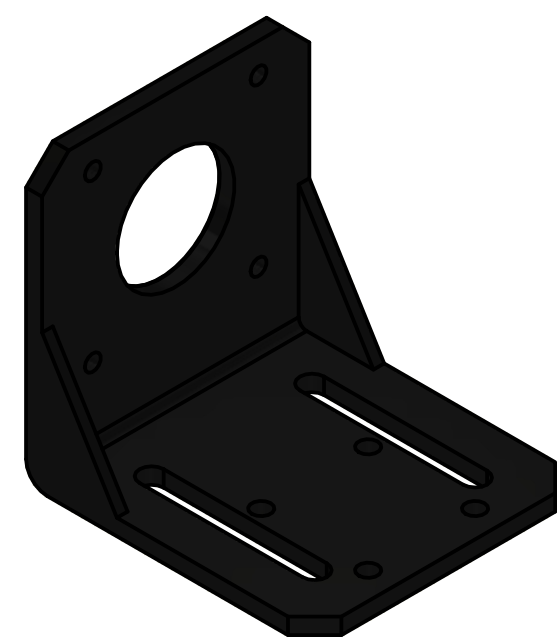
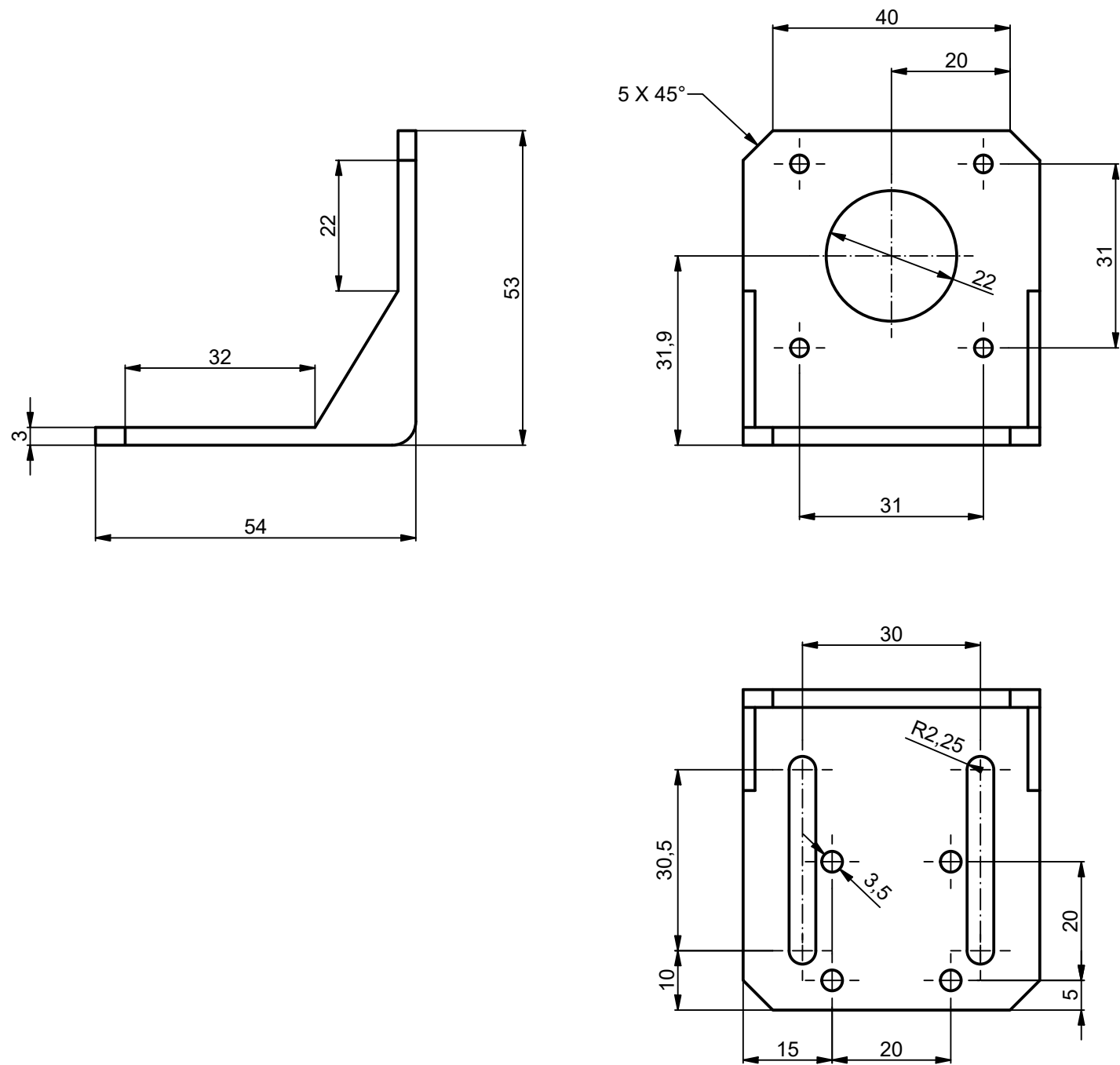
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:1	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 2.7 CIERRE SOPORTE INYECTOR CARRO			Nº DE PLANO 15 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



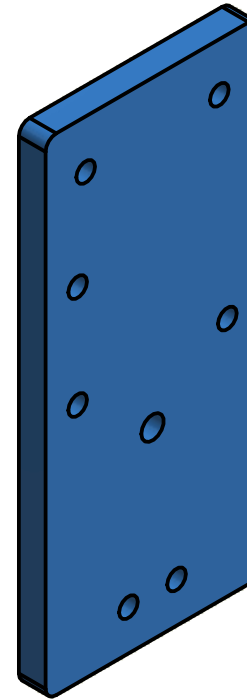
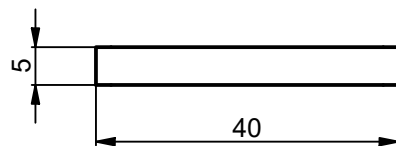
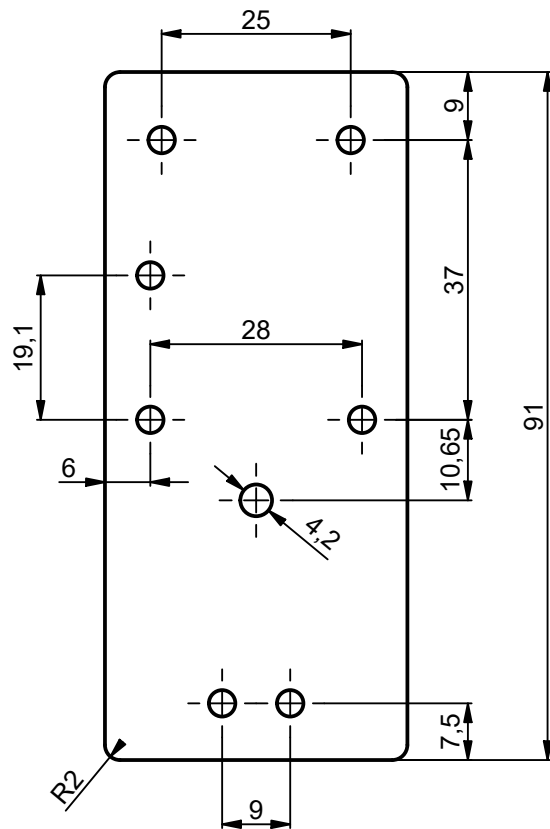
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés			
COMPROBADO					
ESCALA: 1:1	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 2.11 SOPORTE CABLES CARRO				Nº DE PLANO 16 / 75
					SUSTITUYE A:
					SUSTITUIDO POR:



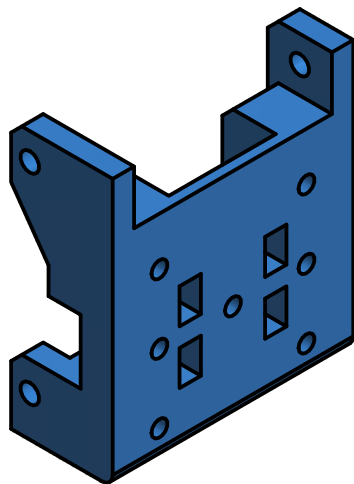
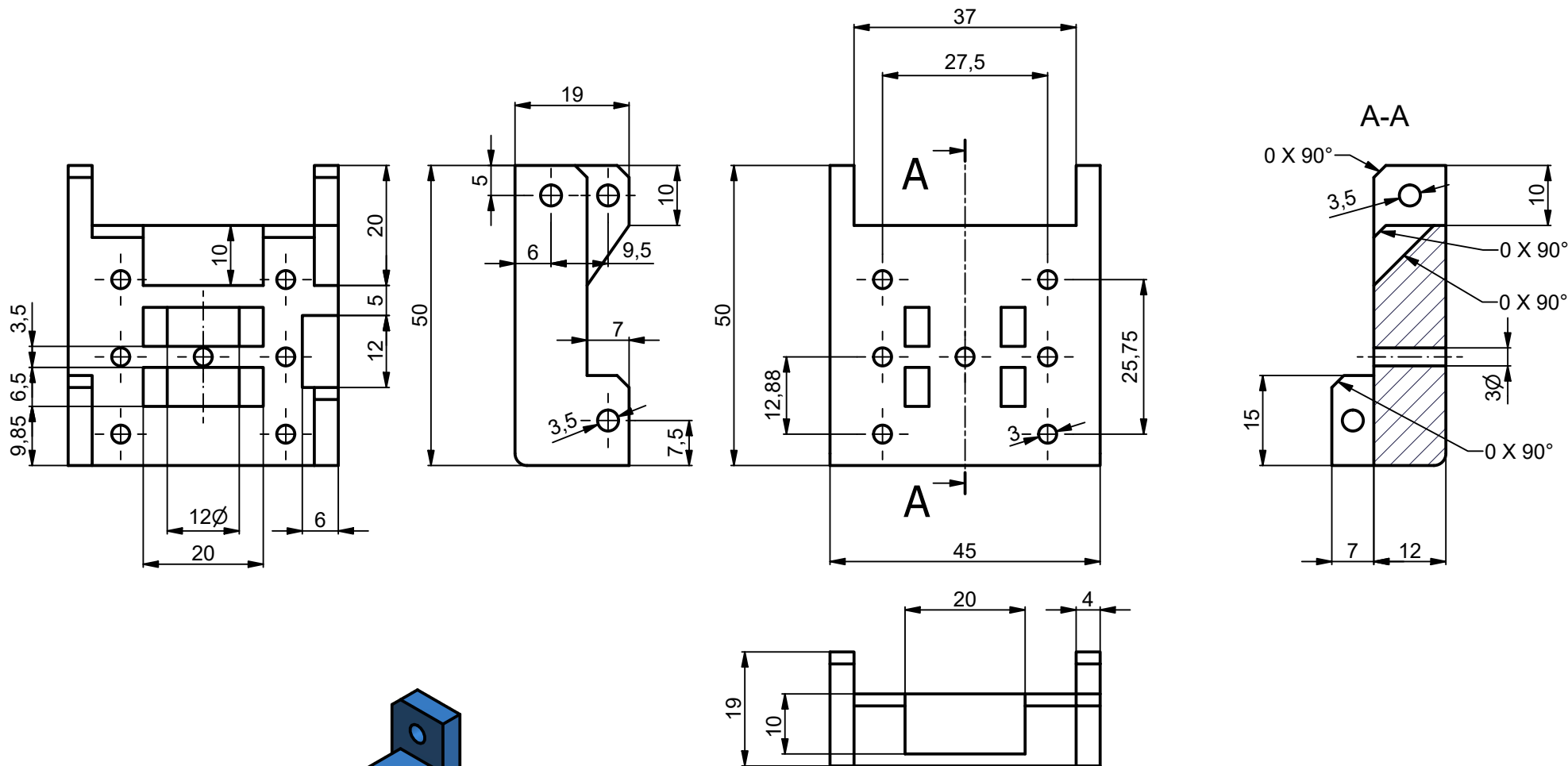
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:1	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 2.14 TENSOR DE CORREA CARRO			Nº DE PLANO 17 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



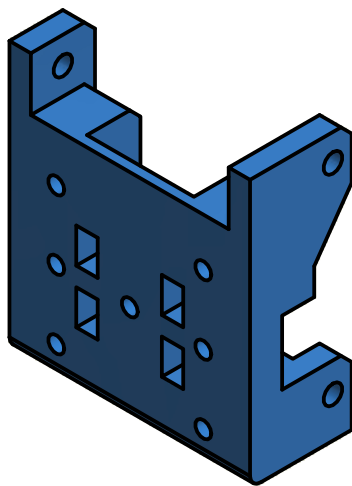
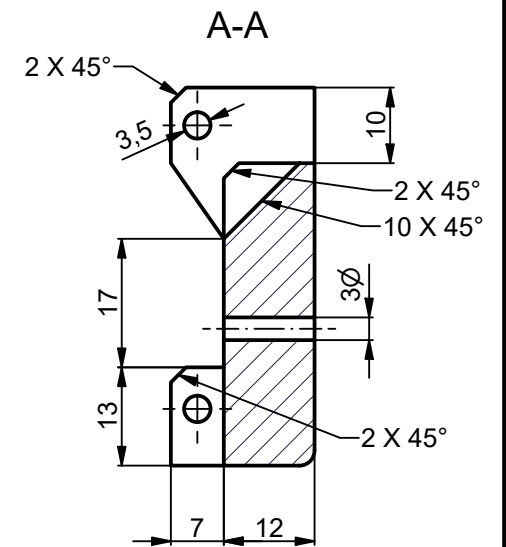
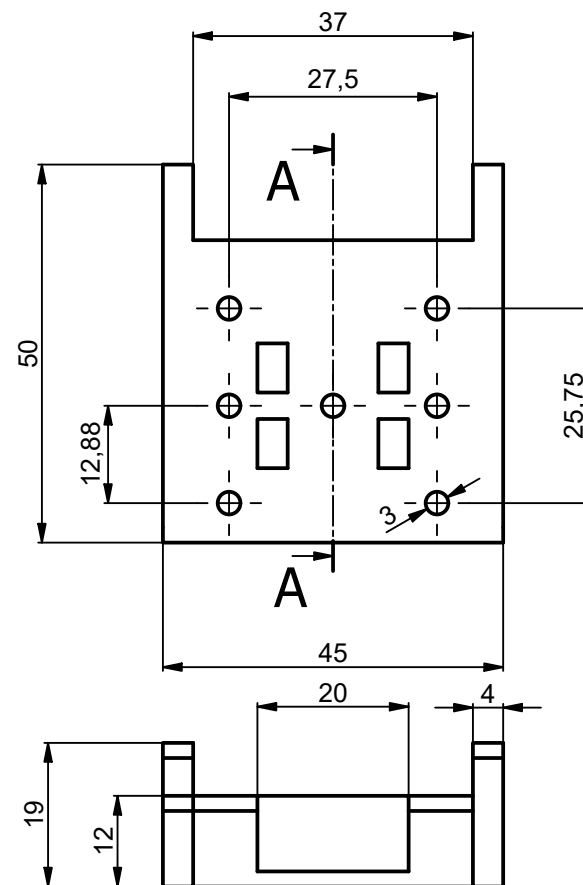
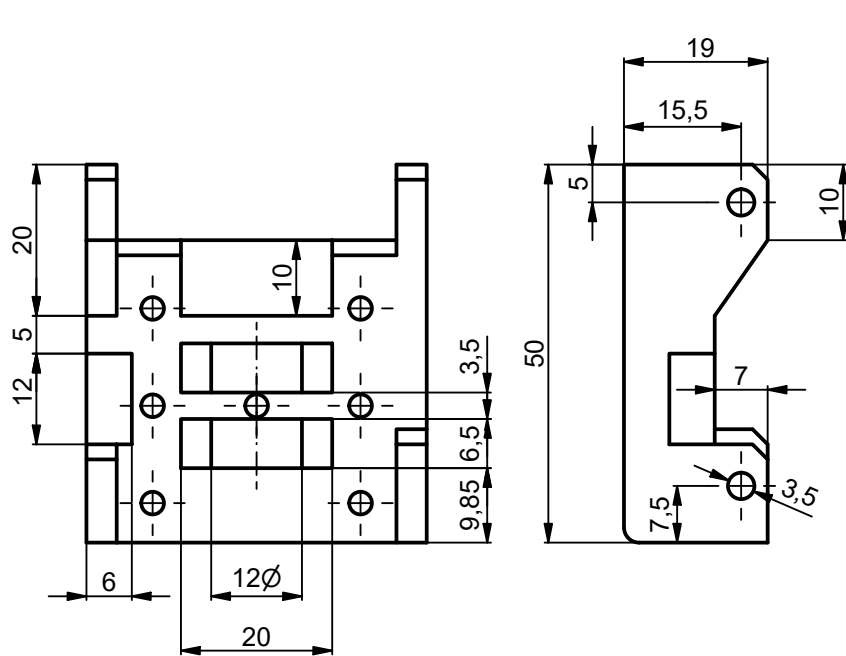
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:1	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 2.16 SOPORTE NEMA 17 90 GRADOS			Nº DE PLANO 18 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



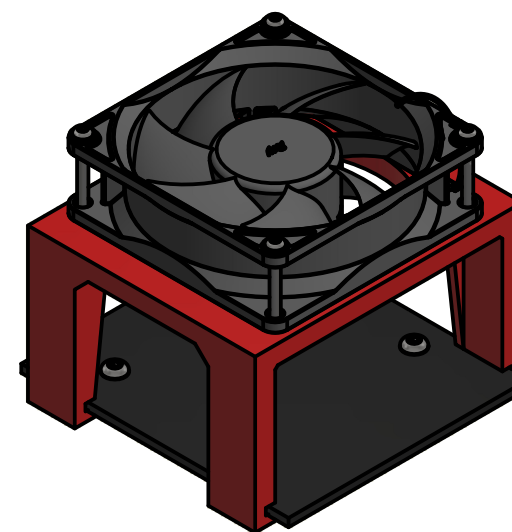
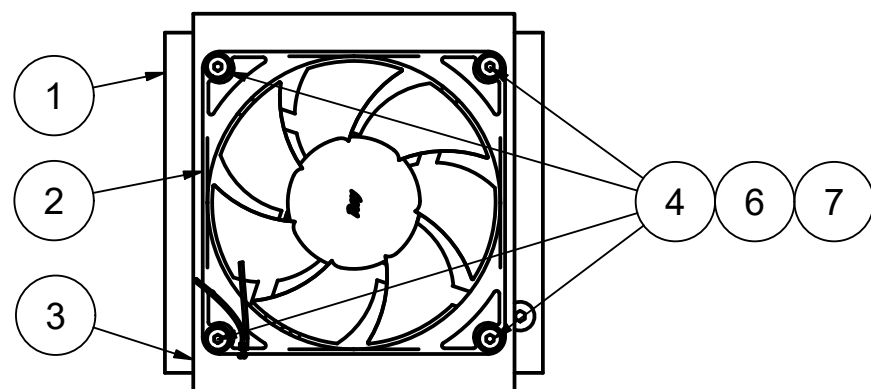
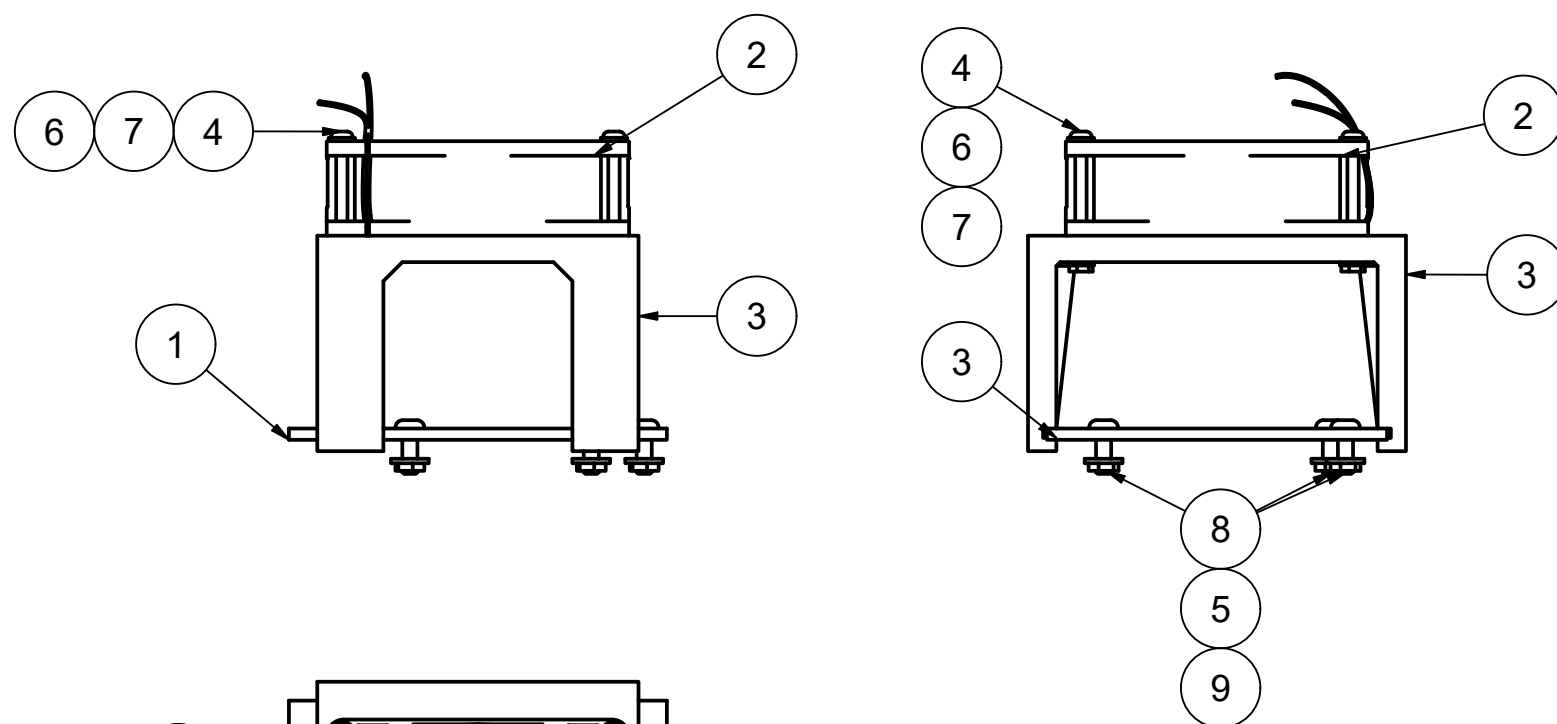
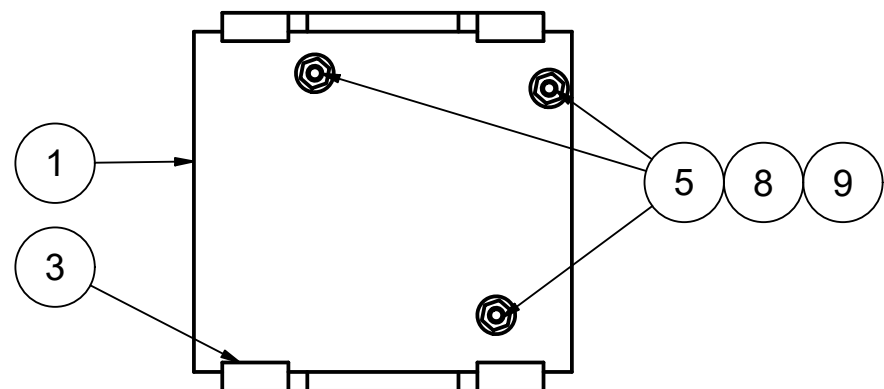
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés			
COMPROBADO					
ESCALA: 1:1	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 2.19 PIEZA TRASERA CARRO			Nº DE PLANO 19 / 75	
				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:1	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 2.21 LATERAL DERECHO CARRO			Nº DE PLANO 20 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:

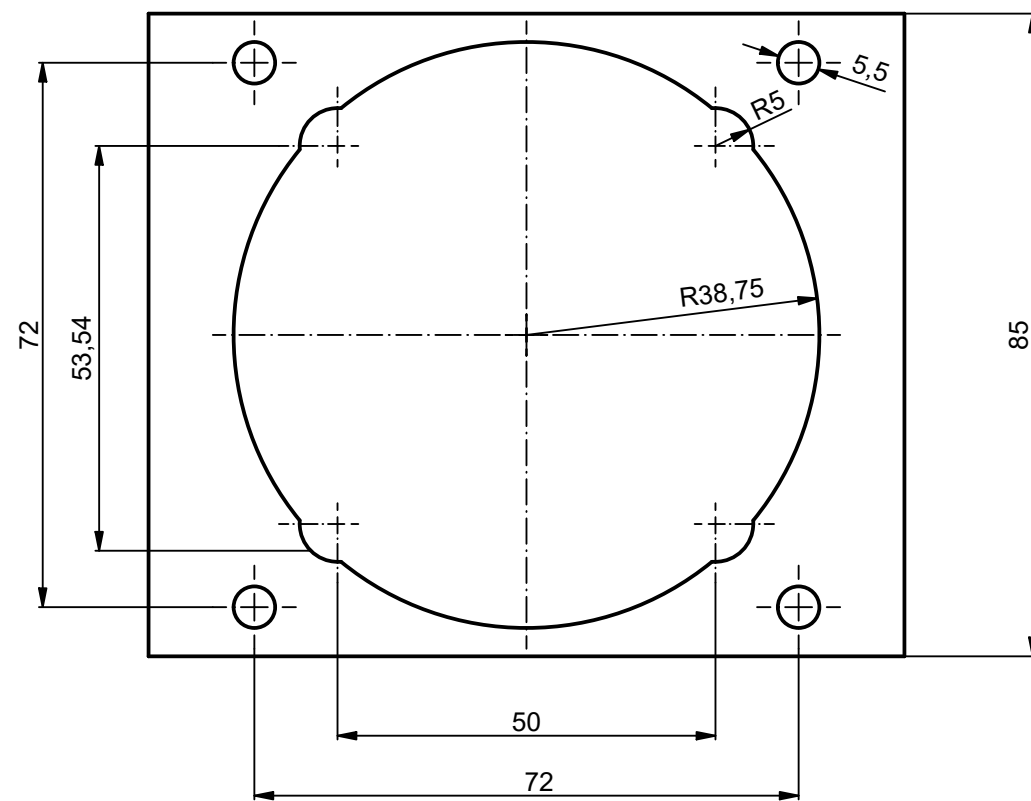
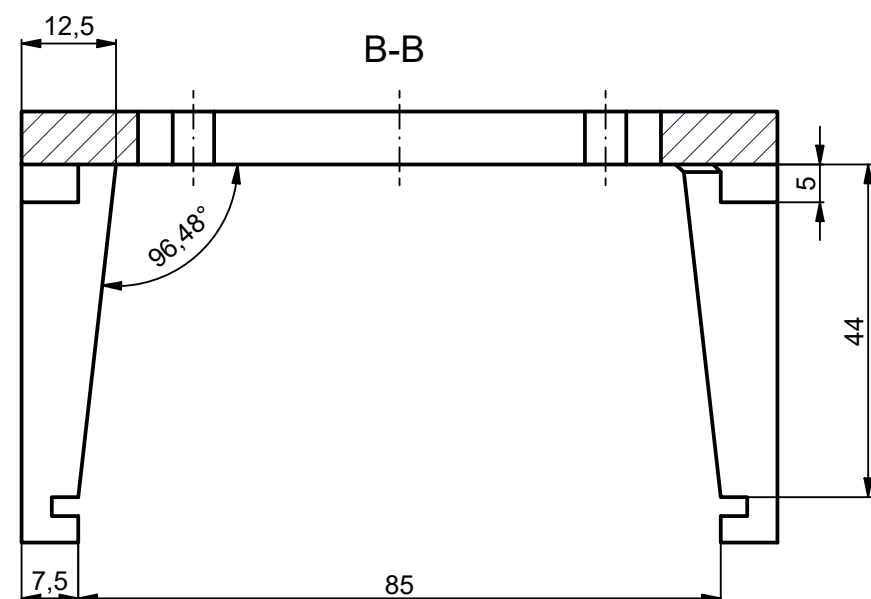
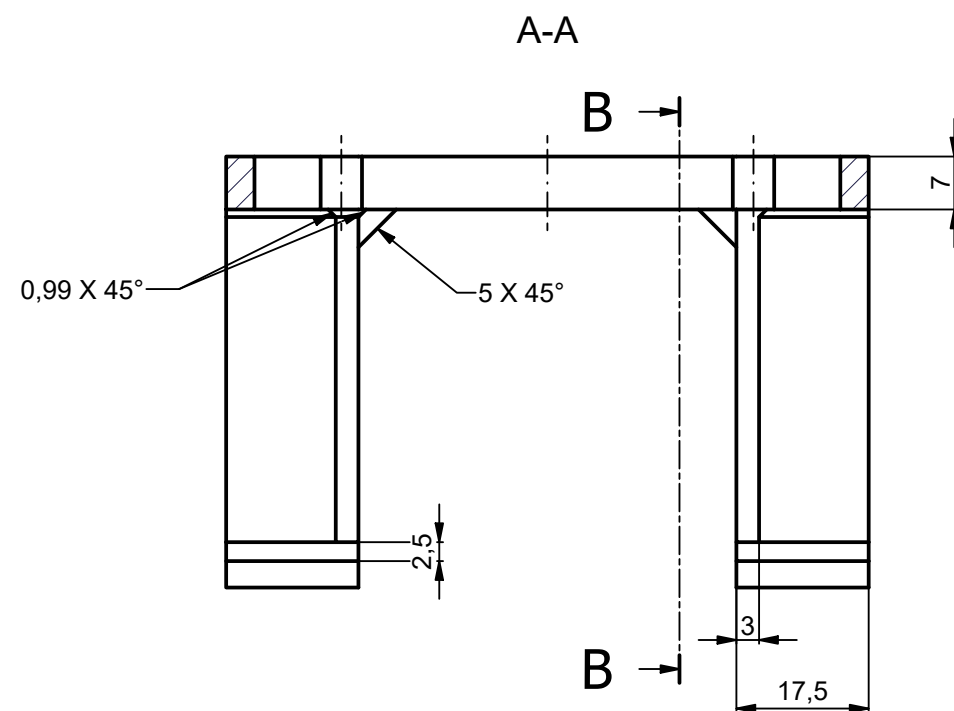
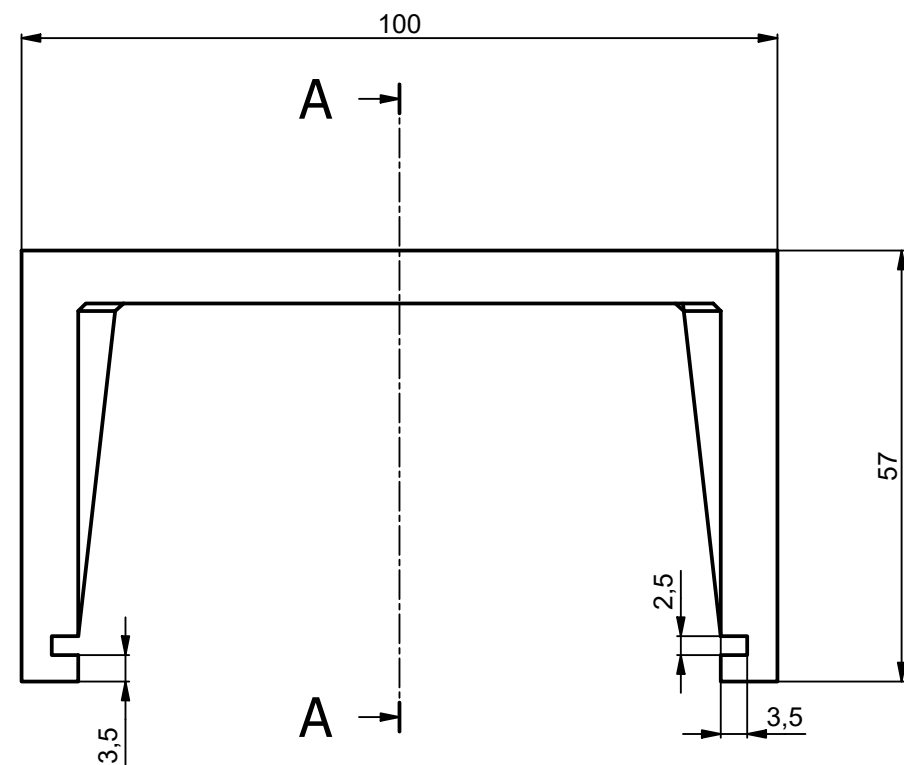


	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:1	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 2.21 LATERAL IZQUIERDO CARRO			Nº DE PLANO 21 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:

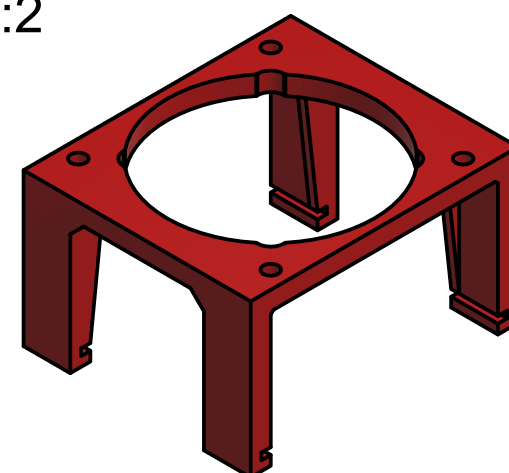


1	1	MODELO PLACA BASE SIMPLIFICADA	TURMAN DREAMS
2	1	VENTILADOR 12 V	COMERCIAL
3	1	5.3 SOPORTE VENTILADOR PLACA BASE	PLA
4	4	ANSI B18.3.4M - M3 x 0.5 x 35, BHSBHCSM	Tornillo brochado de cabeza de botón hexagonal hueca - Métrico
5	3	ANSI B18.3.4M - M4 x 0.7 x 12, BHSBHCSM	Tornillo brochado de cabeza de botón hexagonal hueca - Métrico
6	4	BS 4183 - M3	Tornillos para maquinaria y tuercas de tornillos para maquinaria. Serie métrica
7	8	ANSI B18.22M - 3 N	Arandelas métricas planas
8	3	BS 4183 - M4	Tornillos para maquinaria y tuercas de tornillos para maquinaria. Serie métrica
9	3	ANSI B18.22M - 4 N	Arandelas métricas planas
Marca	Ctd.	Designación	Descripción

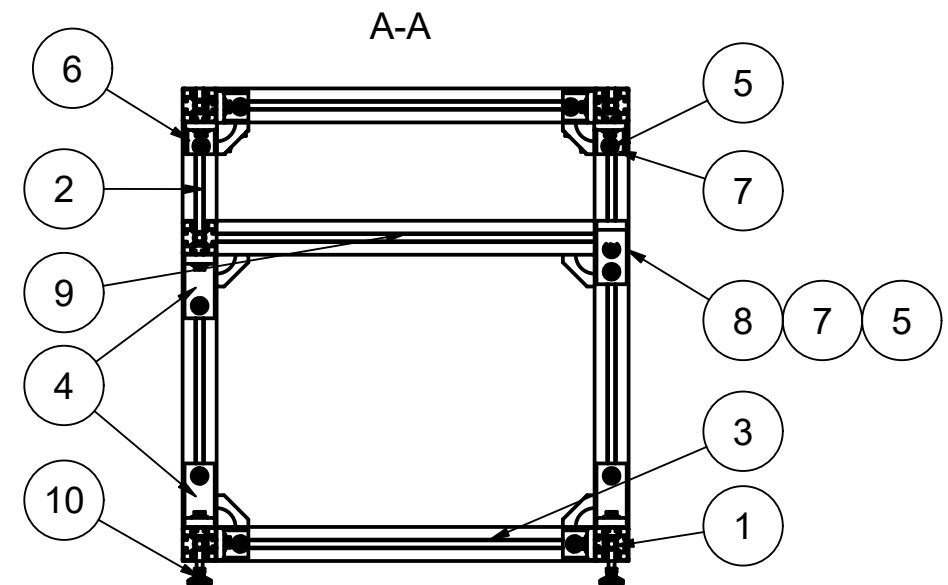
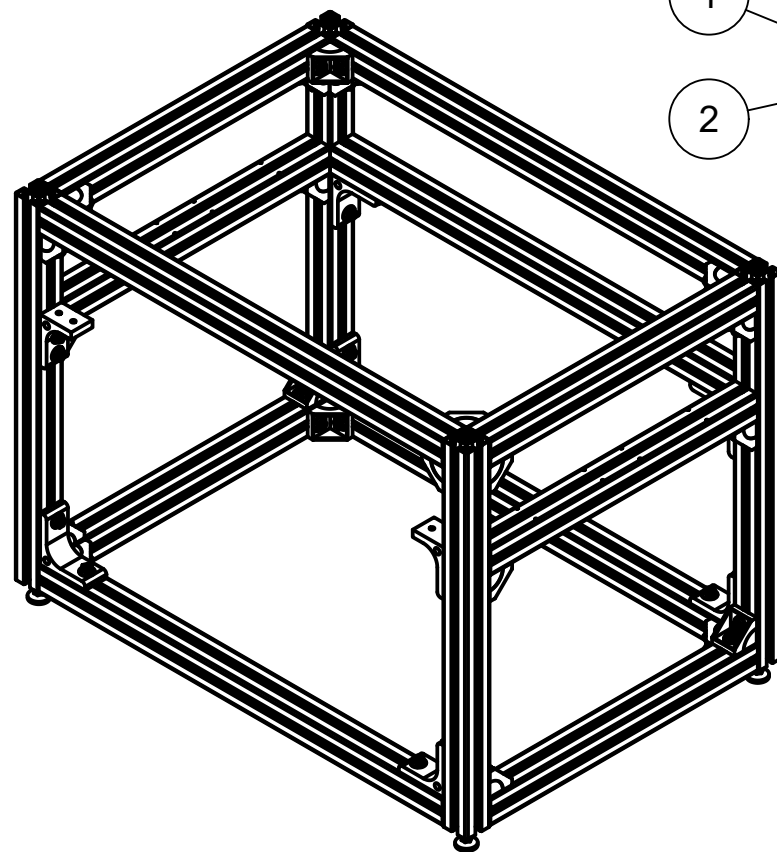
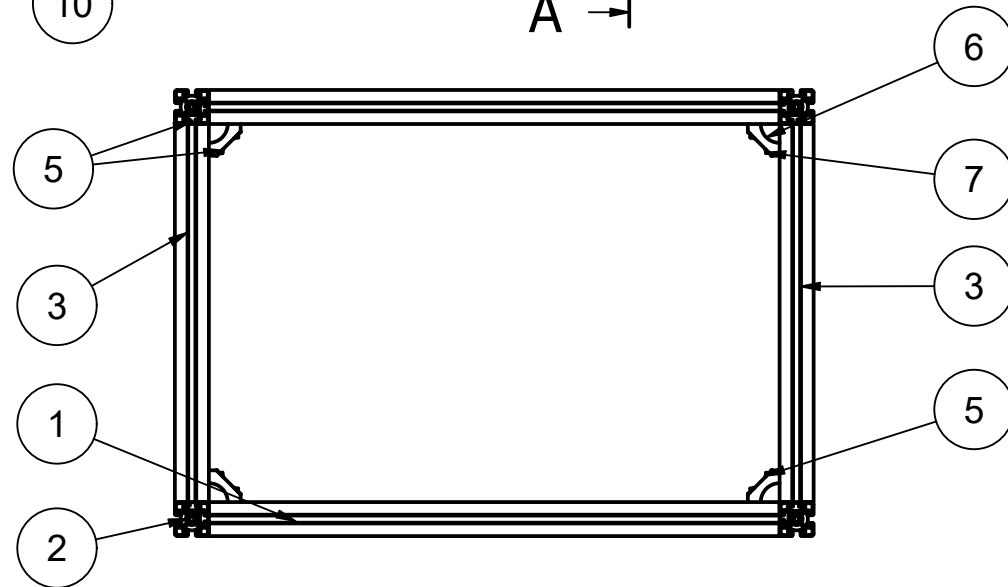
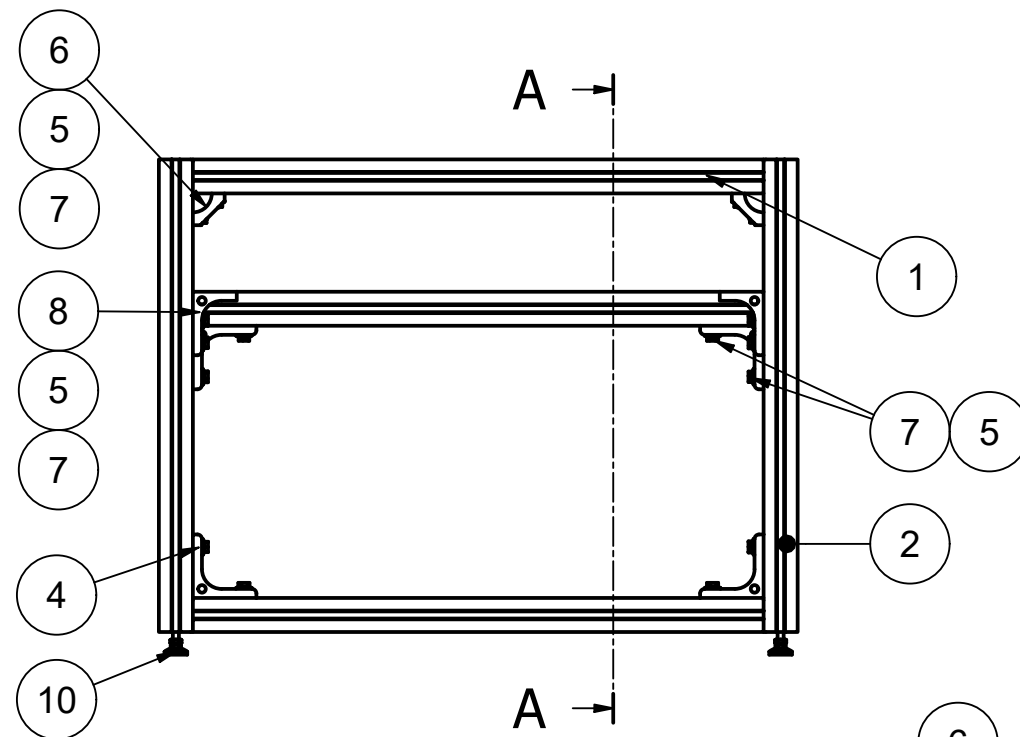
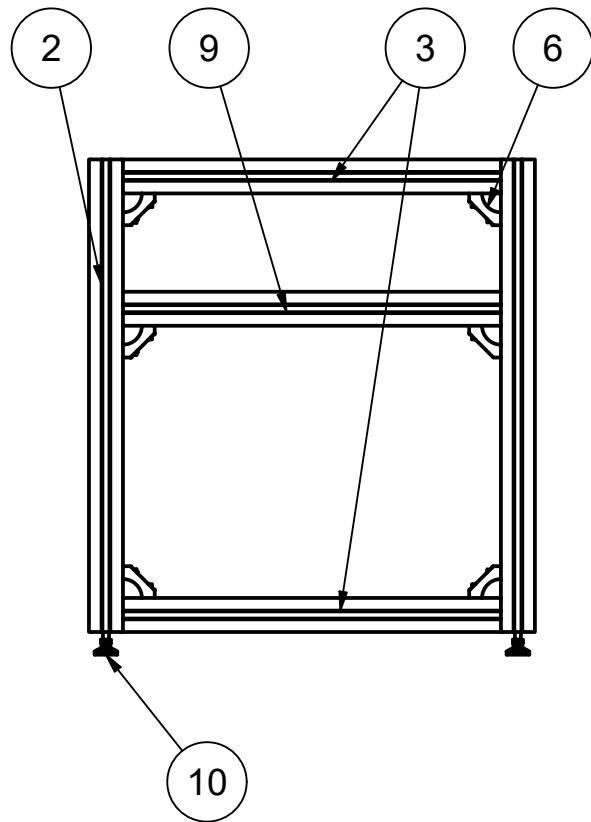
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA:	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D CONJUNTO PLACA BASE			Nº DE PLANO
1:2				22 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



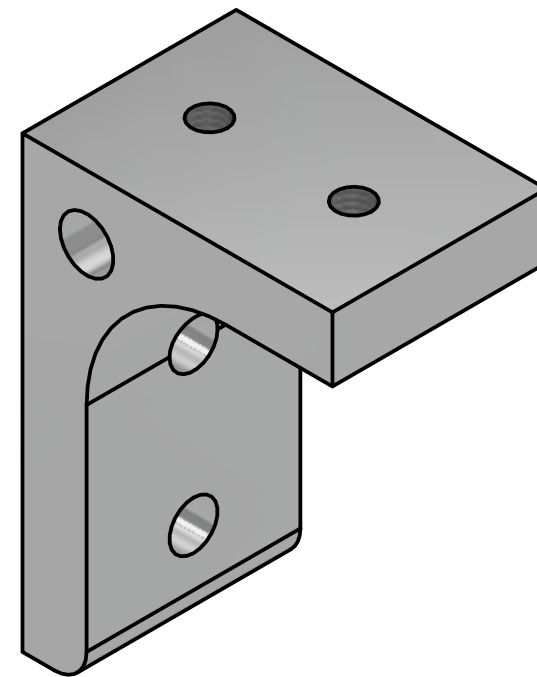
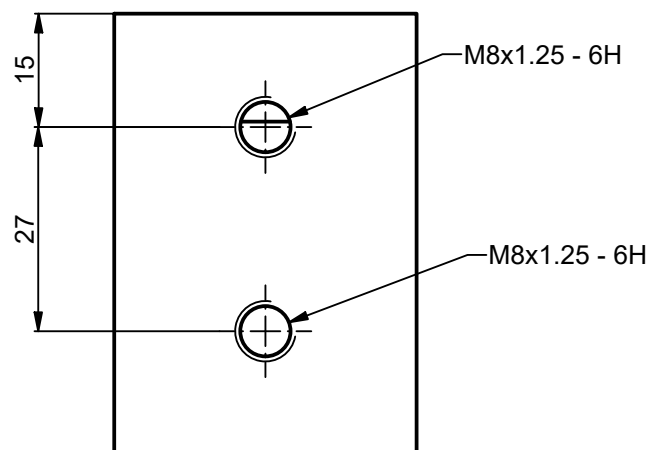
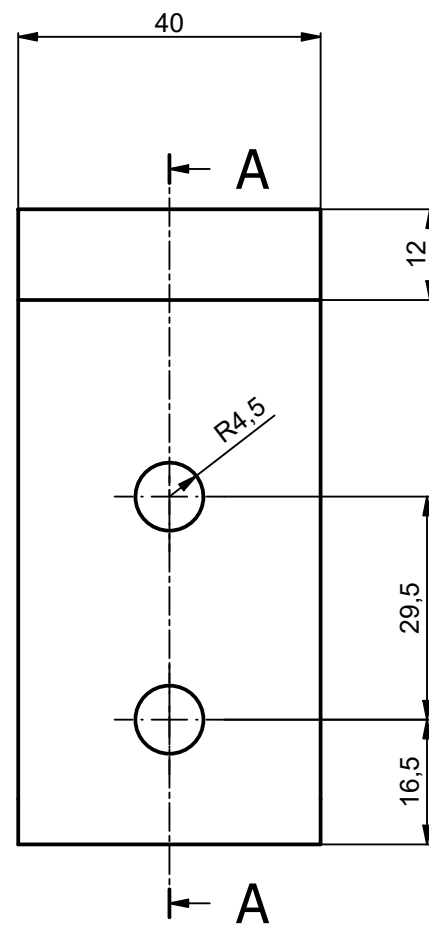
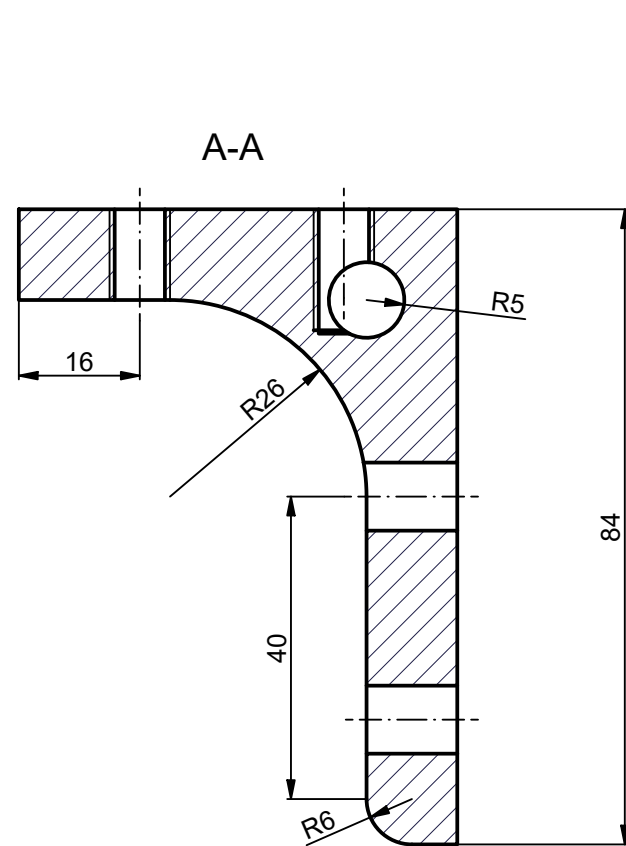
1:2



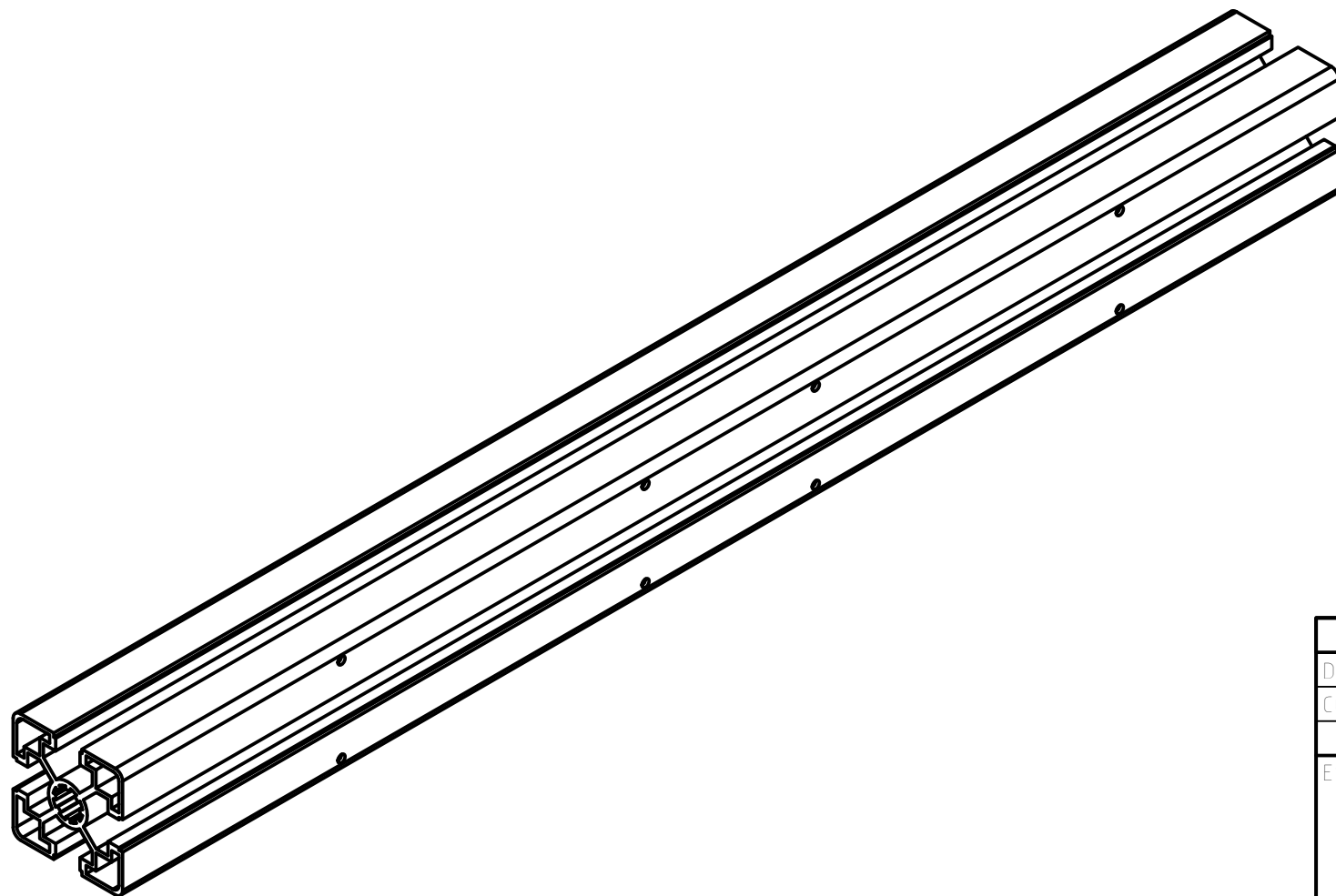
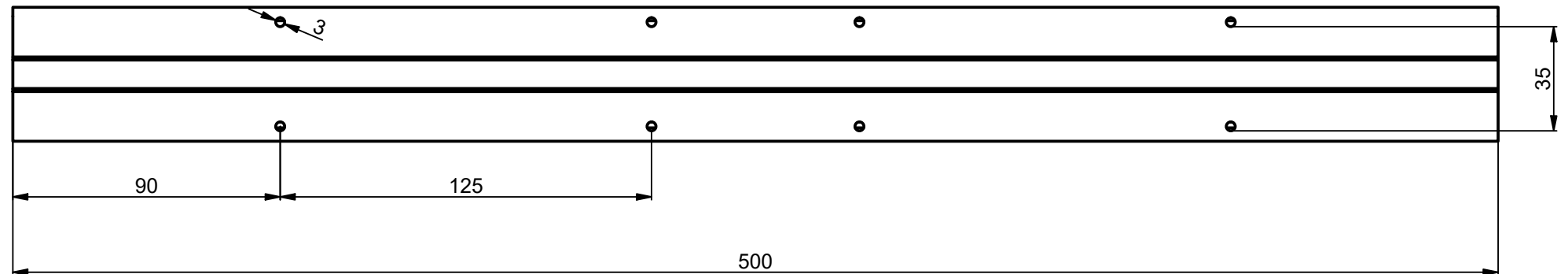
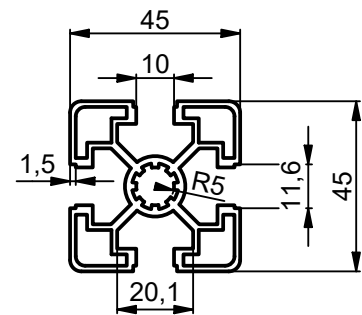
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés			
COMPROBADO					
ESCALA: 1:1	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 5.3 SOPORTE VENTILADOR PLACA BASE				Nº DE PLANO 23 / 75
					SUSTITUYE A:
					SUSTITUIDO POR:



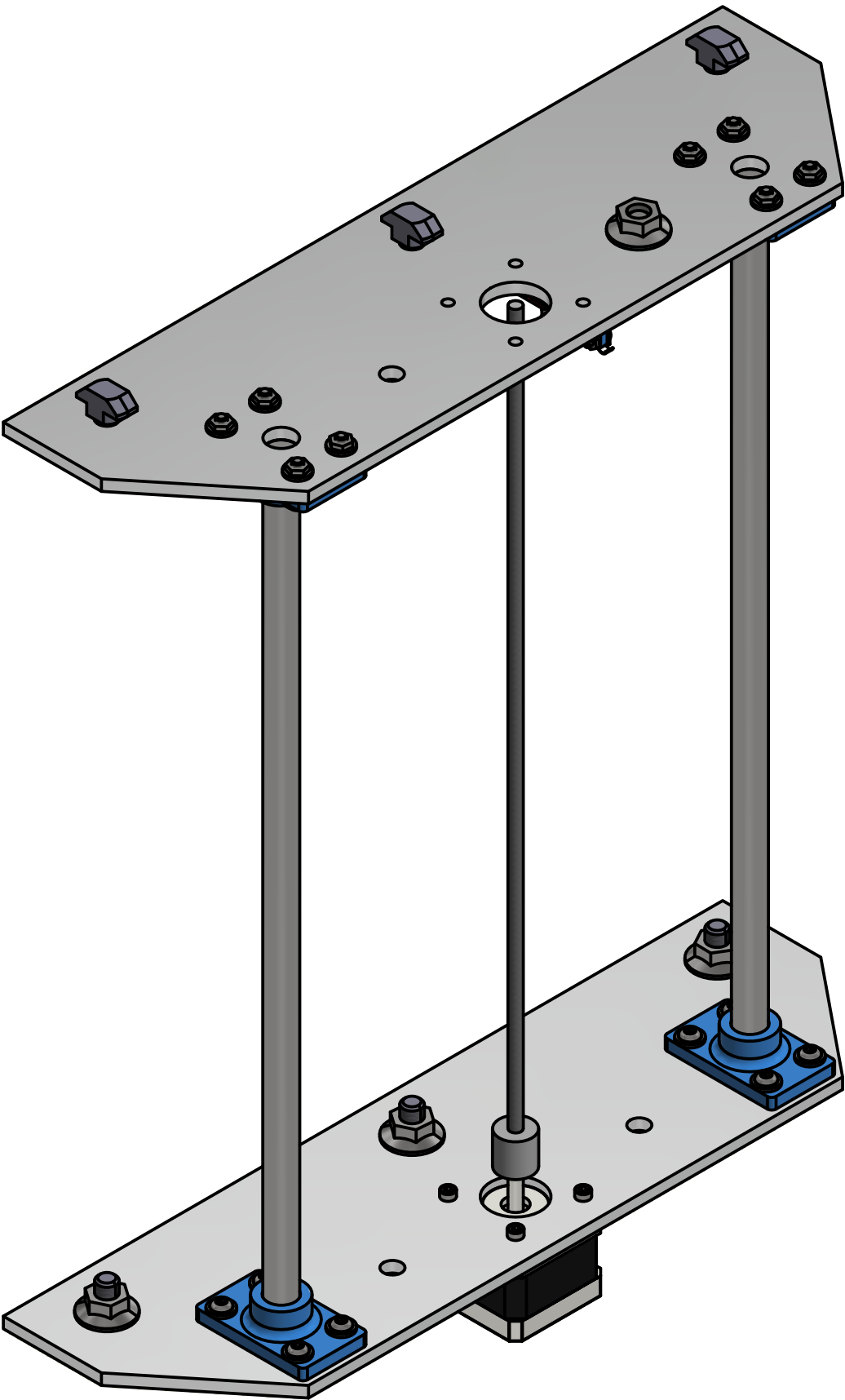
1	5	PERFIL ALUMINIO 45X45 L755 MM	FASTEN 5021	
2	4	PERFIL ALUMINIO 45X45 L625 MM	FASTEN 5021	
3	4	PERFIL ALUMINIO 45X45 L500 MM	FASTEN 5021	
4	6	ESCUADRA 84x84x40	FASTEN 53121	
5	64	TORNILLO CABEZA DE MARTILLO M8 L25 MM	FASTEN 525025	
6	24	ESCUADRA 42X42X42	FASTEN 5330	
7	64	TUERCA BRIDA M8 MM	FASTEN 525025	
8	2	8.8 ESCUADRA 84x84x40 MODIFICADA	FASTEN 53121	
9	2	8.9 PERFIL ALUMINIO 45X45 L500 MM MODIFICADO	FASTEN 5021	
10	4	PIES DE BASE POLIAMIDA M8 L25 MM	FASTEN 540136825	
Marca	Ctd.	Designación	Descripción	
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA:	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D FDM ESTRUCTURA PRINCIPAL			Nº DE PLANO
1:10				24 / 75
				SUSTITUYE A:
			SUSTITUIDO POR:	



	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:1	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 8.8 ESCUADRA 84X84X40 MODIFICADA			Nº DE PLANO 25 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:

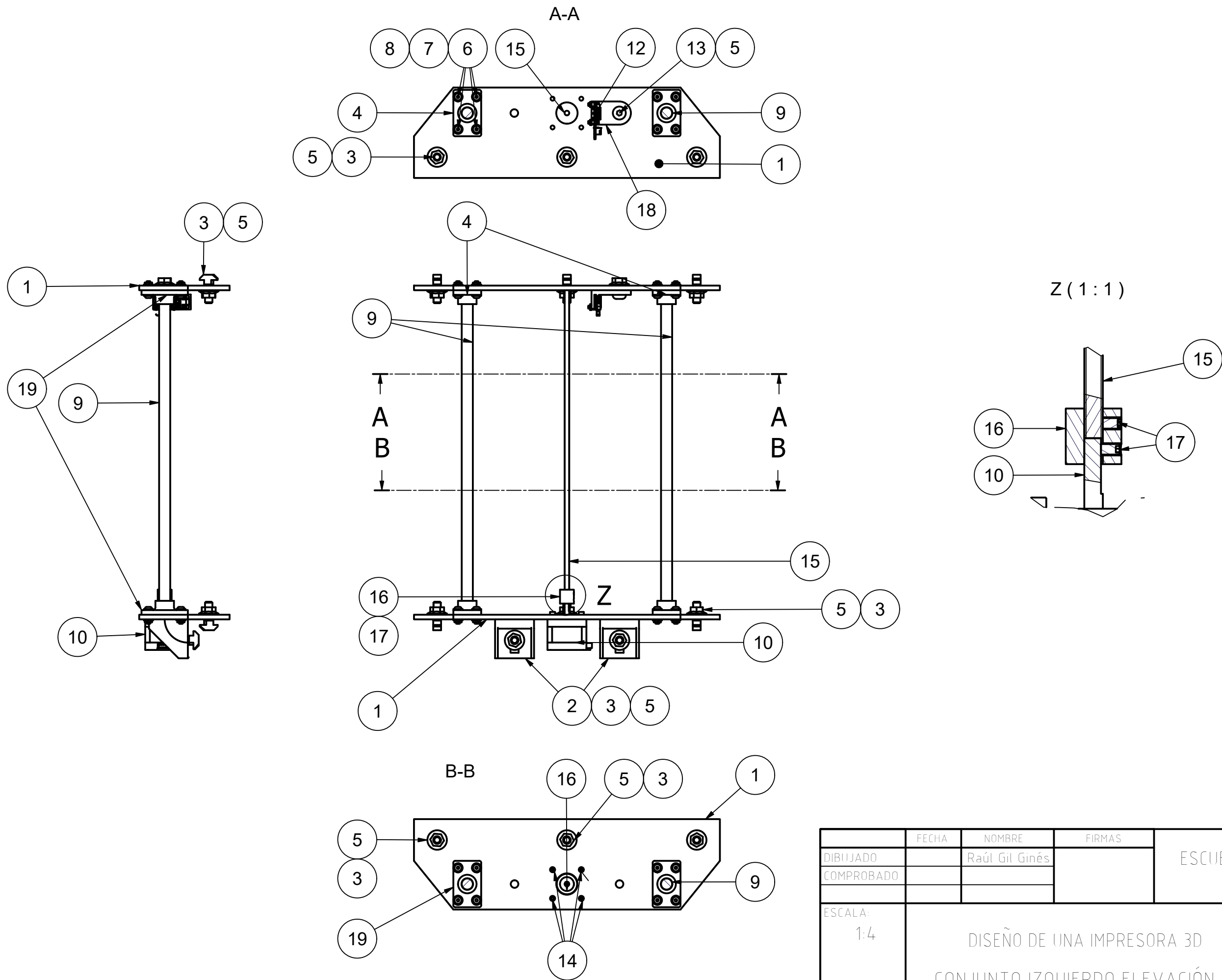


	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:2	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 8.9 PERFIL ALUMINIO 45X45 L500 MM MODIFICADO			Nº DE PLANO 26 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:

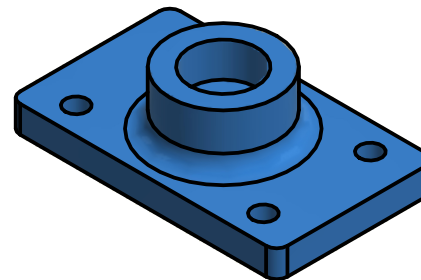
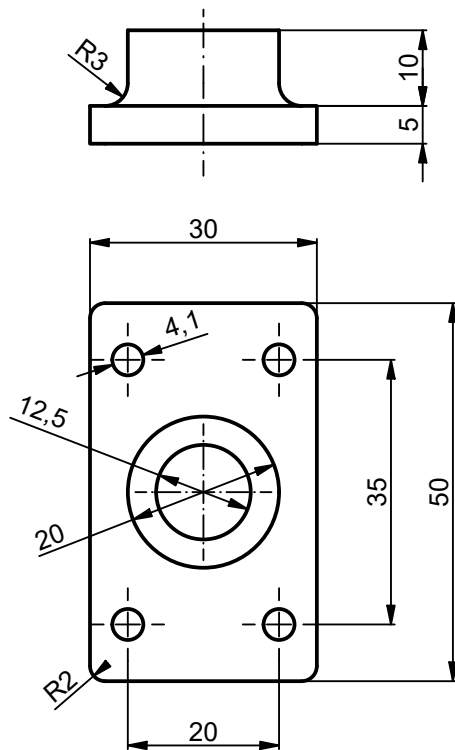


19	2	9.4 - 10.4 SOPORTE VARILLA GUÍA	PLA
1	2	10.1- 9.1 SOPORTE ALUMINIO	FABRICACIÓN EN LABORATORIOS
2	2	ESCUADRA 42X42X42	FASTEN 5330
3	8	TORNILLO CABEZA DE MARTILLO M8 L25 MM	FASTEN 525025
4	2	SOPORTE VARILLA GUÍA	PLA
5	9	TUERCA BRIDA M8 MM	FASTEN 525025
6	16	JIS B 1174 - M4 x 16	Tornillos de cabeza cilíndrica abombada con hueco hexagonal
7	32	ANSI B18.22M - 4 N	Arandelas métricas planas
8	16	BS 4183 - M4	Tornillos para maquinaria y tuercas de tornillos para maquinaria. Serie métrica
9	2	VARILLA LISA ACERO M12MM L350 MM	ALIEXPRESS
10	1	MOTOR PASO A PASO NEMA 17 17HS19-2004S1	COMERCIAL
11	1	ANSI B18.22M - 3 R	Arandelas métricas planas
12	2	INTERRUPTOR FINAL DE CARRERA	*Varía*
13	1	JIS B 1174 - M8 x 16	Tornillos de cabeza cilíndrica abombada con hueco hexagonal
14	4	ANSI B18.3.1M - M3x0,5 x 20, BSHCSM	Tornillo brochado de cabeza hueca - Métrico
15	1	VARILLA ROSCADA UNIFICADA M5 L335 MM	PASO 0.8 MM ROSCA SIMPLE
16	1	ACOPLE SÓLIDO	FABRICACIÓN EN LABORATORIOS
17	2	TORNILLO ACOPLE SÓLIDO M3	
18	1	9.18 SOPORTE FINAL DE CARRERA EJE Z	FABRICACIÓN EN LABORATORIOS

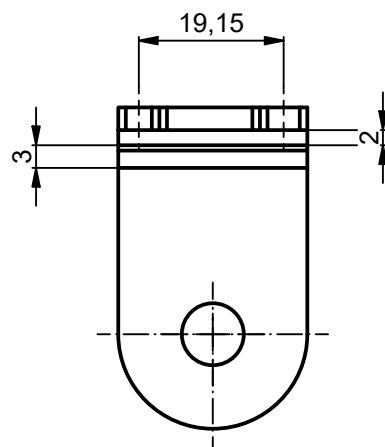
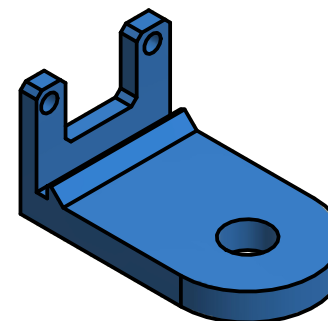
Marca	Ctd.	Designación			Descripción
		FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO			Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO					
ESCALA:	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D CONJUNTO IZQUIERDO ELEVACIÓN Z				Nº DE PLANO
1:2					27 / 75
					SUSTITUYE A:
					SUSTITUIDO POR:



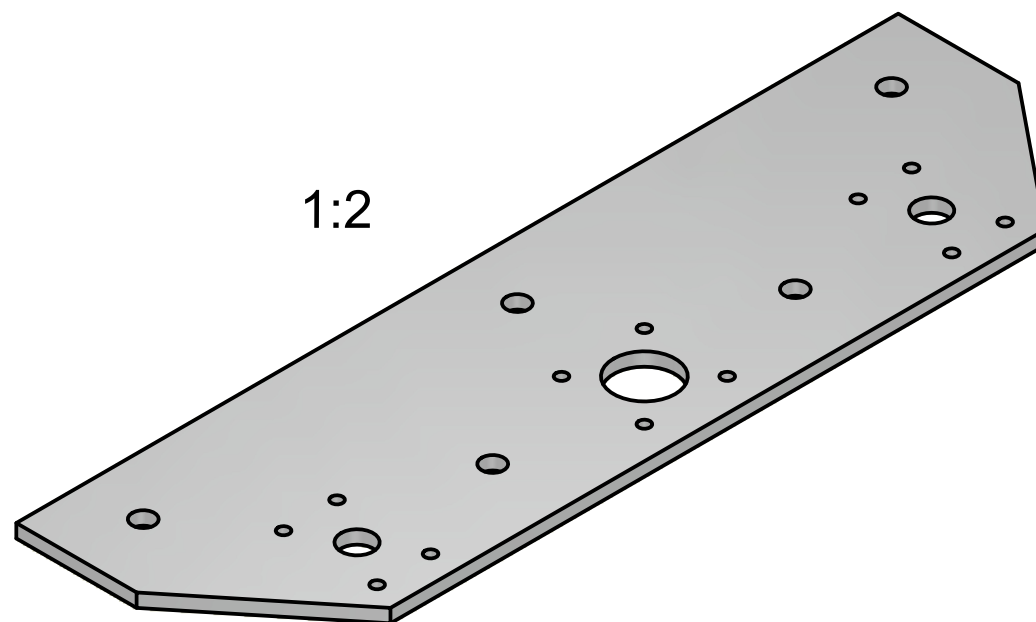
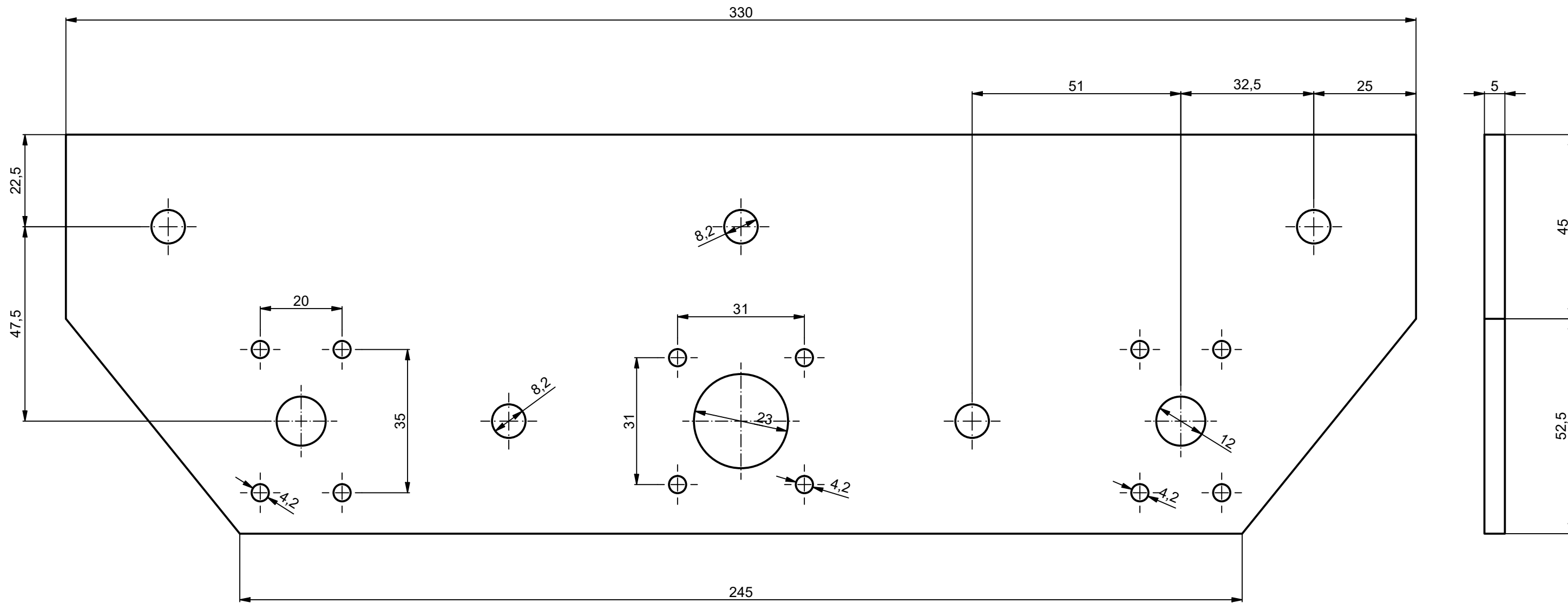
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:4	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D CONJUNTO IZQUIERDO ELEVACIÓN Z			Nº DE PLANO 28 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



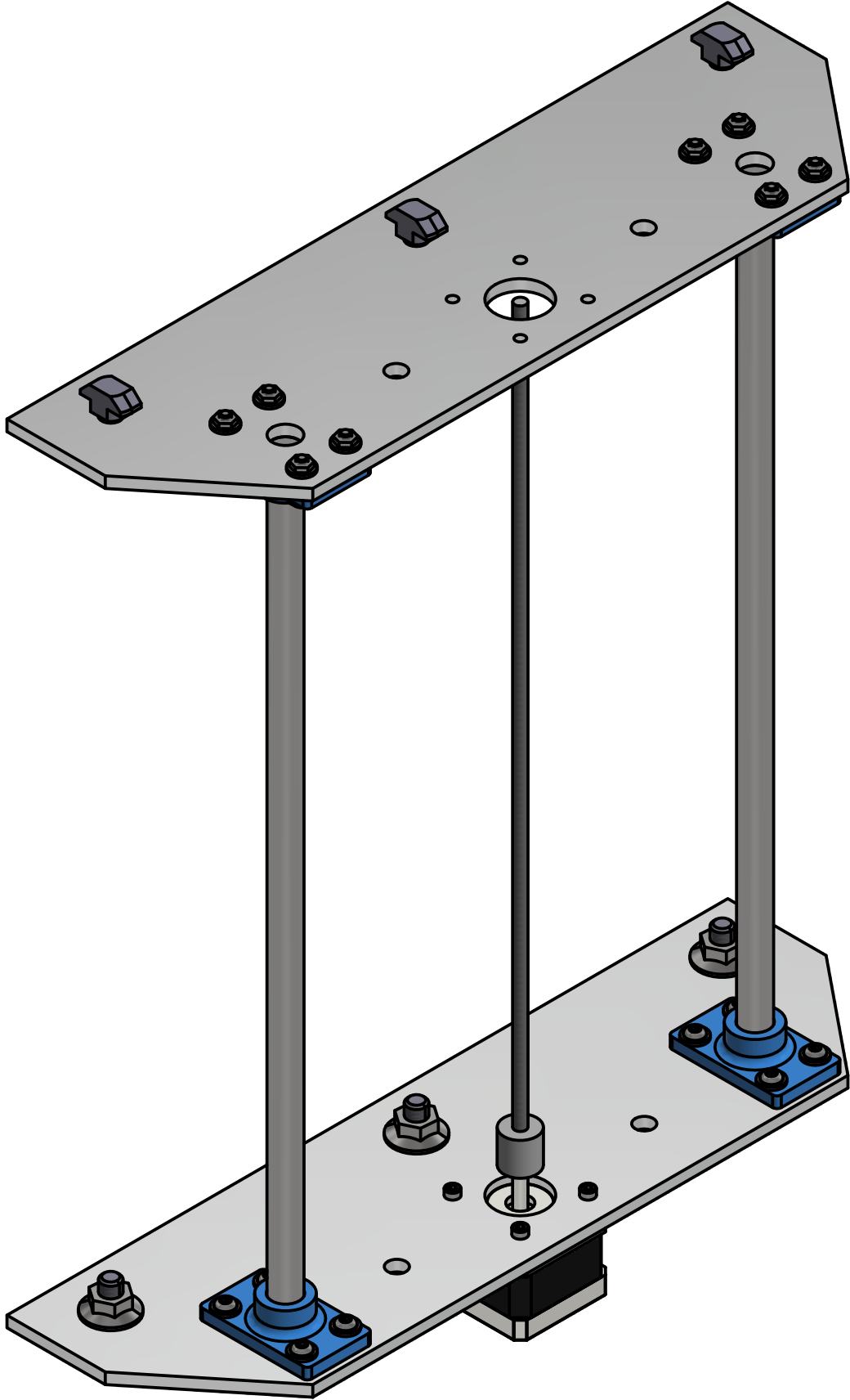
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:1	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 9.4 – 10.4 SOPORTE VARILLA GUÍA			Nº DE PLANO 29 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:1	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 9.18 SOPORTE FINAL DE CARRERA EJE Z			Nº DE PLANO 30 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:

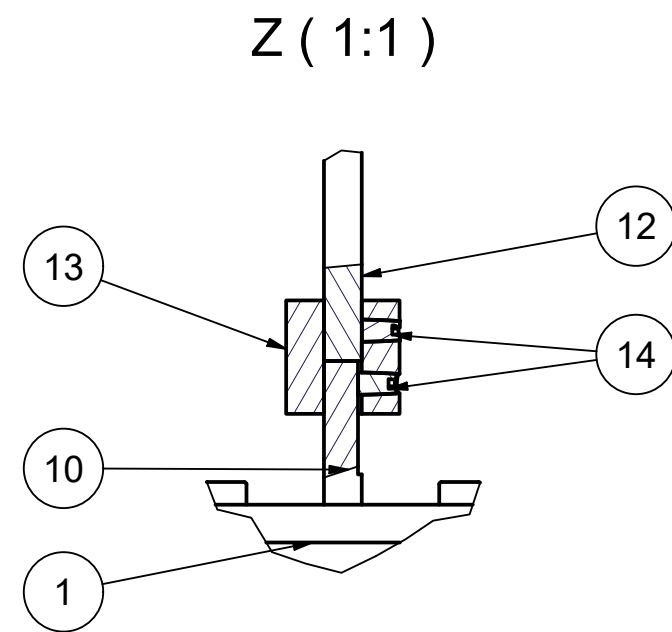
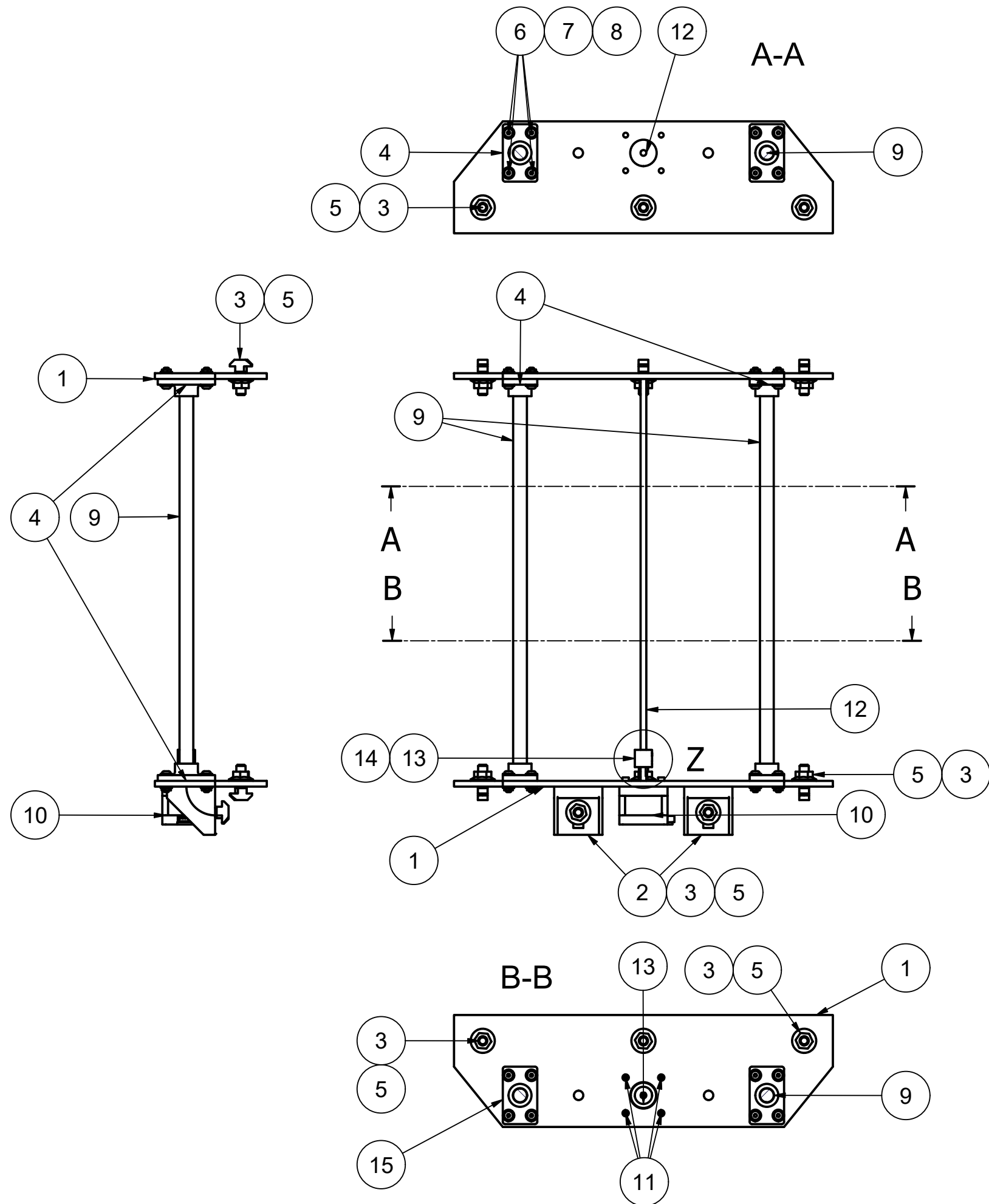


	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:1	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 10.1- 9.1 SOPORTE ALUMINIO			Nº DE PLANO 31 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:

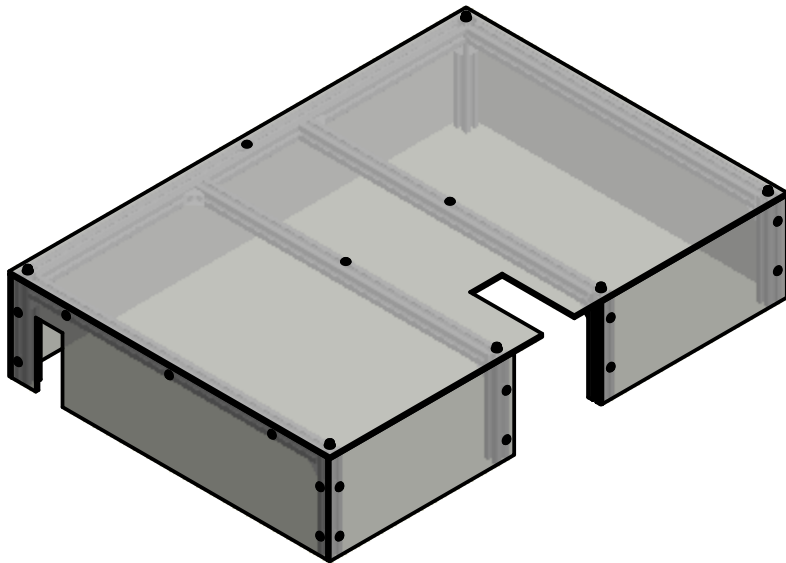
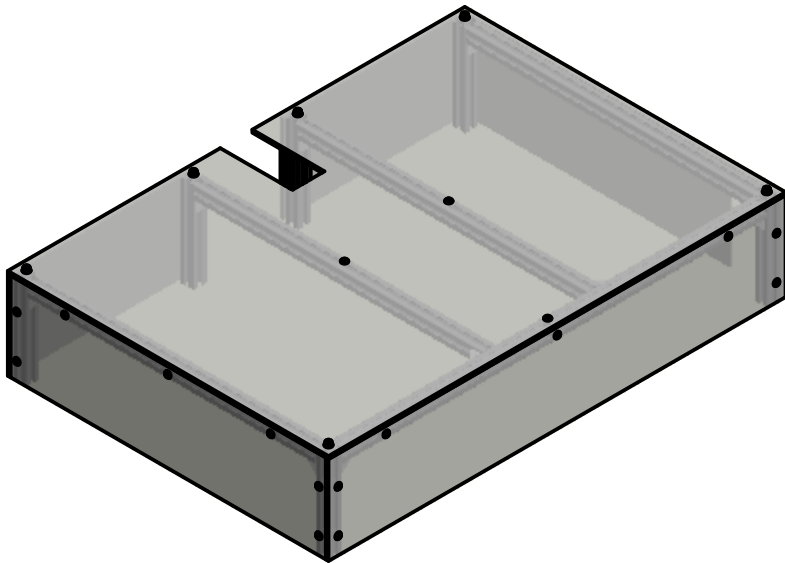


1	2	10.1- 9.1 SOPORTE ALUMINIO	FABRICACIÓN EN LABORATORIOS
2	2	ESCUADRA 42X42X42	FASTEN 5330
3	8	TORNILLO CABEZA DE MARTILLO M8 L25 MM	FASTEN 525025
4	2	SOPORTE VARILLA GUÍA	PLA
5	8	TUERCA BRIDA M8 MM	FASTEN 525025
6	16	JIS B 1174 - M4 x 16	Tornillos de cabeza cilíndrica abombada con hueco hexagonal
7	33	ANSI B18.22M - 4 N	Arandelas métricas planas
8	16	BS 4183 - M4	Tornillos para maquinaria y tuercas de tornillos para maquinaria. Serie métrica
9	2	VARILLA LISA ACERO M12MM L350 MM	ALIEXPRESS
10	1	MOTOR PASO A PASO NEMA 17 17HS19-2004S1	COMERCIAL
11	4	ANSI B18.3.1M - M3x0,5 x 20, BSHCSM	Tornillo brochado de cabeza hueca - Métrico
12	1	VARILLA ROSCADA UNIFICADA M5 L335 MM	PASO 0.8 MM ROSCA SIMPLE
13	1	ACOPLE SÓLIDO	FABRICACIÓN EN LABORATORIOS
14	2	TORNILLO ACOPLE SÓLIDO M3	

Marca	Ctd.	Designación			Descripción
		FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO			Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO					
ESCALA:	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D CONJUNTO IDERECHO ELEVACIÓN Z				Nº DE PLANO
1:2					32 / 75
					SUSTITUYE A:
					SUSTITUIDO POR:

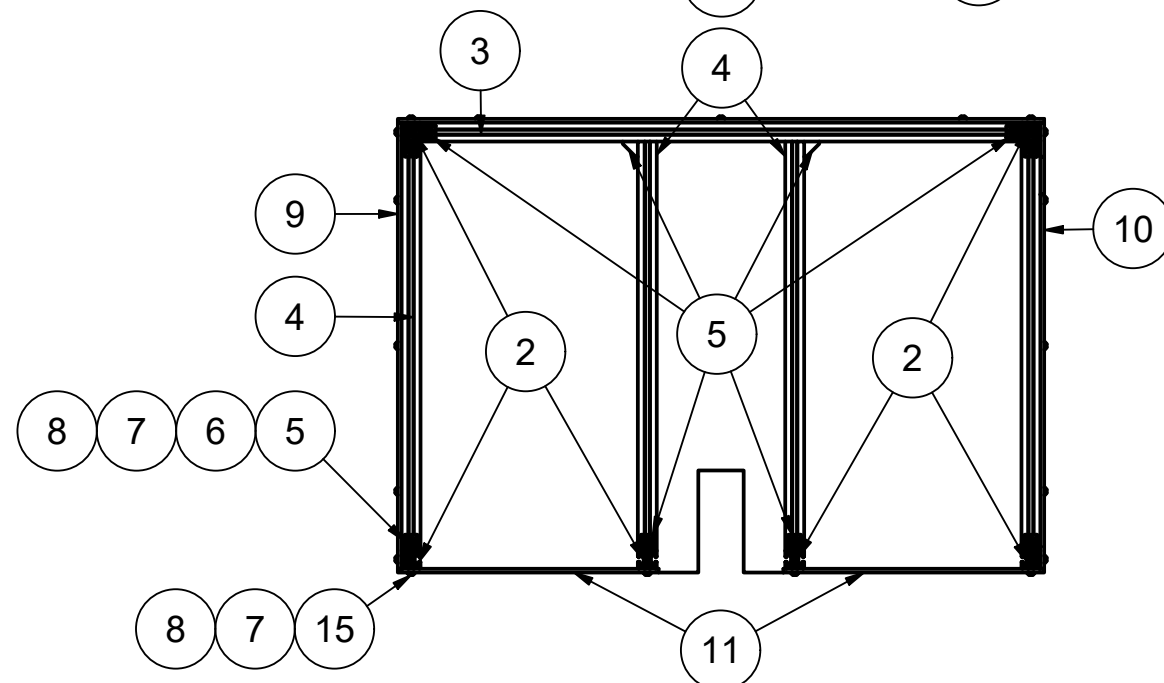
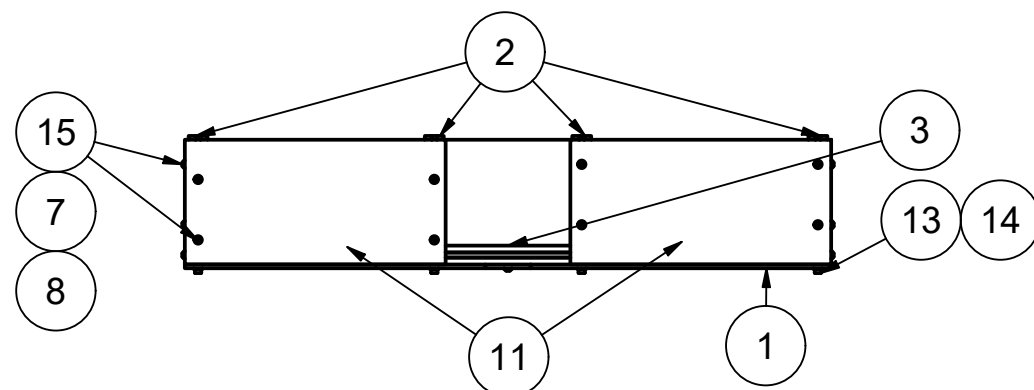
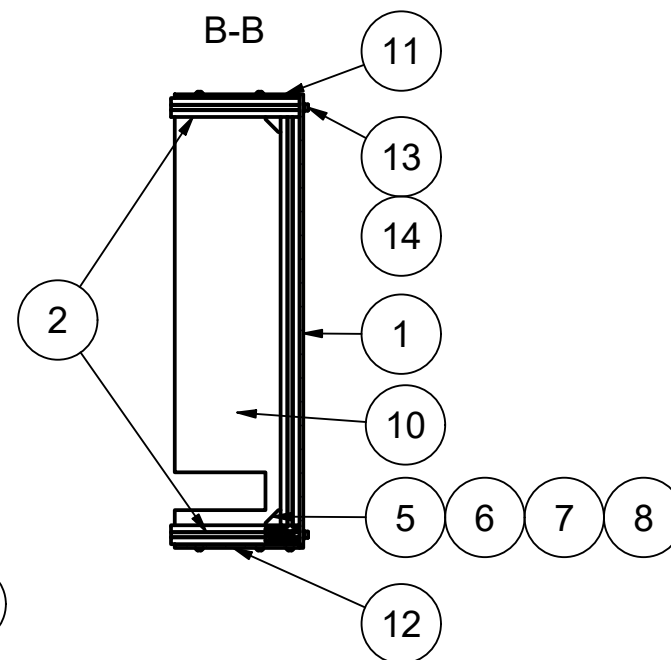
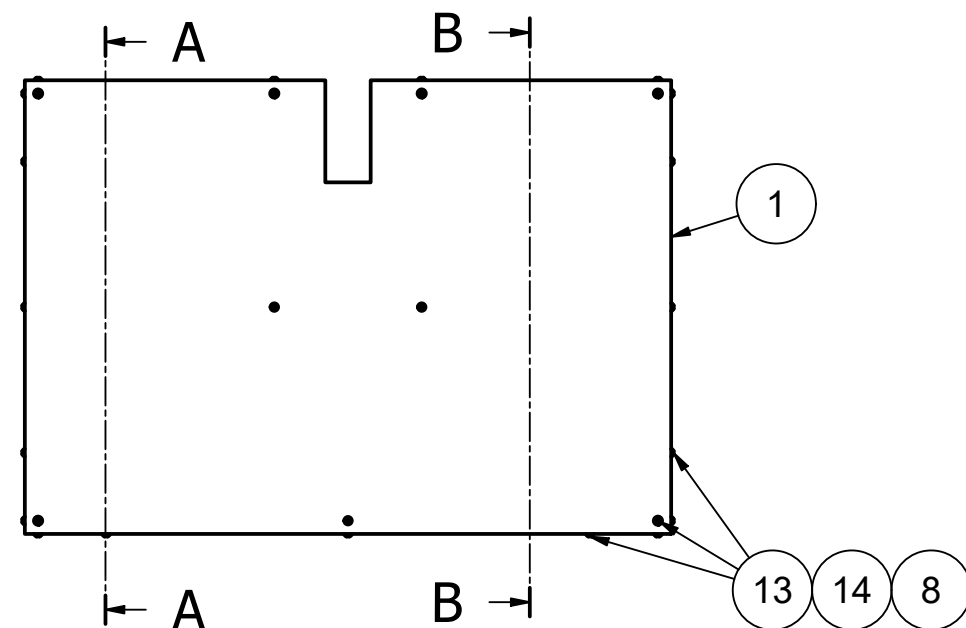
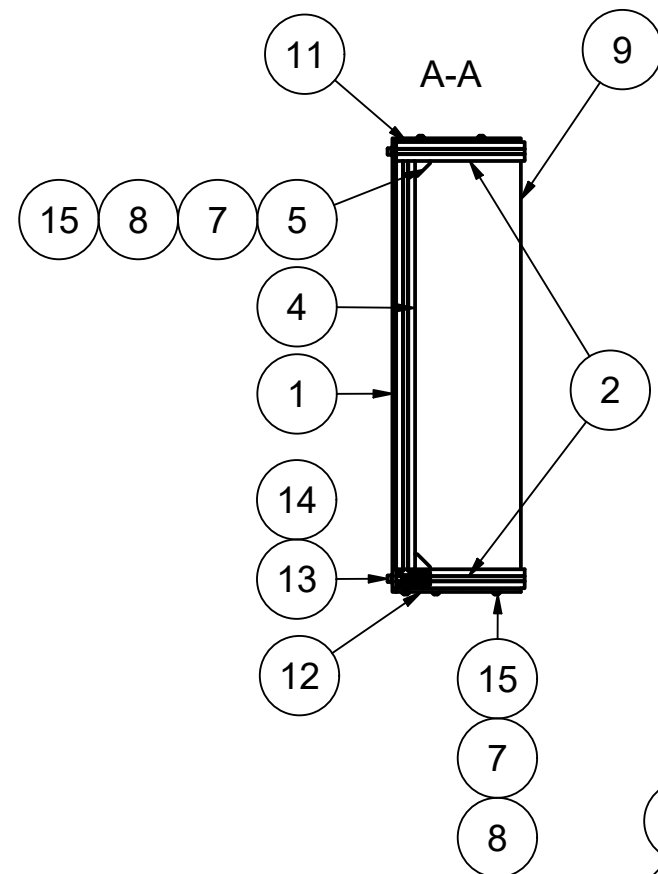
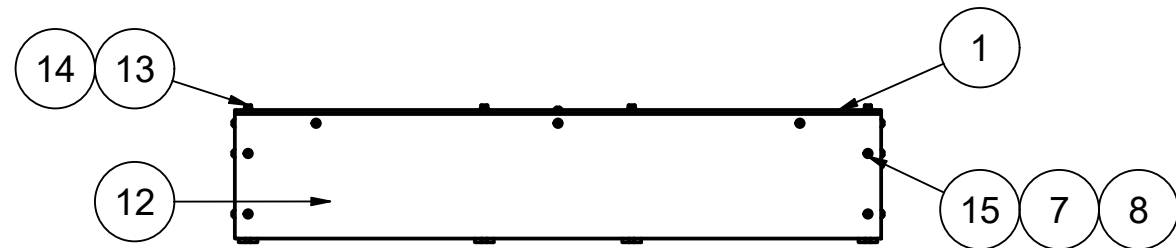


	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:4	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D CONJUNTO DERECHO ELEVACIÓN Z			Nº DE PLANO 33 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:

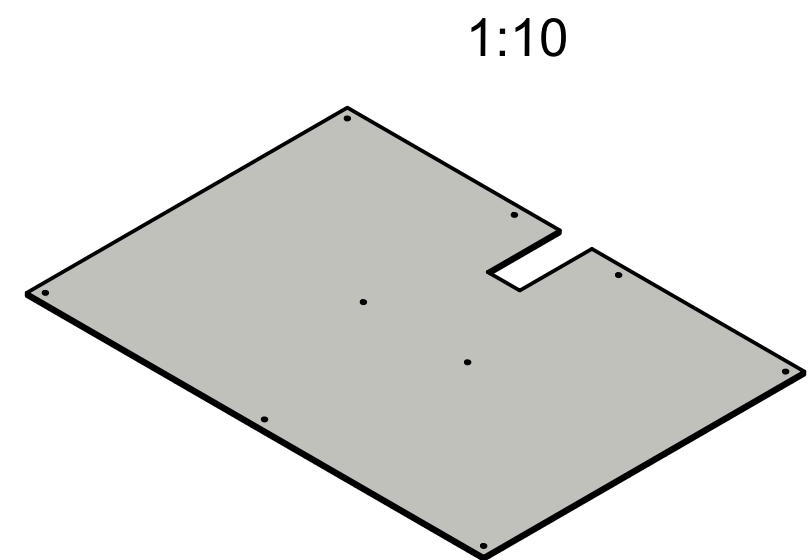
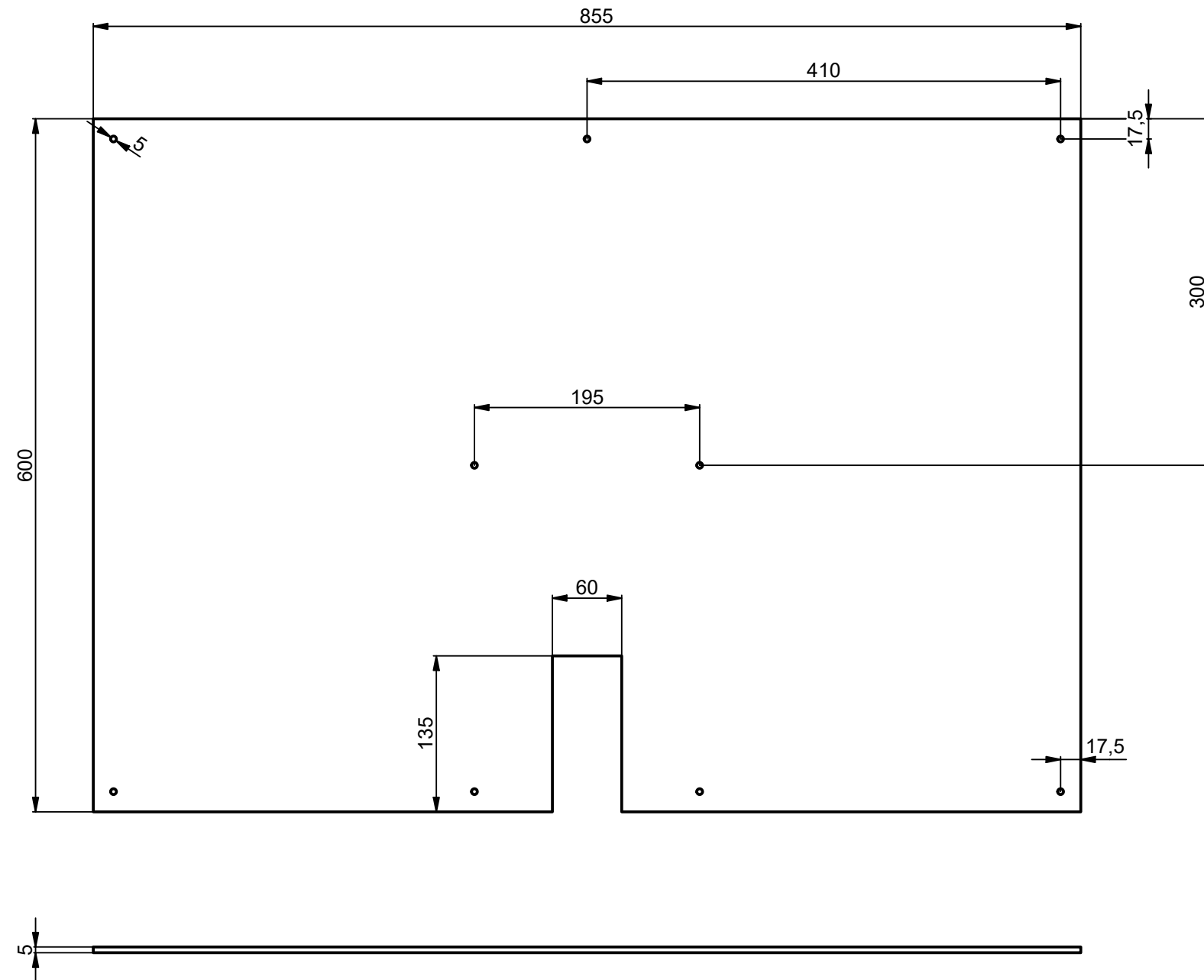


1	1	11.1 PANEL TAPA	METACRILATO
2	6	PERFIL ALUMINIO 25X250 L170 MM	FASTEN 5011
3	1	barra 845 tapa	
4	4	PERFIL ALUMINIO 25X25 L540 MM	FASTEN 5011
5	10	ESCUADRA 20x20x17	FASTEN 53301
6	21	JIS B 1174 - M4 x 10	Tornillos de cabeza cilíndrica abombada con hueco hexagonal
7	52	ANSI B18.22M - 4 N	Arandelas métricas planas
8	51	TUERCA CUADRADA M4 CANAL 6 MM	FASTEN 52084
9	1	11.9 PANEL LATERAL IZQUIERDO	METACRILATO
10	1	11.10 PANEL LATERAL DERECHO	METACRILATO
11	2	11.11 PANEL POSTERIOR	METACRILATO
12	1	11.12 PANEL FRONTAL	METACRILATO
13	6	ANSI B18.3.1M - M5x0,8 x 16, BSHCSM	Tornillo brochado de cabeza hueca - Métrico
14	6	ANSI B18.22M - 5 N	Arandelas métricas planas
15	31	JIS B 1174 - M4 x 12	Tornillos de cabeza cilíndrica abombada con hueco hexagonal

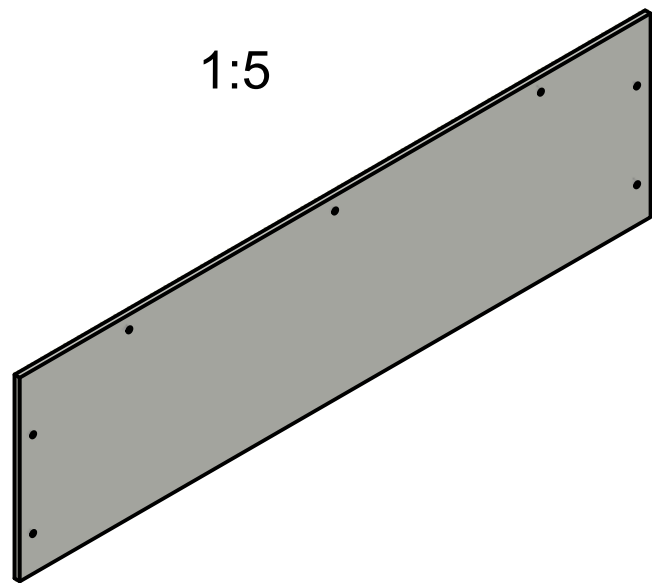
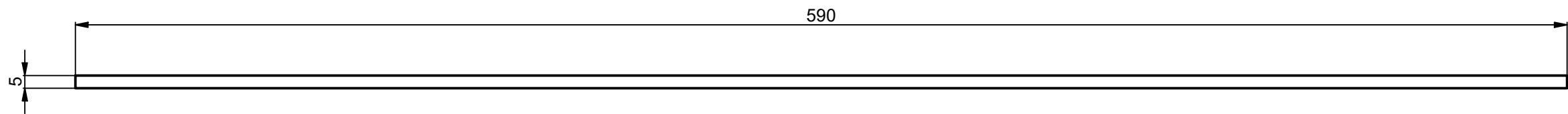
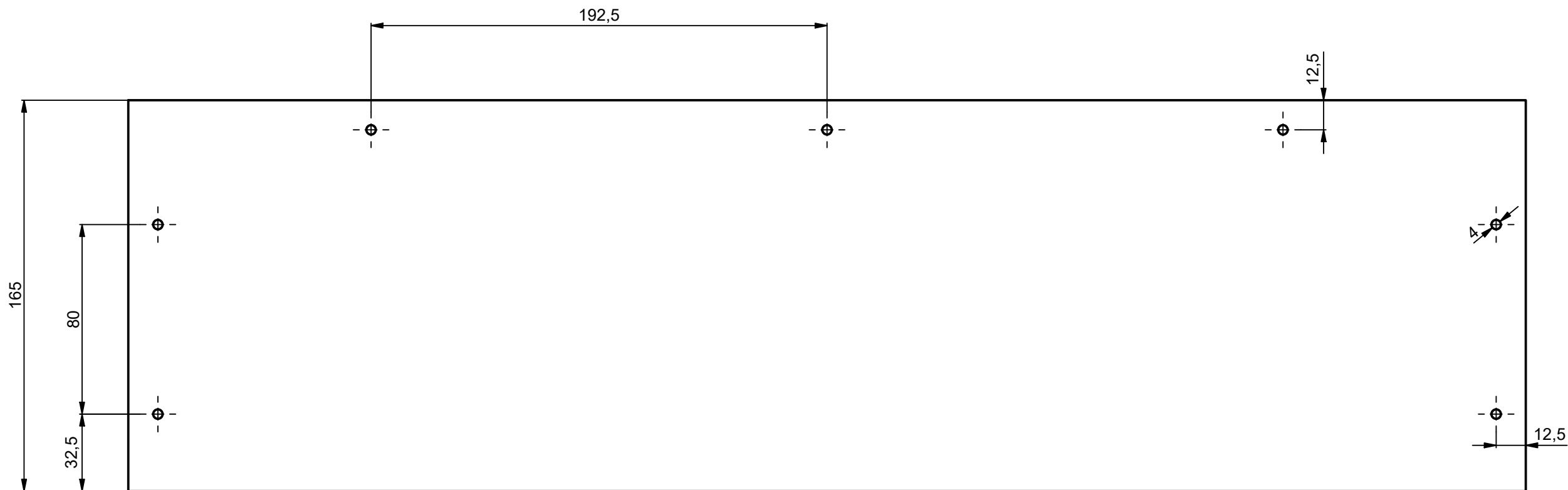
Marca	Ctd.	Designación			Descripción
		FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO			Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO					
ESCALA: 1:10		DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D LISTA DE PIEZAS AISLAMIENTO SUPERIOR			Nº DE PLANO 34 / 75
					SUSTITUYE A:
					SUSTITUIDO POR:



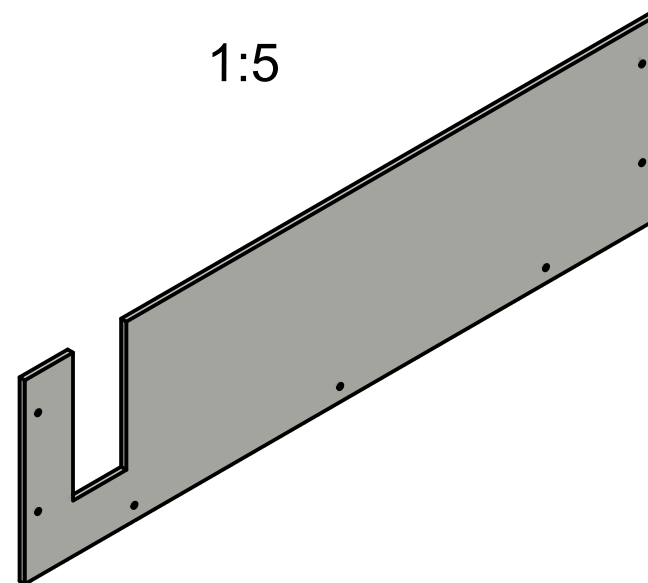
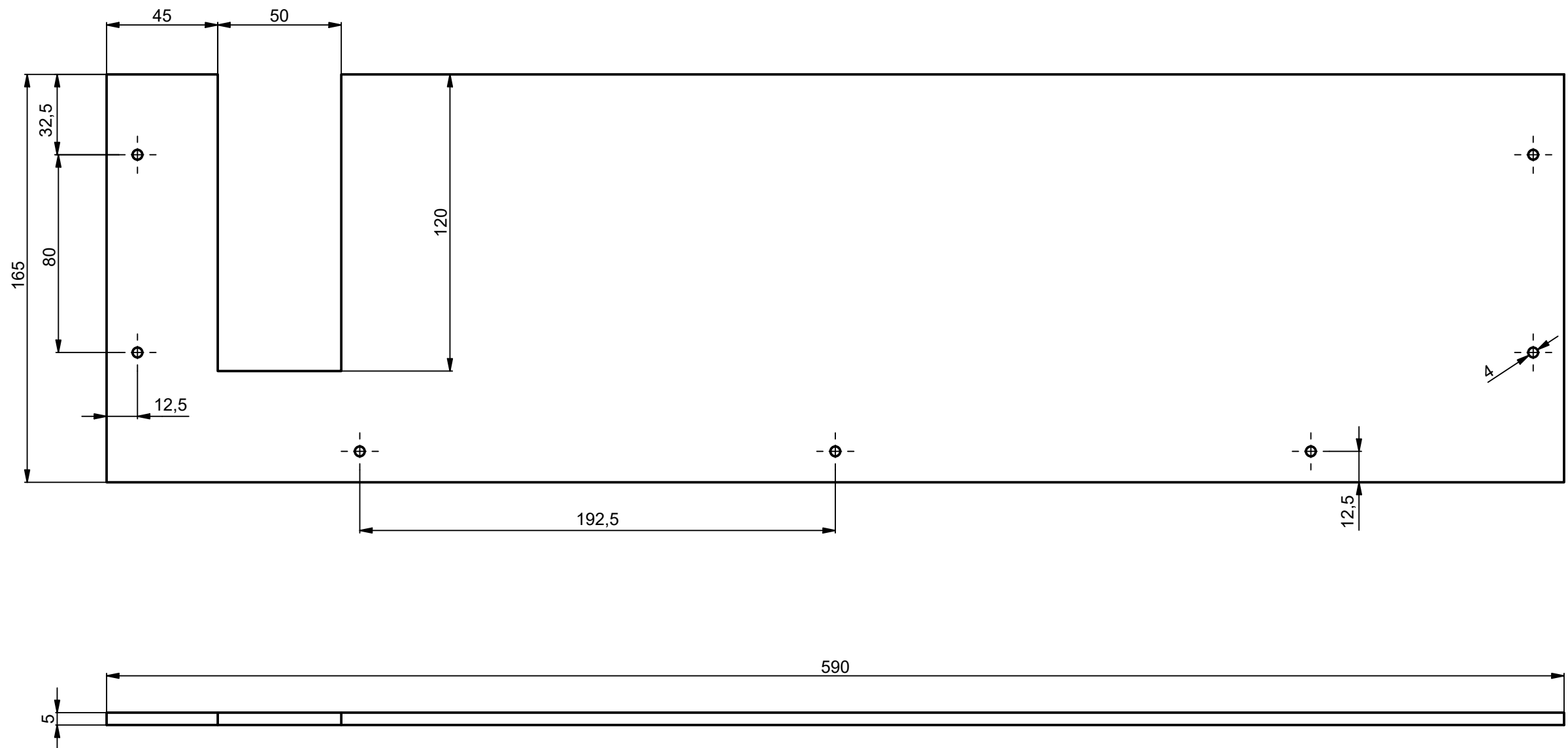
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:10	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D CONJUNTO AISLAMIENTO SUPERIOR			Nº DE PLANO 35 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



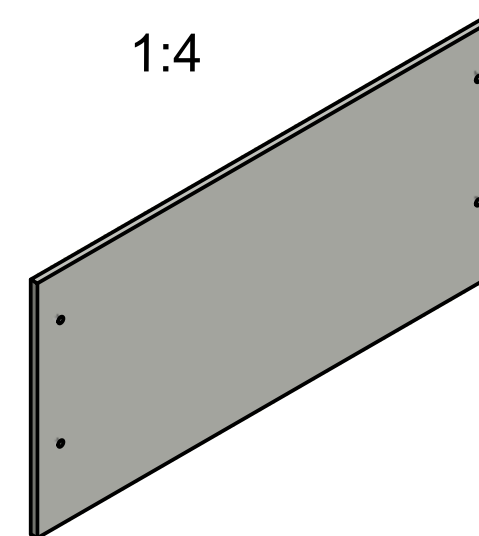
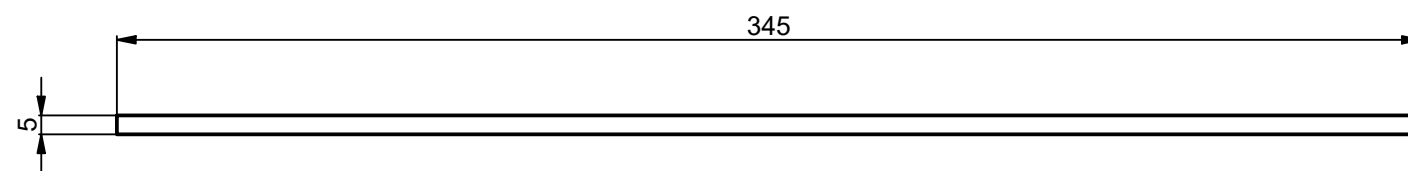
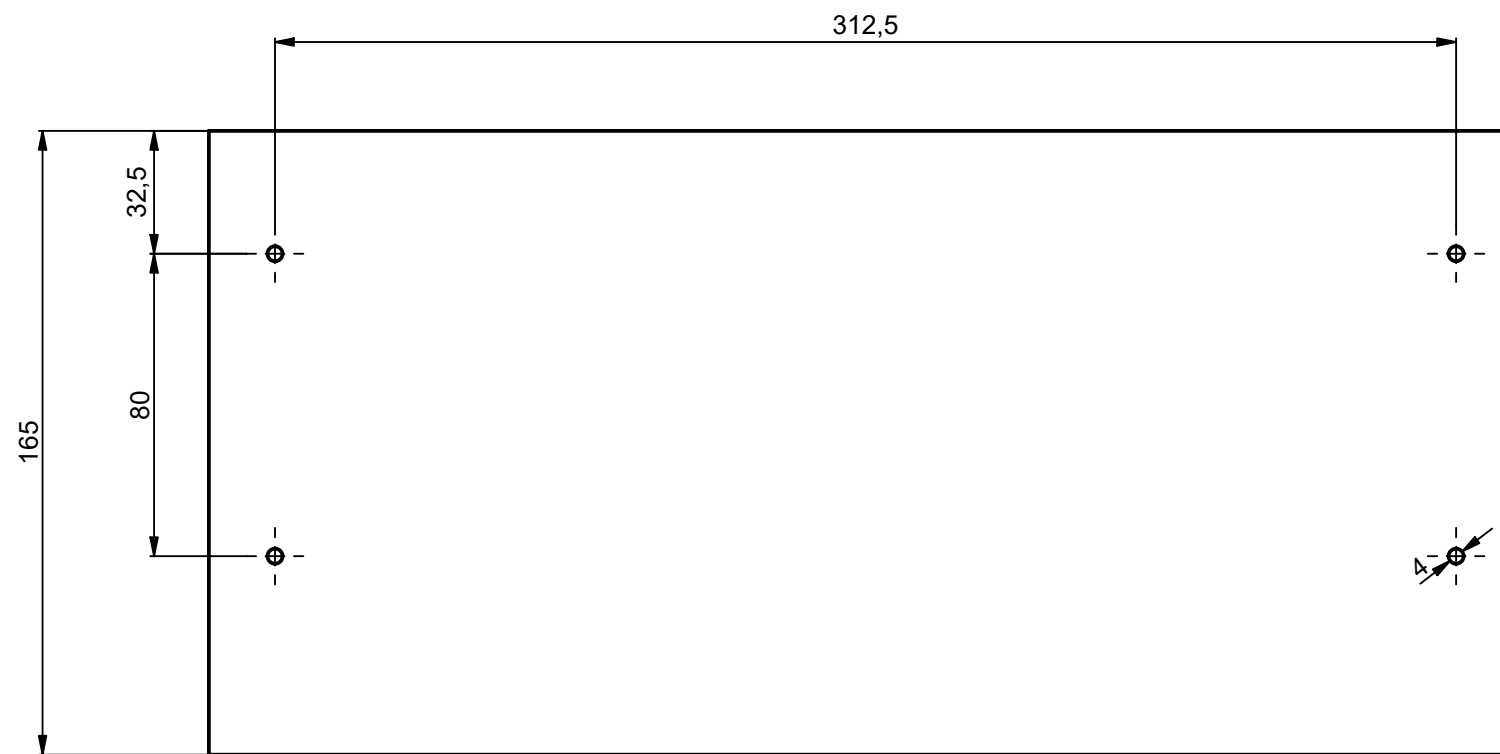
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:5	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 11.1 PANEL TAPA			Nº DE PLANO 36 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



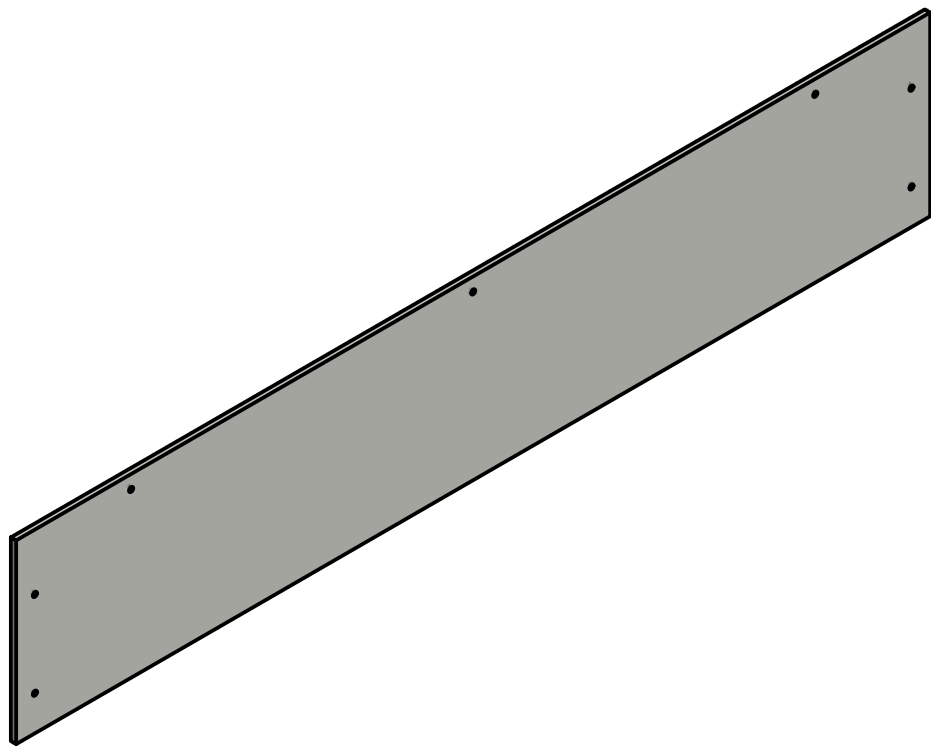
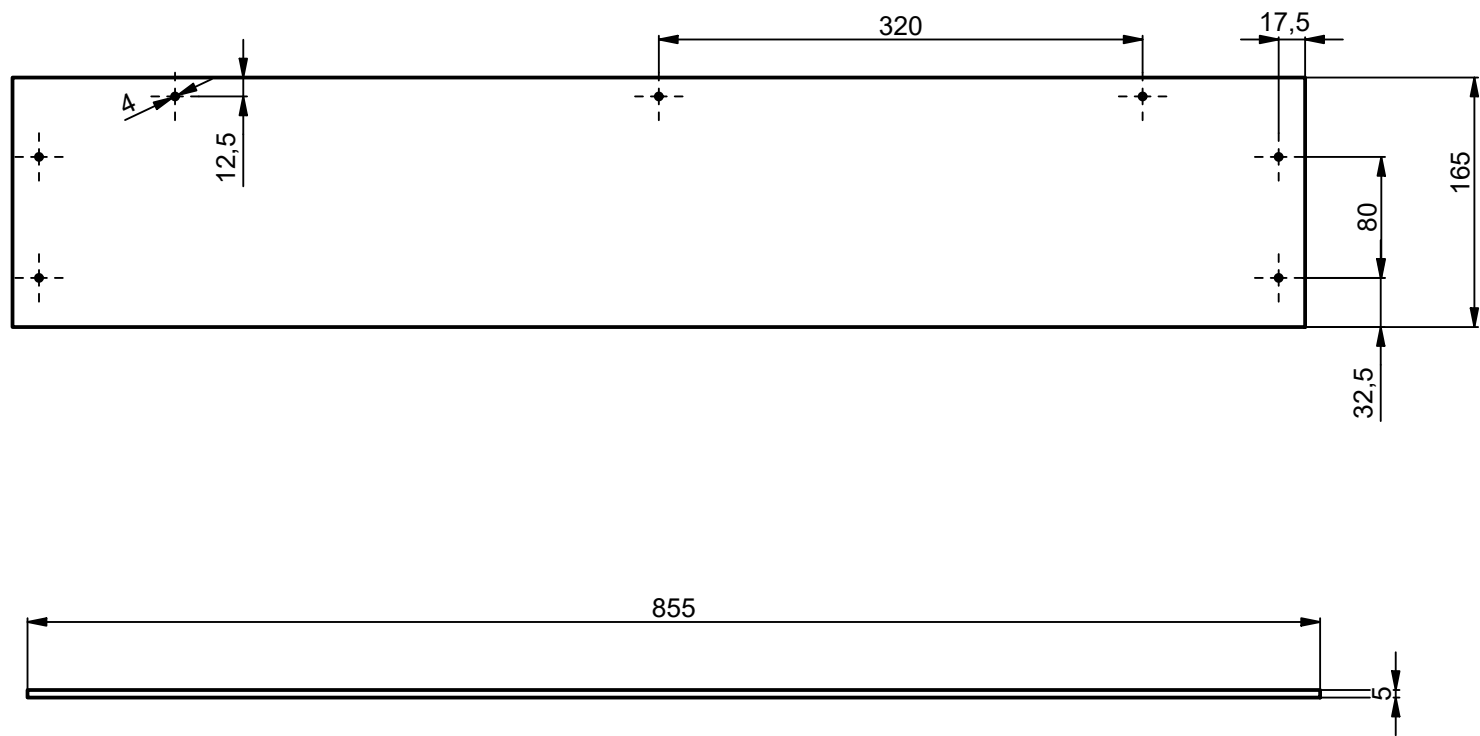
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:2	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 11.9 PANEL LATERAL IZQUIERDO			Nº DE PLANO 37 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



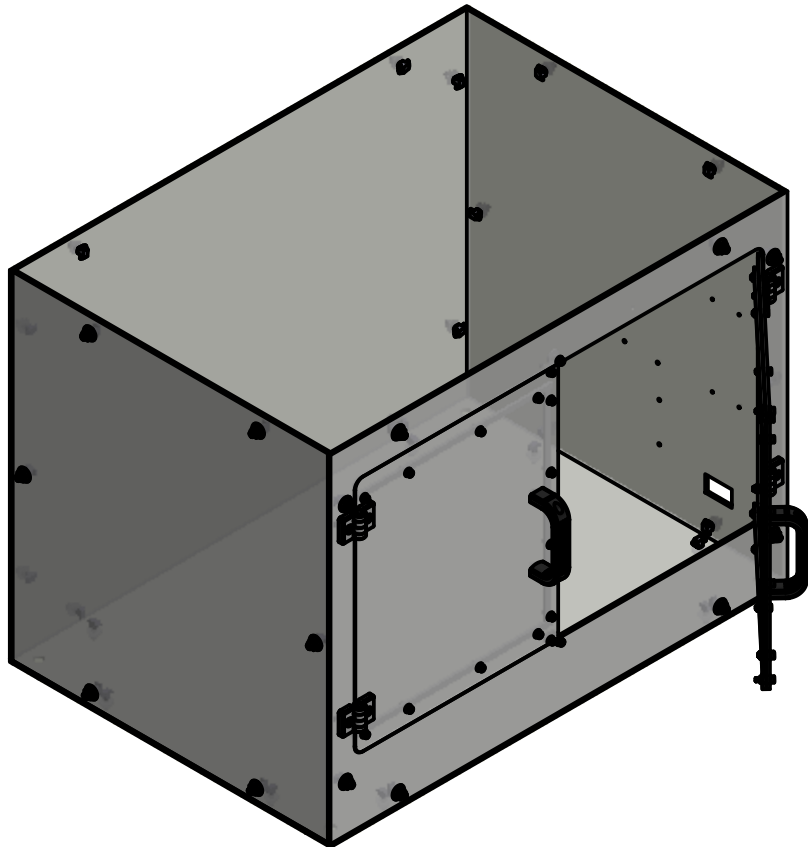
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:2	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 11.10 PANEL LATERAL DERECHO			Nº DE PLANO 38 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:2	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 11.11 PANEL POSTERIOR			Nº DE PLANO 39 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:

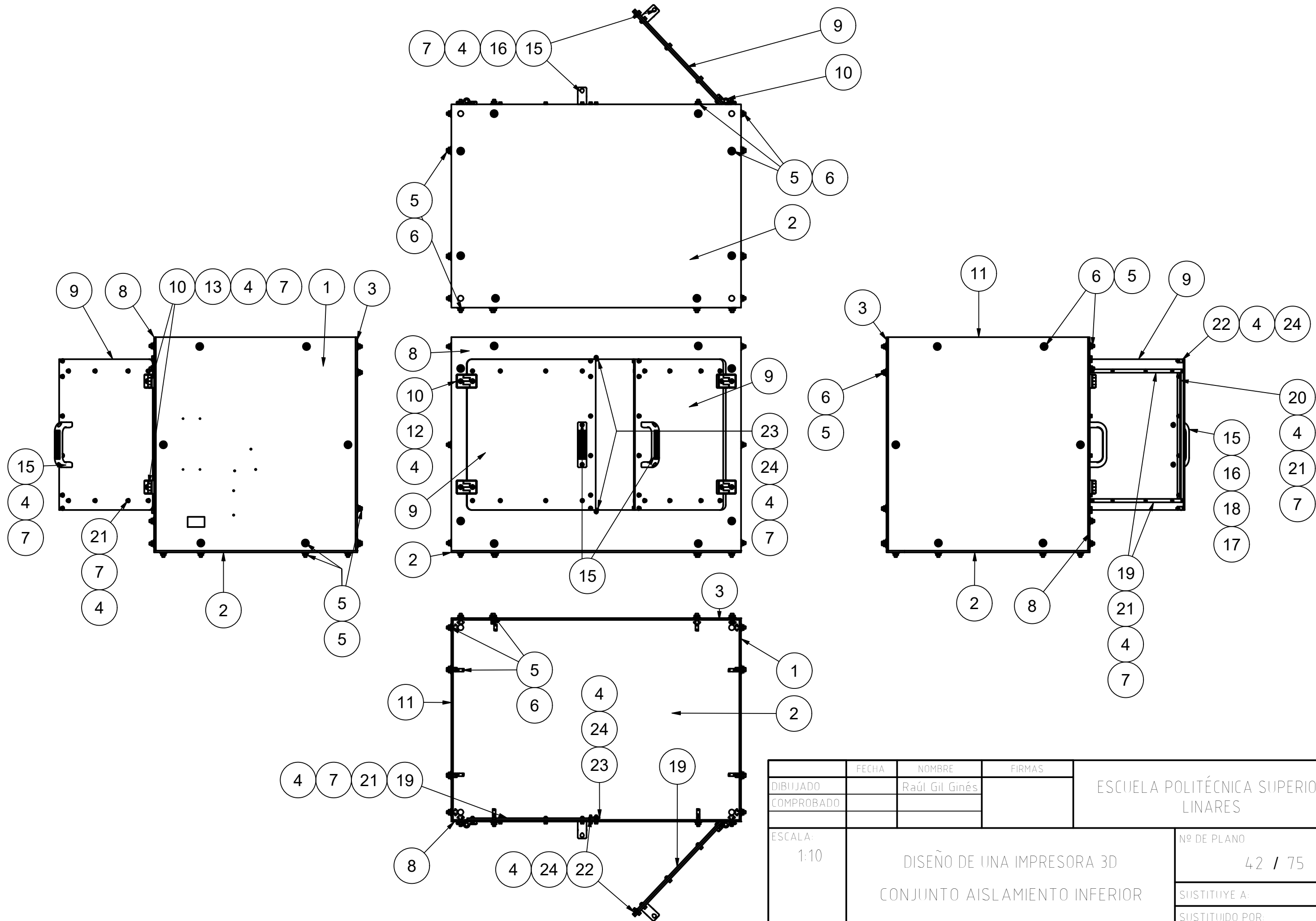


	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:5	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 11.12 PANEL FRONTAL			Nº DE PLANO 40 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:

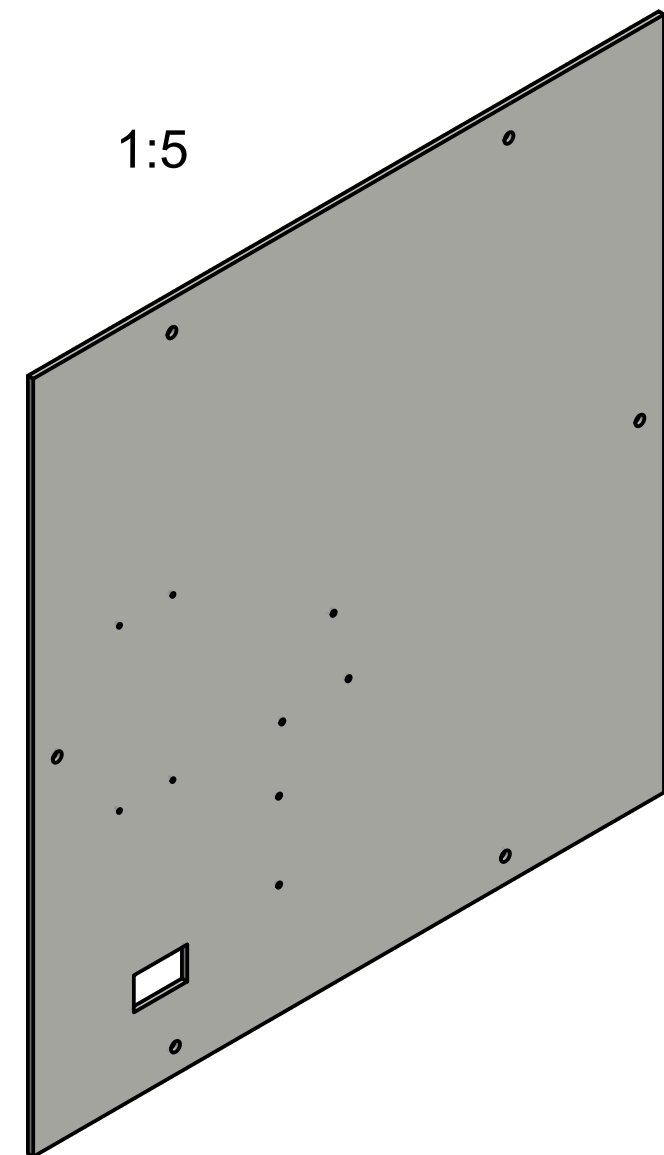


1	1	12.1 PANEL LATERAL DERECHO	METACRILATO
2	1	12.2 PANEL SUELO	METACRILATO
3	1	12.3 PANEL POSTERIOR	METACRILATO
4	38	BS 4183 - M5	Tornillos para maquinaria y tuercas de tornillos para maquinaria. Serie métrica
5	36	TORNILLO CABEZA DE MARTILLO M8 L25 MM	FASTEN 525025
6	36	TUERCA BRIDA M8 MM	FASTEN 525025
7	34	ANSI B18.22M - 5 N	Arandelas métricas planas
8	1	12.8 PANEL FRONTAL	METACRILATO
9	2	12.9 PANEL PUERTA	METACRILATO
10	12	BISAGRA 40X50	FASTEN 5607
11	1	12.11 PANEL LATERAL IZQUIERDO	METACRILATO
12	4	ASME/ANSI B18.3.5M - M5x25(1)	Tornillos forjados de cabeza plana avellanada con hueco hexagonal - Métricos
13	4	ASME/ANSI B18.3.5M - M5x20(1)	Tornillos forjados de cabeza plana avellanada con hueco hexagonal - Métricos
14	4	tuerca martillo M5 ranura 8	
15	2	TIRADOR EN U	FASTEN 5626
16	4	ANSI B18.3.1M - M6x1 x 20, BSHCSM	Tornillo brochado de cabeza hueca - Métrico
17	4	BS 4183 - M6	Tornillos para maquinaria y tuercas de tornillos para maquinaria. Serie métrica
18	4	ANSI B18.22M - 6 N	Arandelas métricas planas
19	4	12.19 PERFIL HUECO ALUMINIO 5X10 L 375MM	
20	2	12.20 PERFIL HUECO ALUMINIO 5X10 L 370.5 MM	
21	24	ANSI B18.3.1M - M5x0,8 x 16, BSHCSM	Tornillo brochado de cabeza hueca - Métrico
22	4	HIERRO PARA IMÁN PUERTA	
23	2	IMÁN	
24	6	ANSI B18.3.1M - M5x0,8 x 20, BSHCSM	Tornillo brochado de cabeza hueca - Métrico

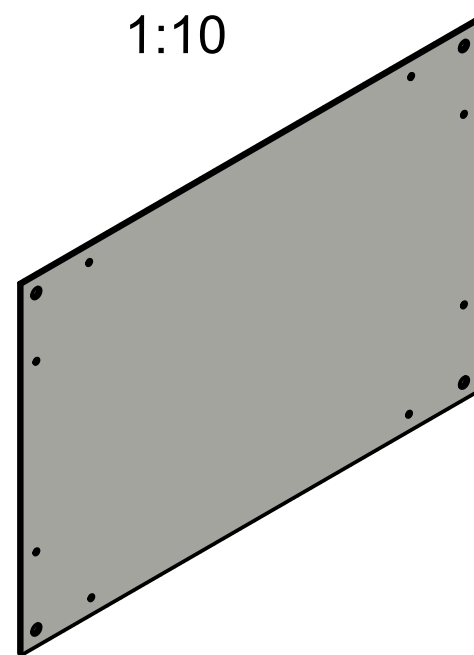
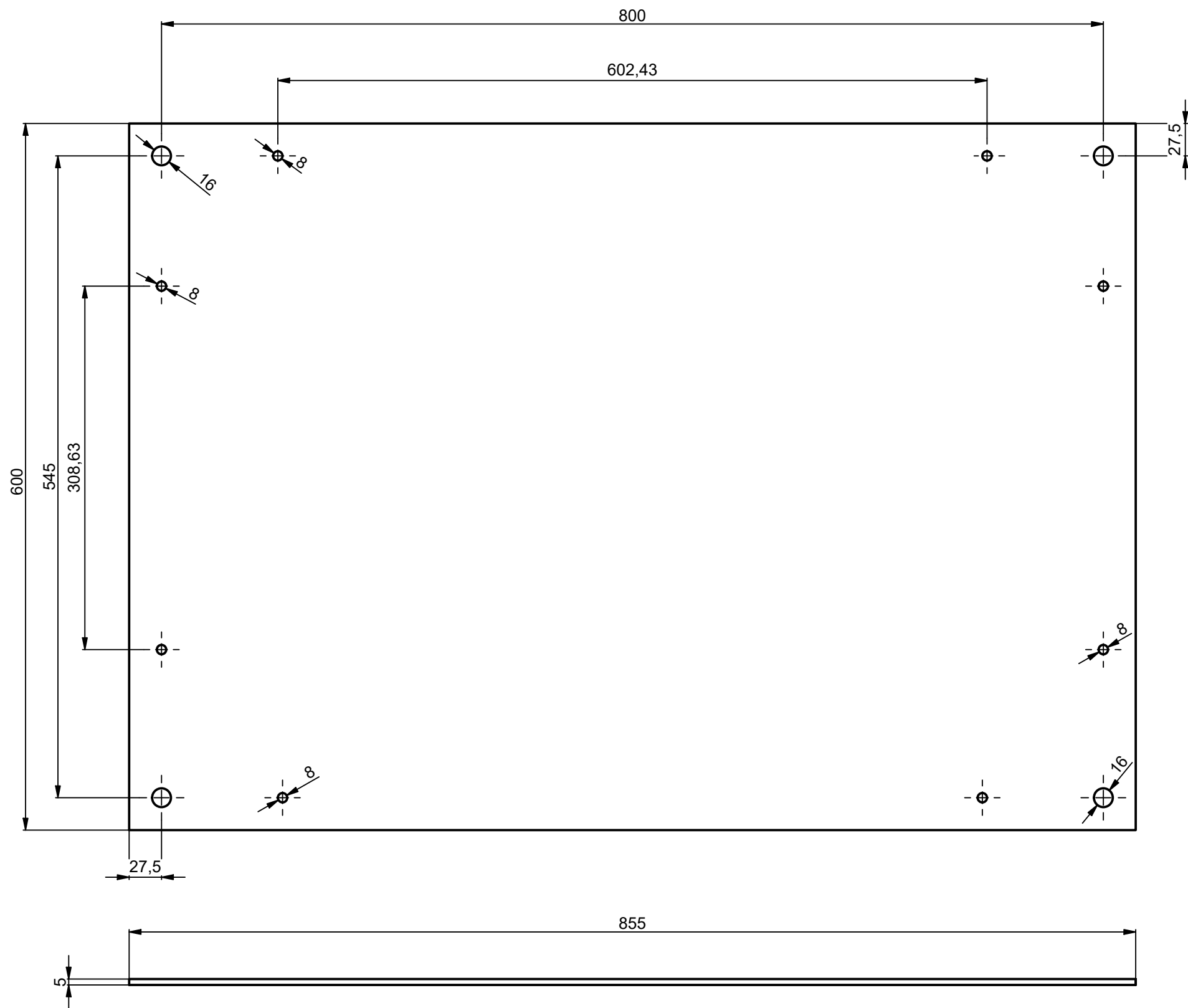
Marca	Ctd.	Designación	Descripción			
			FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
		DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
		COMPROBADO				
		ESCALA: 1:10	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D LISTA DE PIEZAS CONJUNTO AISLAMIENTO INFERIOR			Nº DE PLANO 41 / 75
						SUSTITUYE A:
						SUSTITUIDO POR:



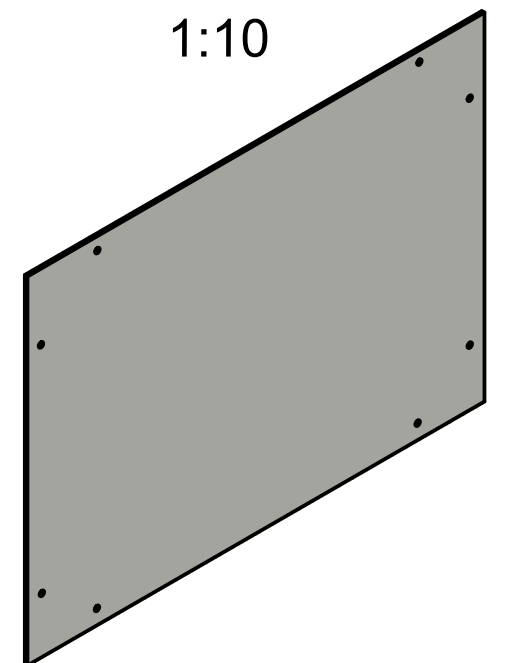
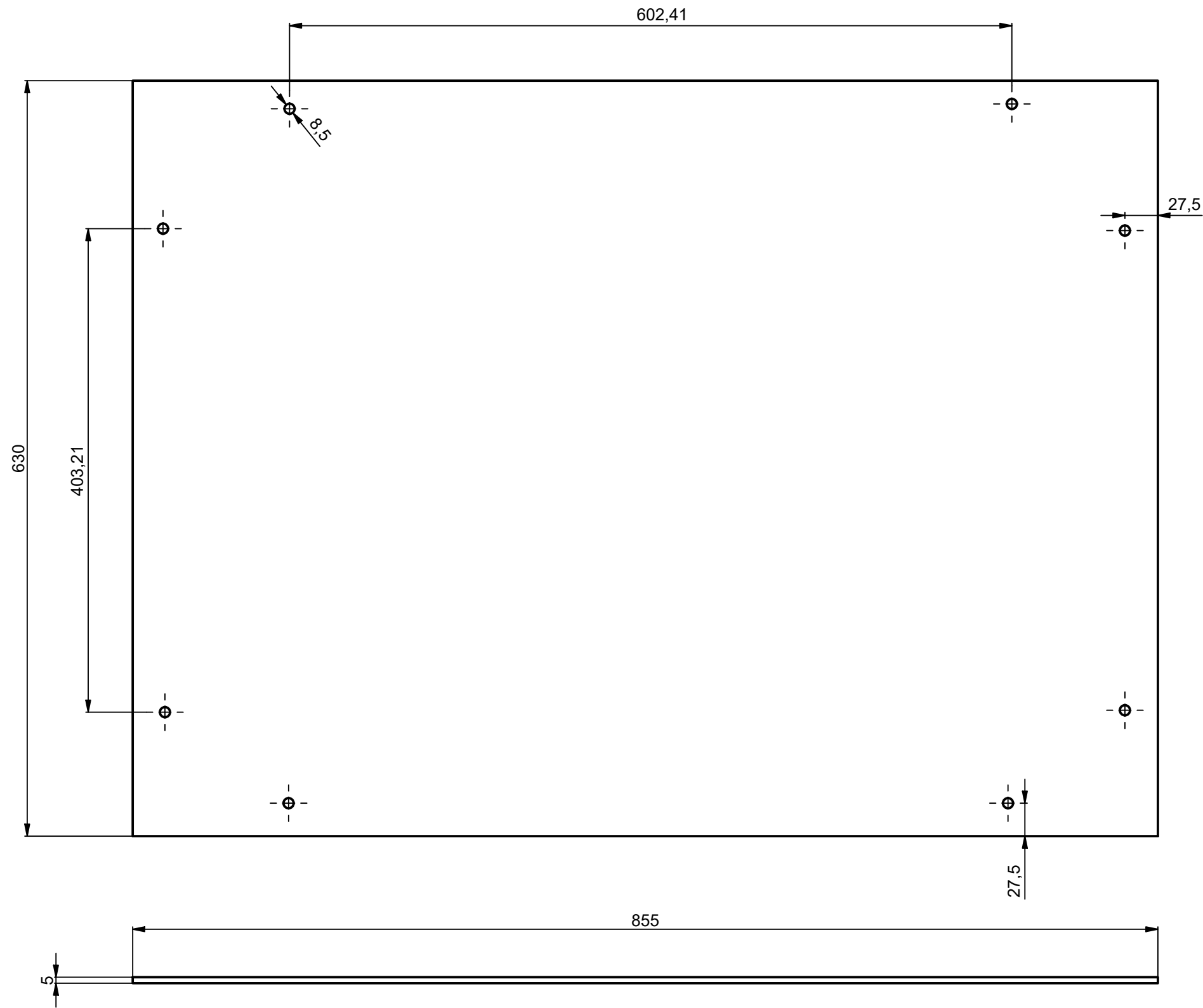
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:10	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D CONJUNTO AISLAMIENTO INFERIOR			Nº DE PLANO 42 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



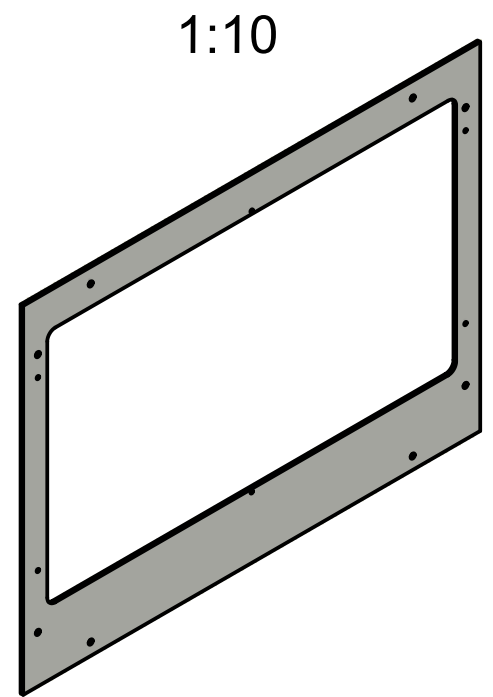
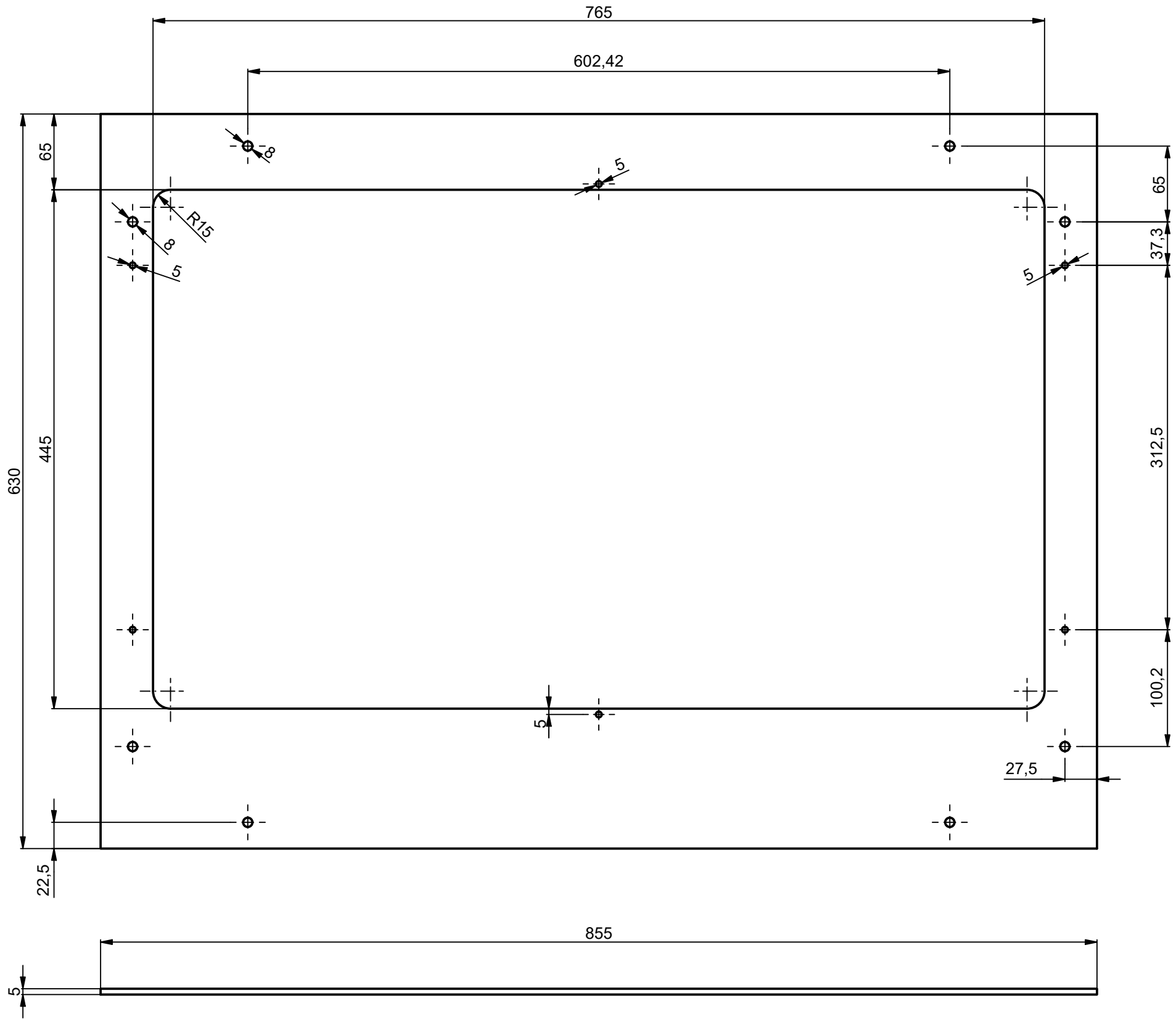
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:4	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 12.1 PANEL LATERAL DERECHO			Nº DE PLANO 43 / 75 SUSTITUYE A: SUSTITUIDO POR:



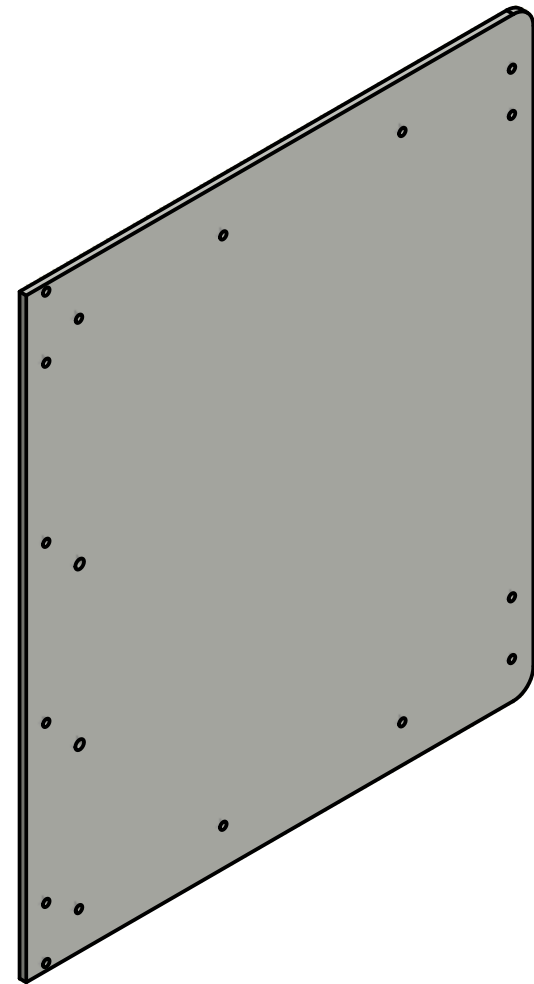
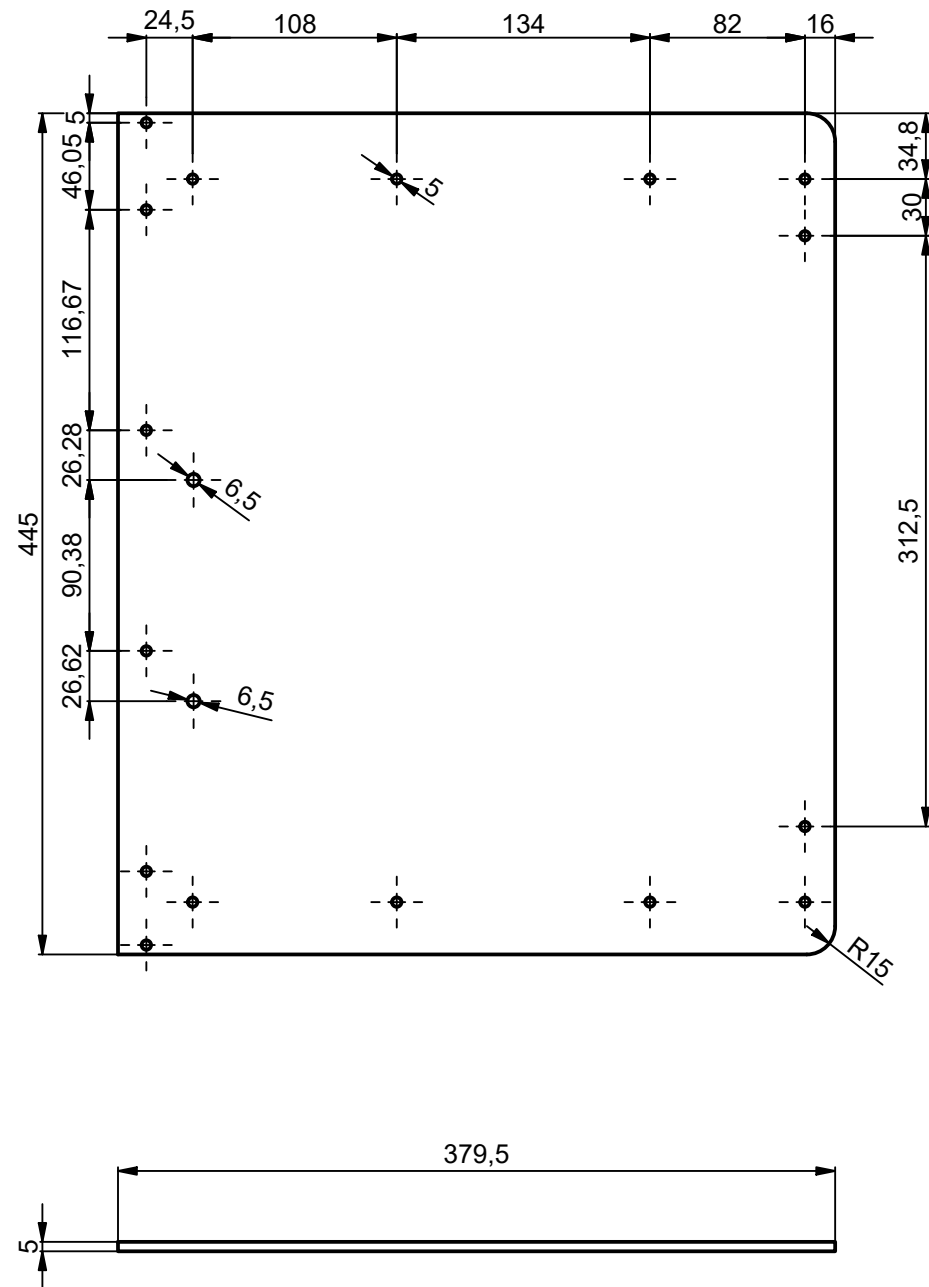
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:4	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 12.2 PANEL SUELO			Nº DE PLANO 44 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



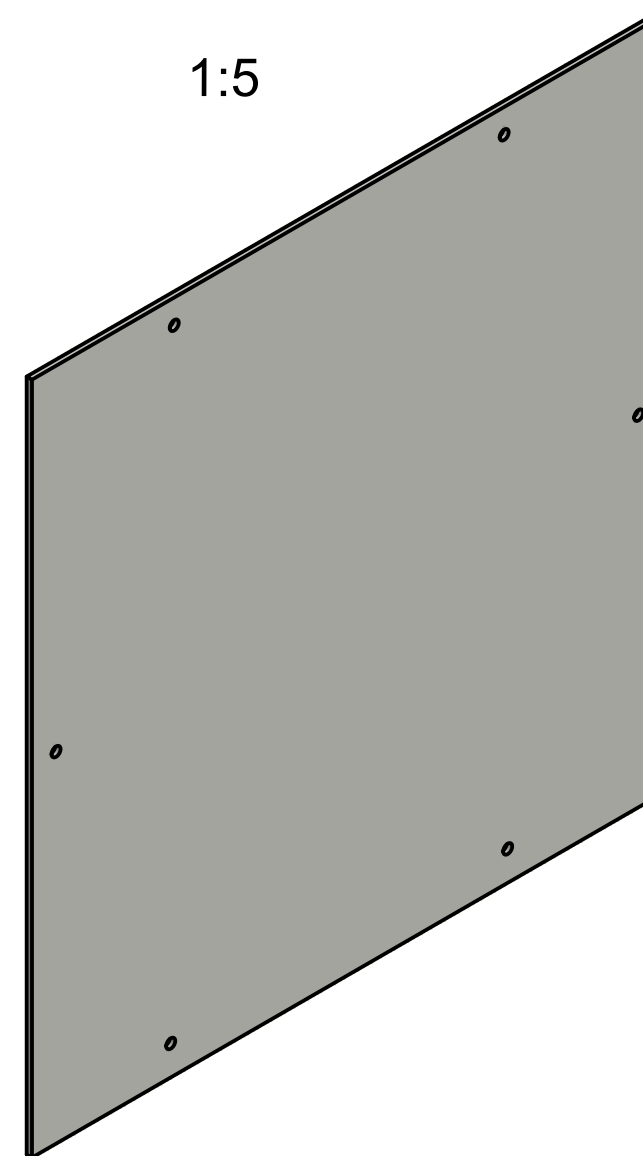
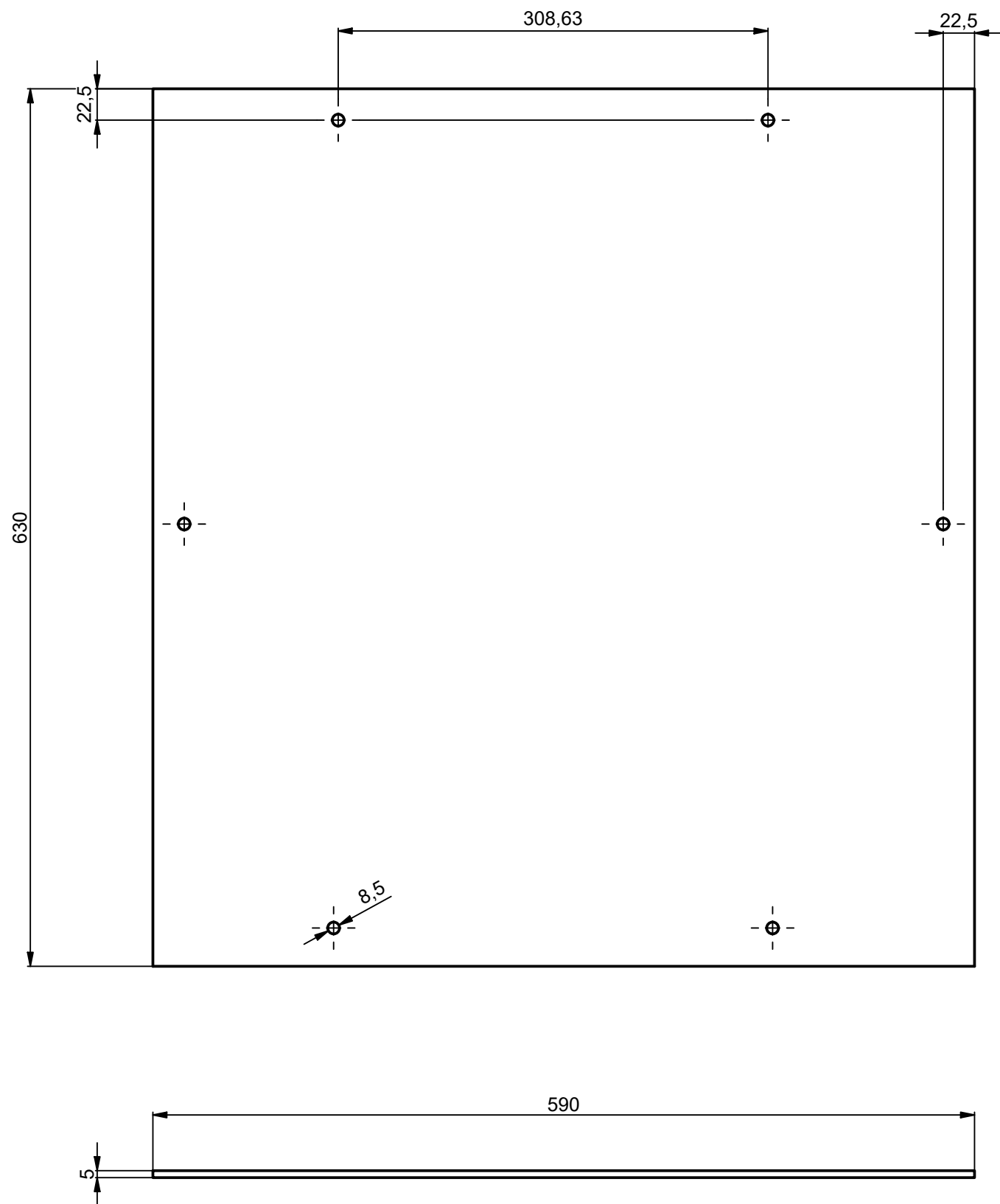
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:4	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 12.3 PANEL POSTERIOR			Nº DE PLANO 45 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



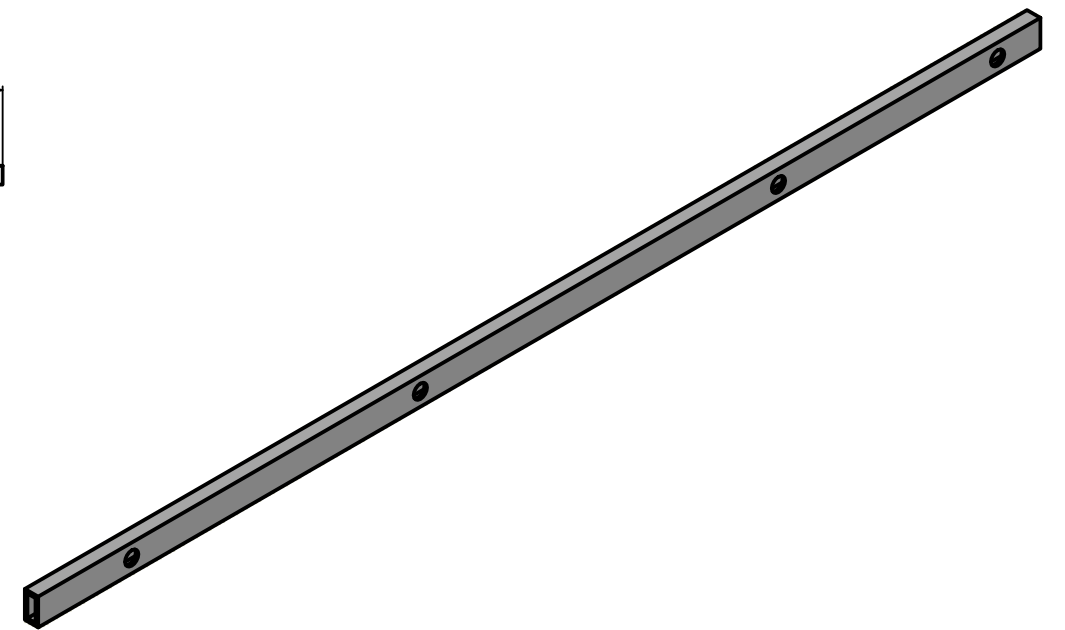
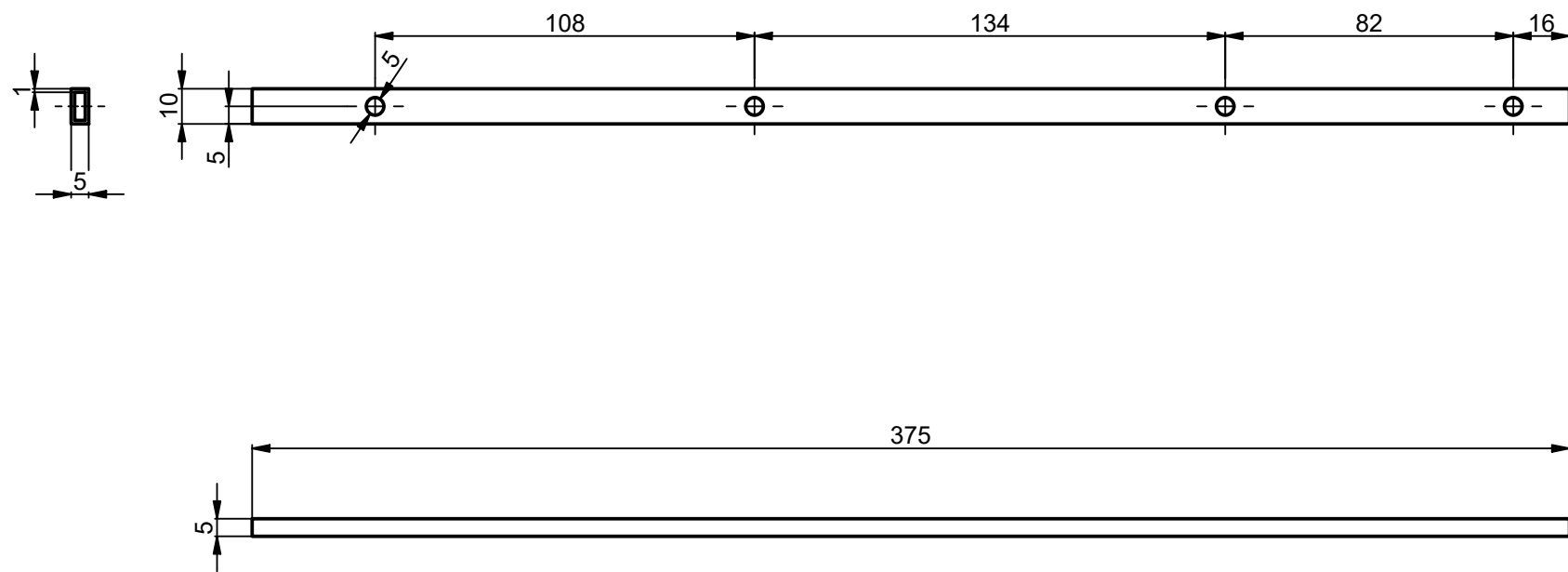
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:4	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 12.8 PANEL FRONTAL			Nº DE PLANO 46 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



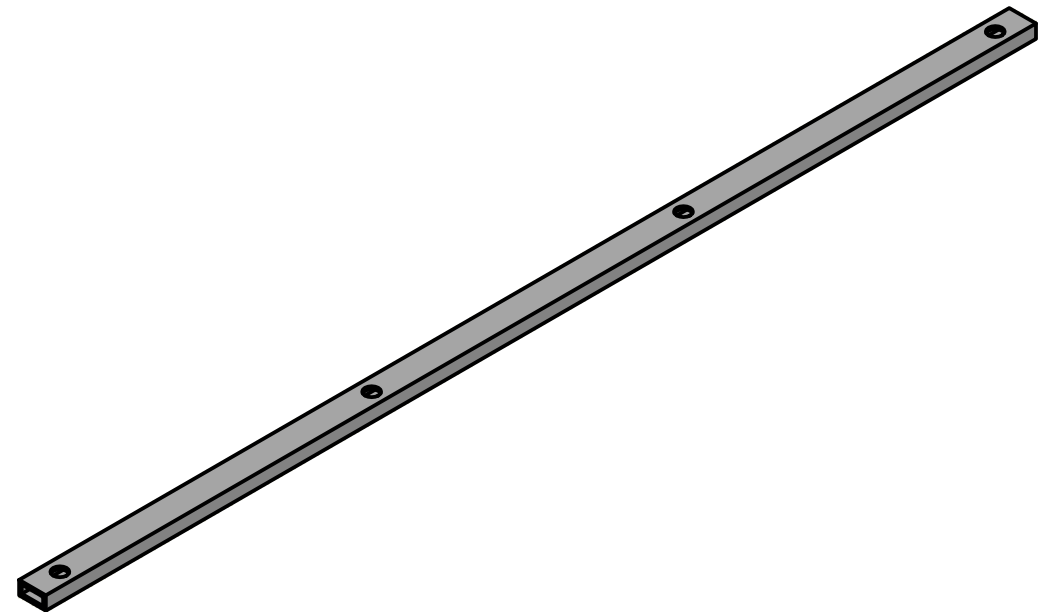
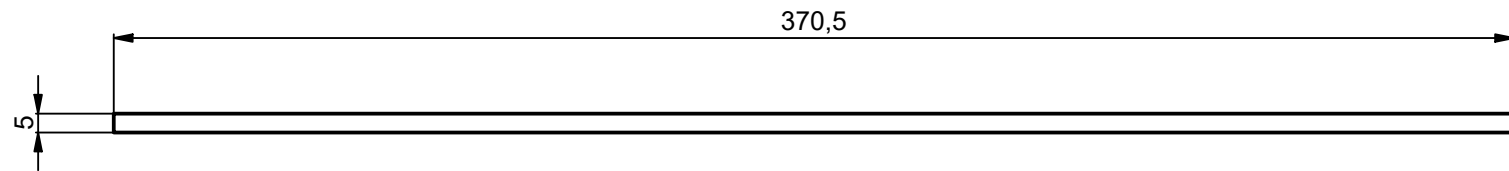
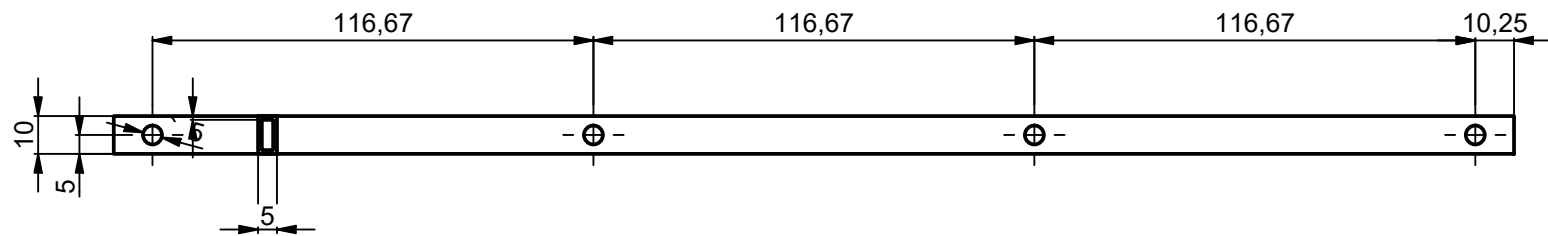
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:4	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 12.9 PANEL PUERTA			Nº DE PLANO 47 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



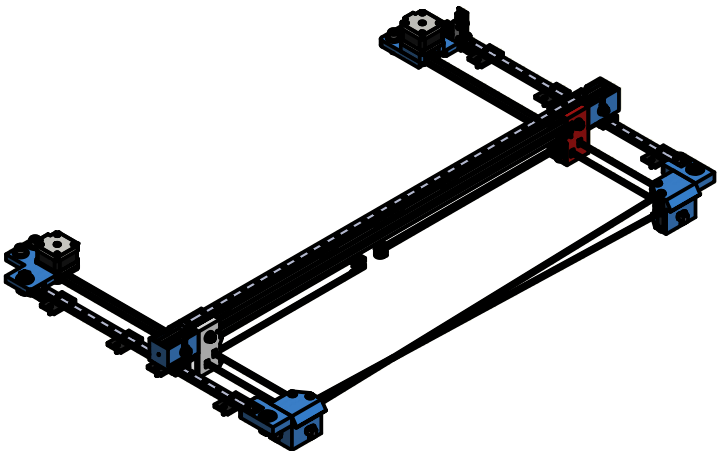
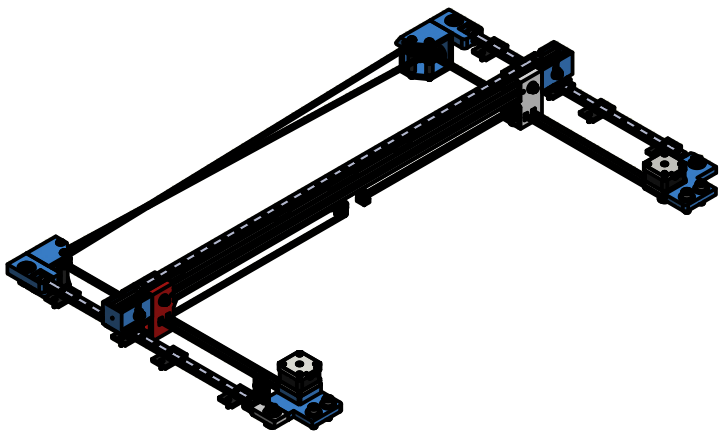
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:4	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 12.11 PANEL LATERAL IZQUIERDO			Nº DE PLANO 48 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:2	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 12.19 PERFIL HUECO ALUMINIO 5X10 L 375MM			Nº DE PLANO 49 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:

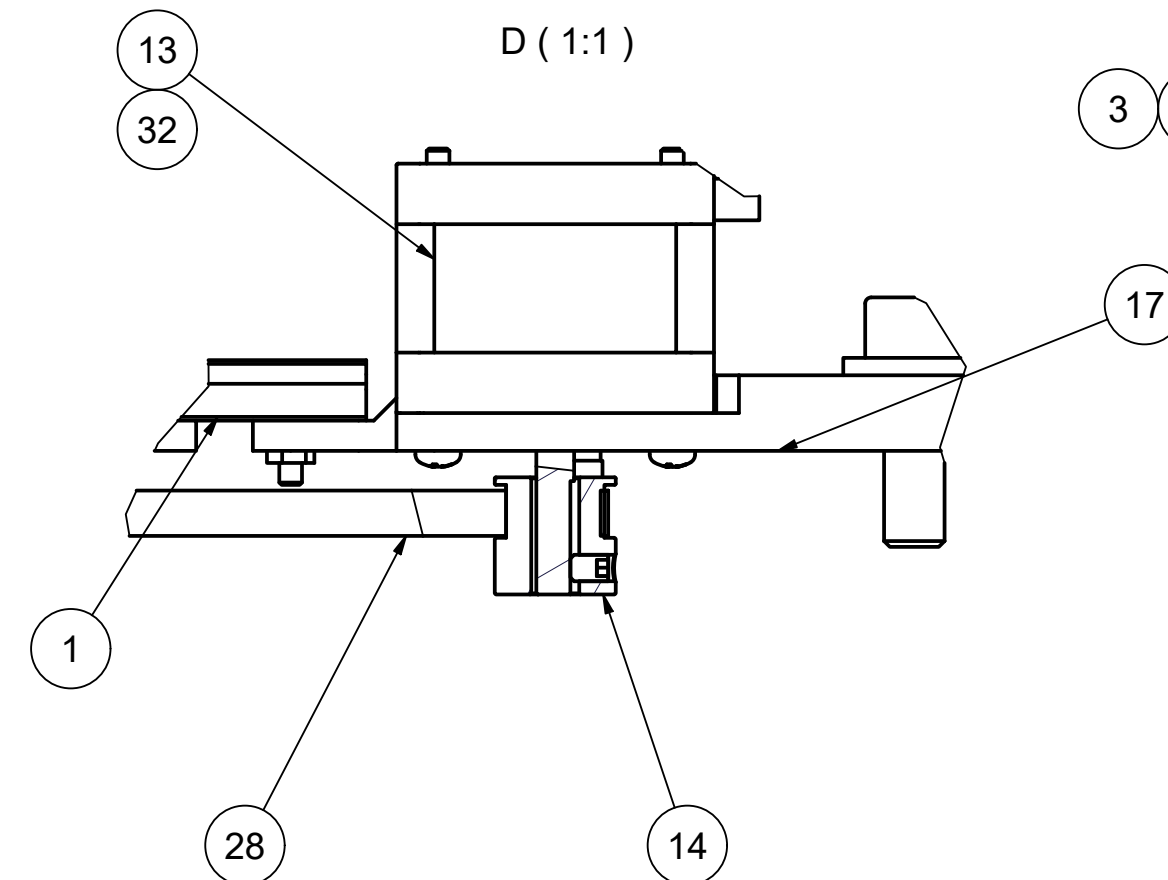
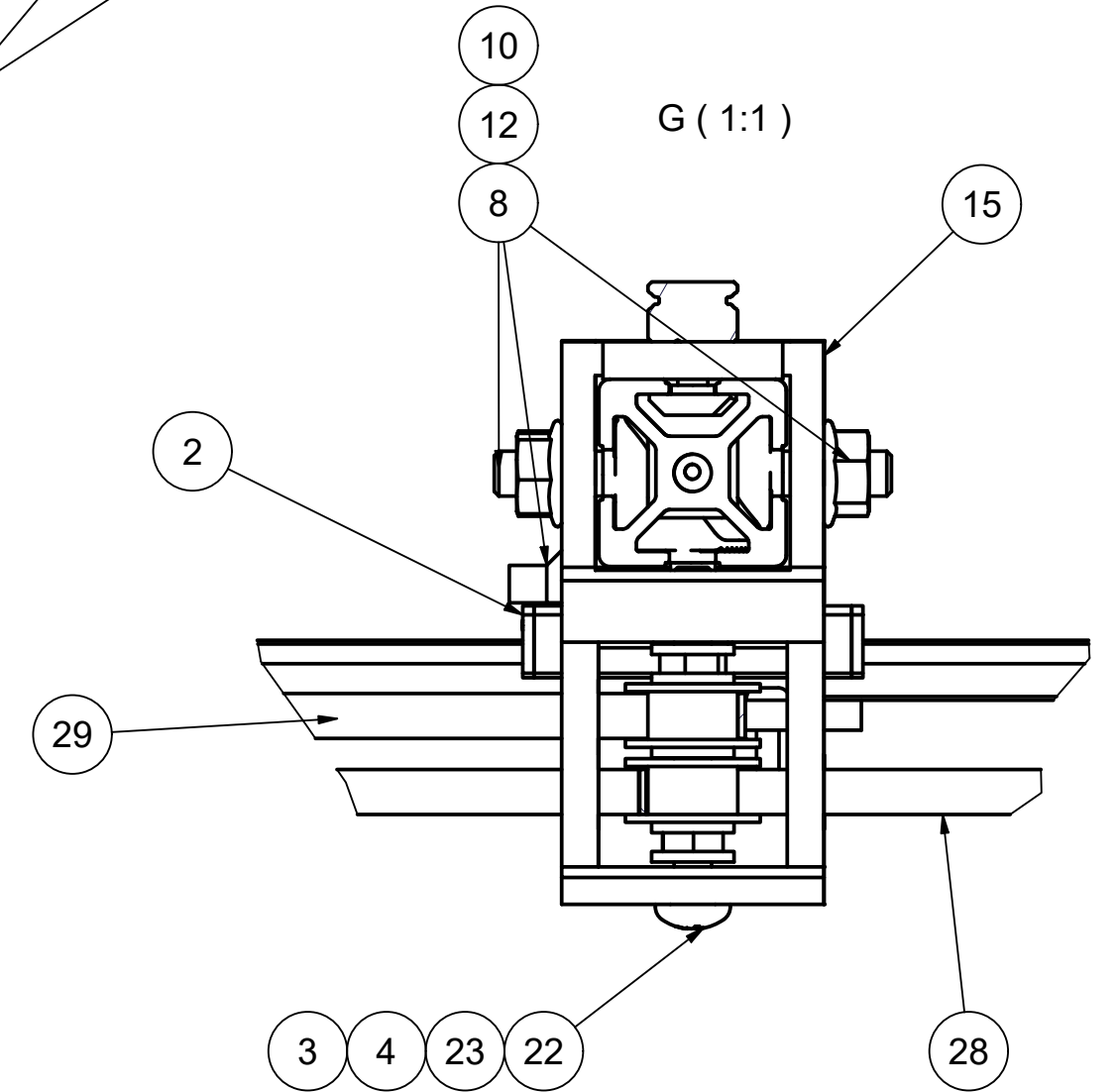
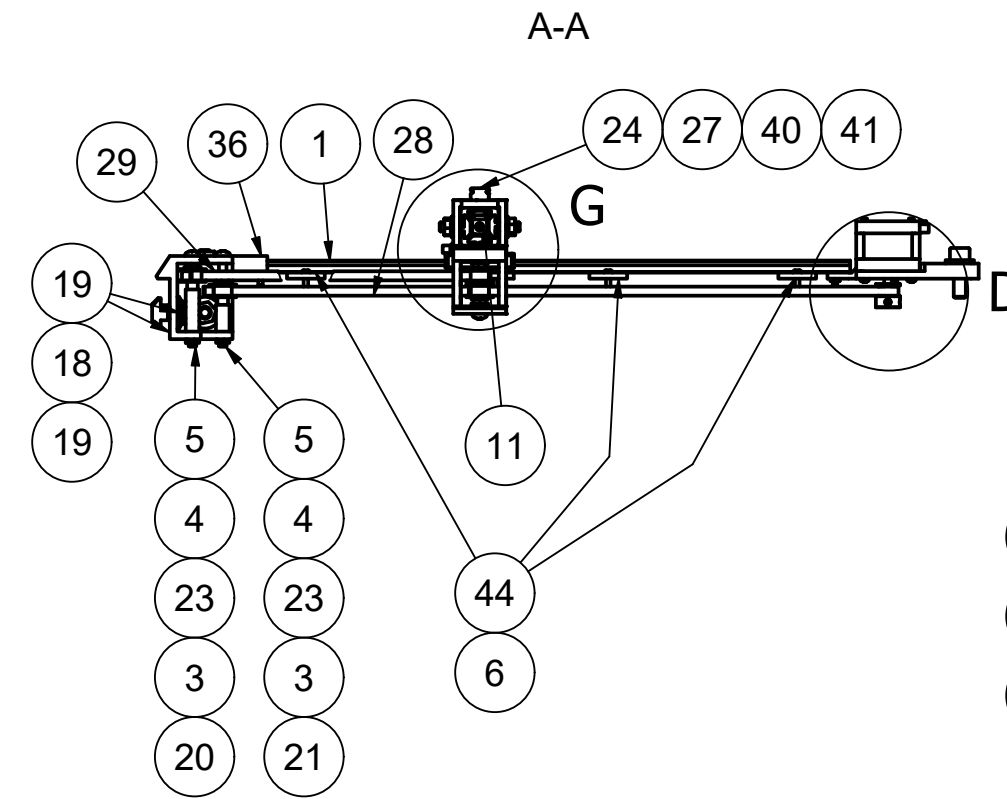
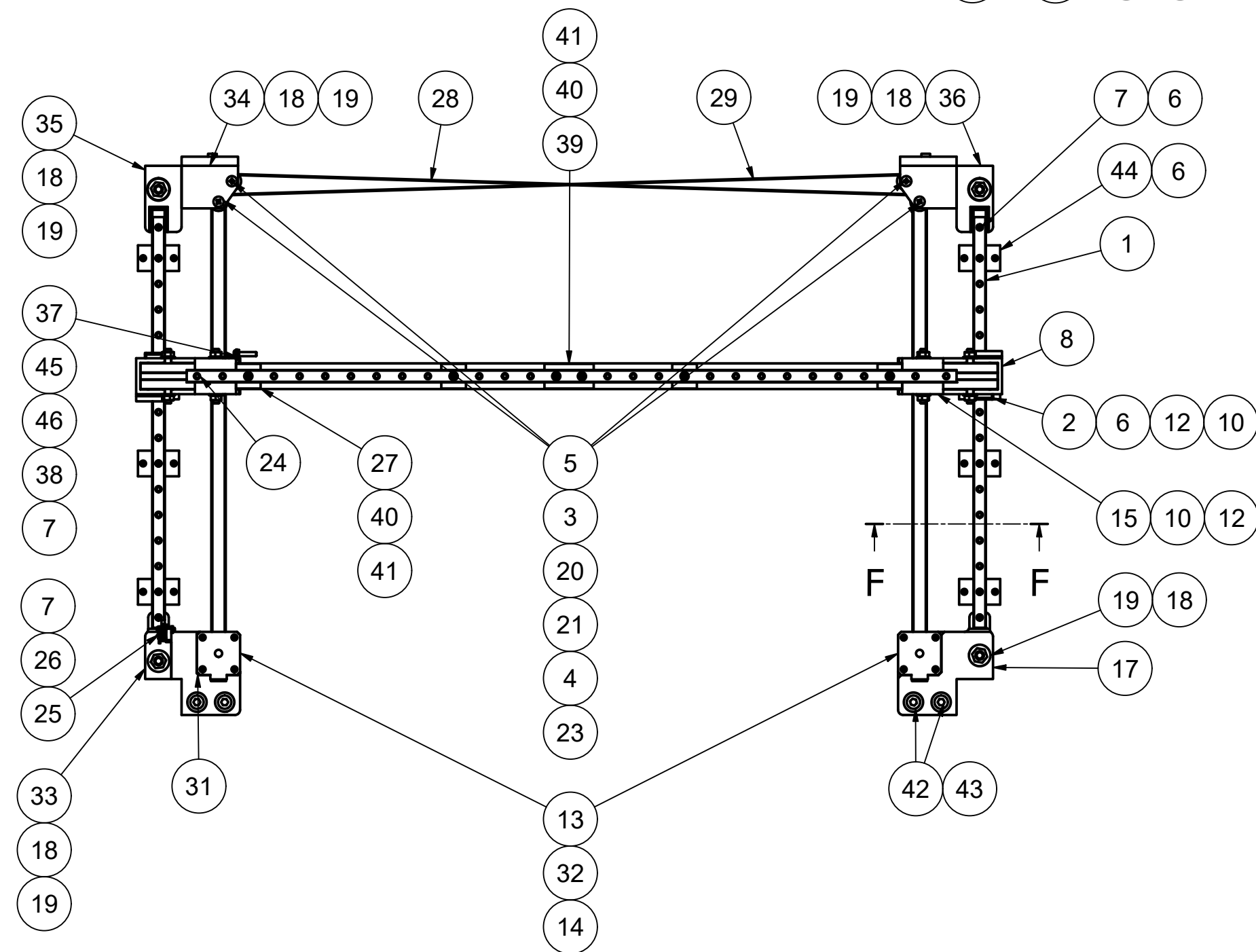
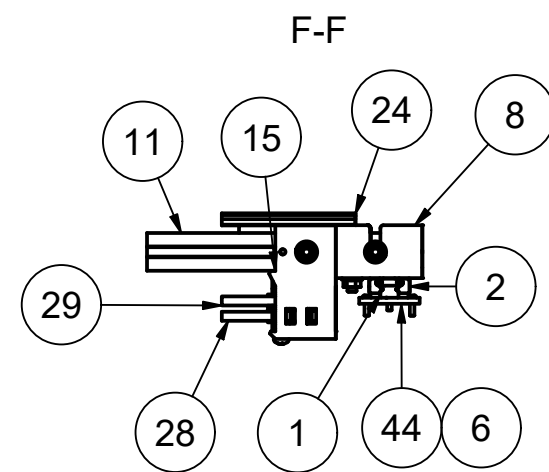
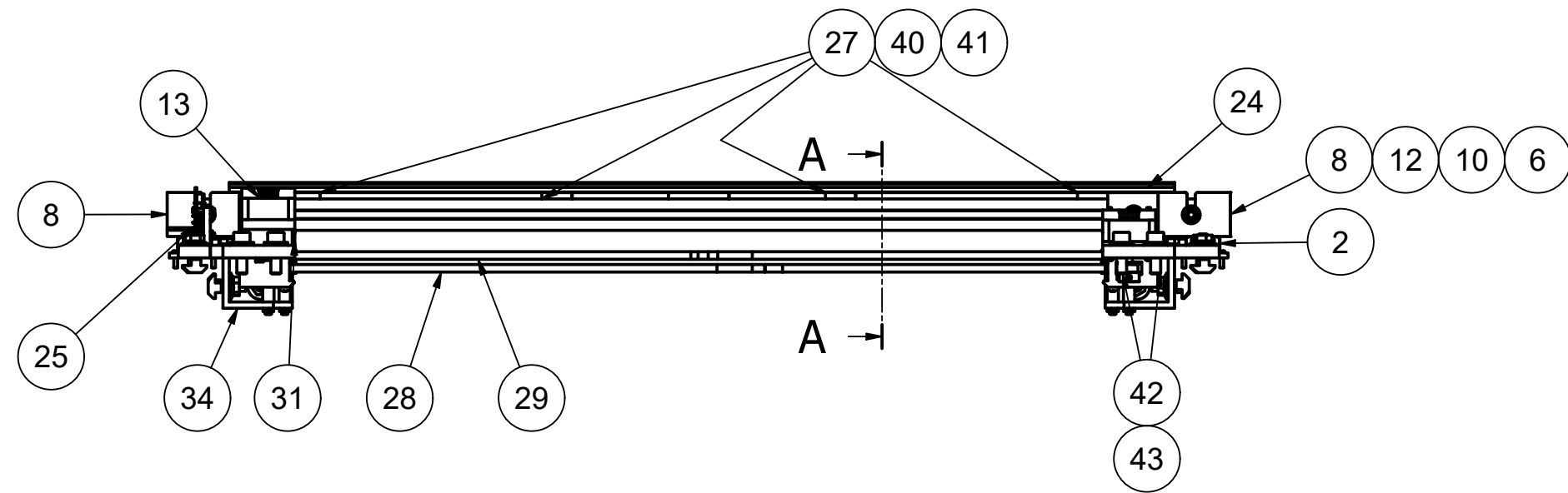


	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:2	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 12.20 PERFIL HUECO ALUMINIO 5X10 L 370.5 MM			Nº DE PLANO 50 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:

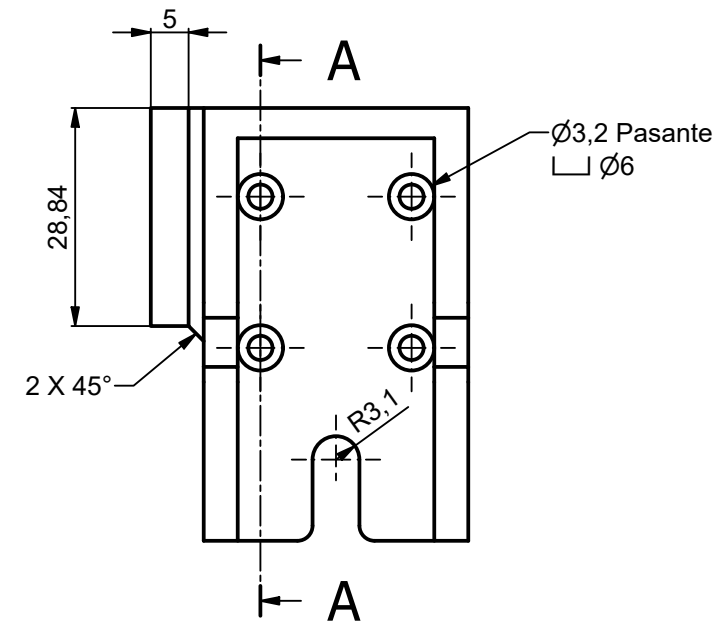
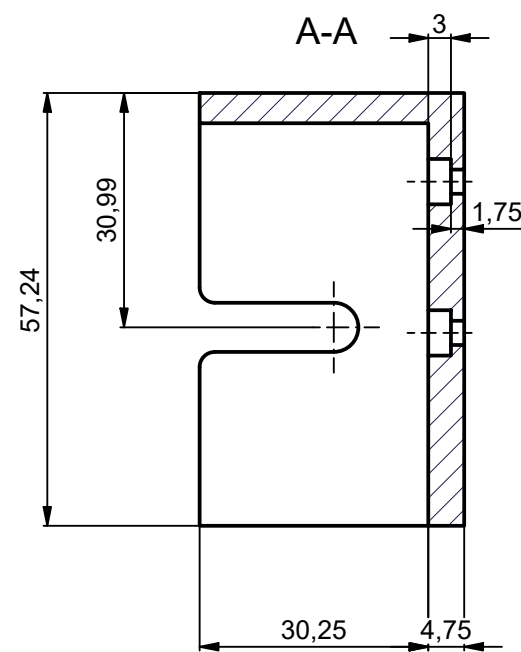
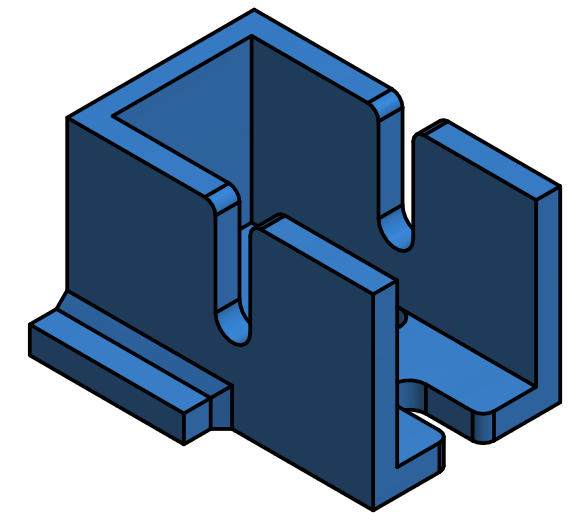
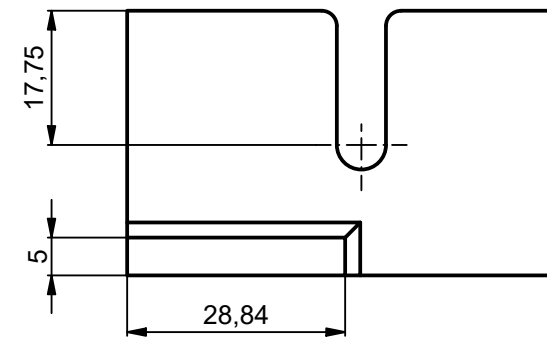
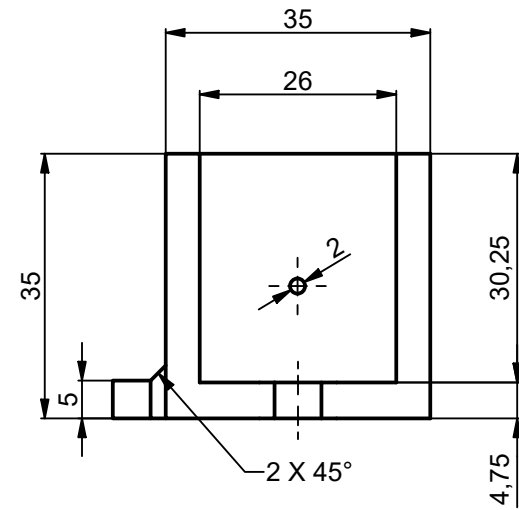
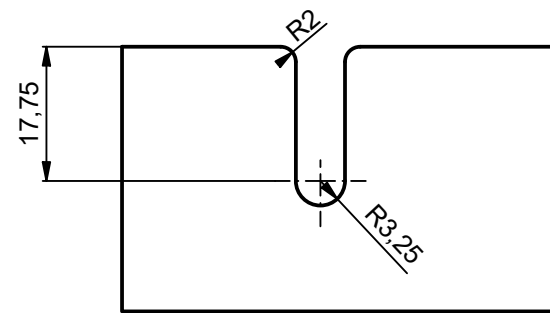
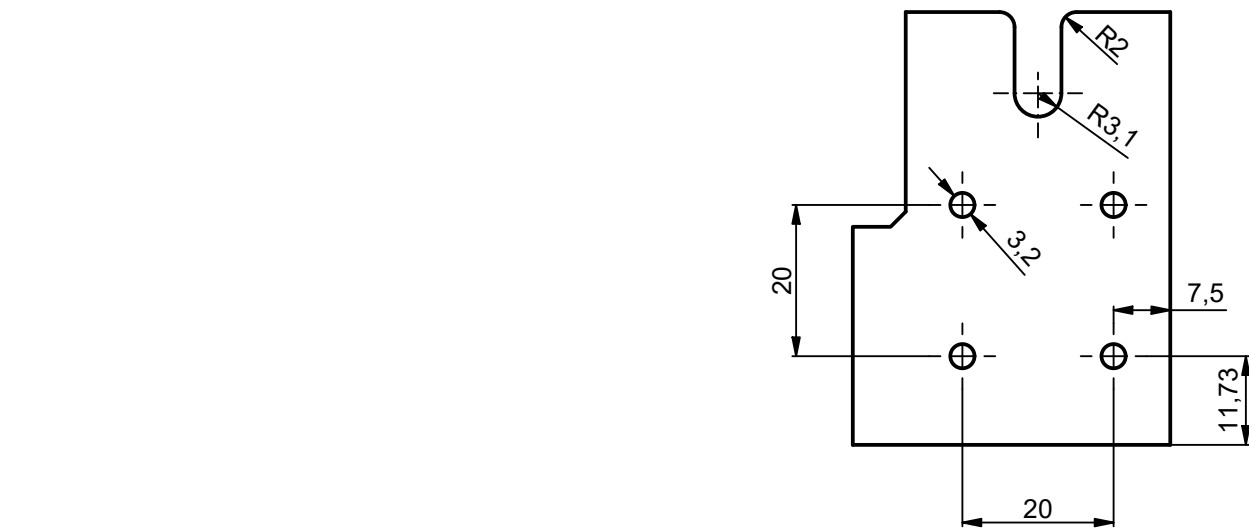


1	2	CARRIL MGN 12H L400 MM	COMERCIAL
2	2	PATÍN MGN 12H	COMERCIAL
3	8	RODAMIENTO POLEA M12 MM	COMERCIAL
4	14	BS 4183 - M5	Tornillos para maquinaria y tuercas de tornillos para maquinaria. Serie métrica
5	4	AS 1427 - M5 x 60	Phillips Tornillos métricos para maquinaria ISO
6	28	ANSI B18.3.4M - M3 x 0.5 x 12, BHSBHCSM	Tornillo brochado de cabeza de botón hexagonal hueca - Métrico
7	7	BS 4183 - M3	Tornillos para maquinaria y tuercas de tornillos para maquinaria. Serie métrica
8	2	12.8 SOPORTE PATÍN PARA EJE X	PLA
9	8	ANSI B18.3.4M - M3 x 0.5 x 5, BHSBHCSM	Tornillo brochado de cabeza de botón hexagonal hueca - Métrico
10	10	TUERCA BRIDA M6	FASTEN 525113
11	1	PERFIL ALUMINIO 25X25 L835 MM	FASTEN 5011
12	10	TORNILLO CABEZA MARTILLO M6 L20 MM	FASTEN 525113
13	2	MOTOR PASO A PASO NEMA 17 17HS19-2004S1	COMERCIAL
14	2	POLEA DENTADA GT2 20 DIENTES	COMERCIAL
15	1	13.15 SOPORTE X DERECHO PORTA POLEAS	PLA
16	1	13.16 SOPORTE X IZQUIERDO PORTA POLEAS	PLA
17	1	13.17 SOPORTE MOTOR DERECHO	PLA
18	8	TORNILLO CABEZA DE MARTILLO M8 L25 MM	FASTEN 525025
19	8	TUERCA BRIDA M8 MM	FASTEN 525025
20	2	13.20 TUBO SOPORTE PVC POLEA 1	
21	2	13.21 TUBO SOPORTE PVC POLEA 2	
22	2	AS 1427 - M5 x 45	Phillips Tornillos métricos para maquinaria ISO
23	14	ANSI B18.22M - 5 N	Arandelas métricas planas
24	1	13.24 CARRIL MGN 12H L750 MM MODIFICADO	
25	2	INTERRUPTOR FINAL DE CARRERA	*Varía*
26	2	ANSI B18.3.4M - M3 x 0.5 x 16, BHSBHCSM	Tornillo brochado de cabeza de botón hexagonal hueca - Métrico
27	4	13.27 SOPORTE CARRIL X 1	
28	1	CORREA 1	
29	1	CORREA 2	
30	1	13.30 SOPORTE MOTOR IZQUIERDO	PLA
31	1	13.33 TACO PARA SOPORTE MOTOR IZQUIERDO	PLA
32	8	AS 1427 - M3 x 40	Phillips Tornillos métricos para maquinaria ISO
33	1	13.33 SOPORTE CARRIL MGN Y 2	PLA
34	1	13.34 SOPORTE POLEAS ESQUINA IZQUIERDA	PLA
35	1	13.35 SOPORTE CARRIL MGN Y IZQUIERDO	PLA
36	1	13.36 SOPORTE CARRIL MGN Y DERECHO	PLA
37	1	13.37 SOPORTE TORNILLO ACCIONADOR FINAL DE CARRERA	
38	1	ANSI B18.3.4M - M3 x 0.5 x 8, BHSBHCSM	Tornillo brochado de cabeza de botón hexagonal hueca - Métrico
39	1	13.39 SOPORTE CARRIL X 2	
40	6	ANSI B18.3.1M - M4x0,7 x 12, BSHCSM	Tornillo brochado de cabeza hueca - Métrico
41	6	TUERCA CABEZA MARTILLO M4	FASTEN 5208
42	4	ANSI B18.3.1M - M8x1,25 x 25, BSHCSM	Tornillo brochado de cabeza hueca - Métrico
43	4	ANSI B18.22M - 8 N	Arandelas métricas planas
44	8	13.44 SOPORTE CARRILES Y	
45	1	ANSI B18.3.4M - M4 x 0.7 x 20, BHSBHCSM	Tornillo brochado de cabeza de botón hexagonal hueca - Métrico
46	1	BS 4183 - M4	Tornillos para maquinaria y tuercas de tornillos para maquinaria. Serie métrica
47	1	13.47 SOPORTE POLEAS ESQUINA DERECHO	PLA
Marca	Ctd.	Designación	

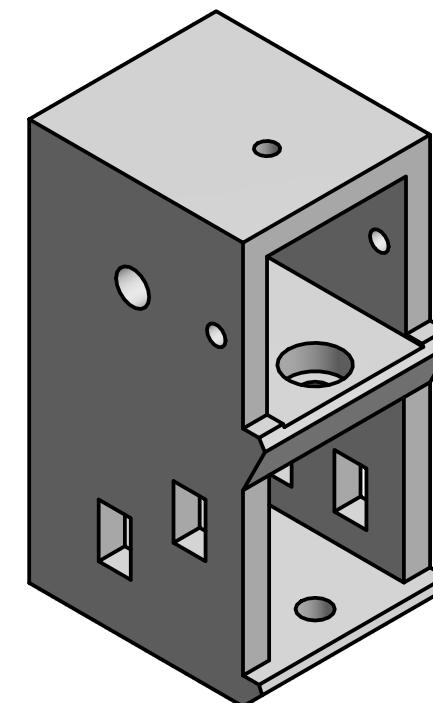
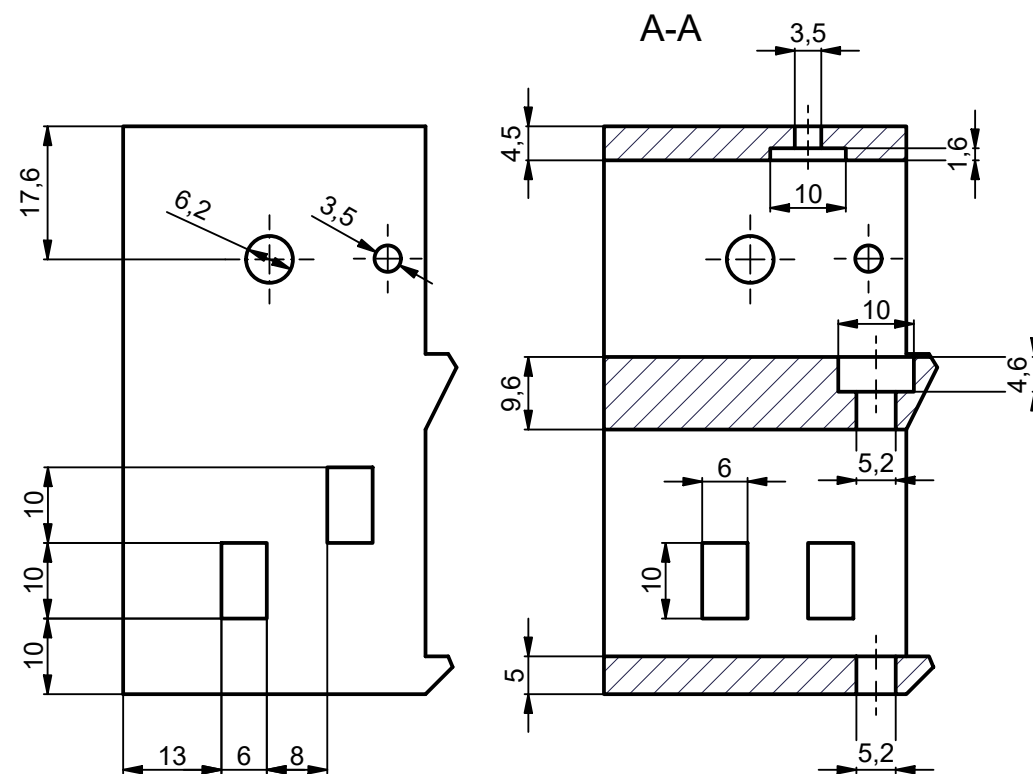
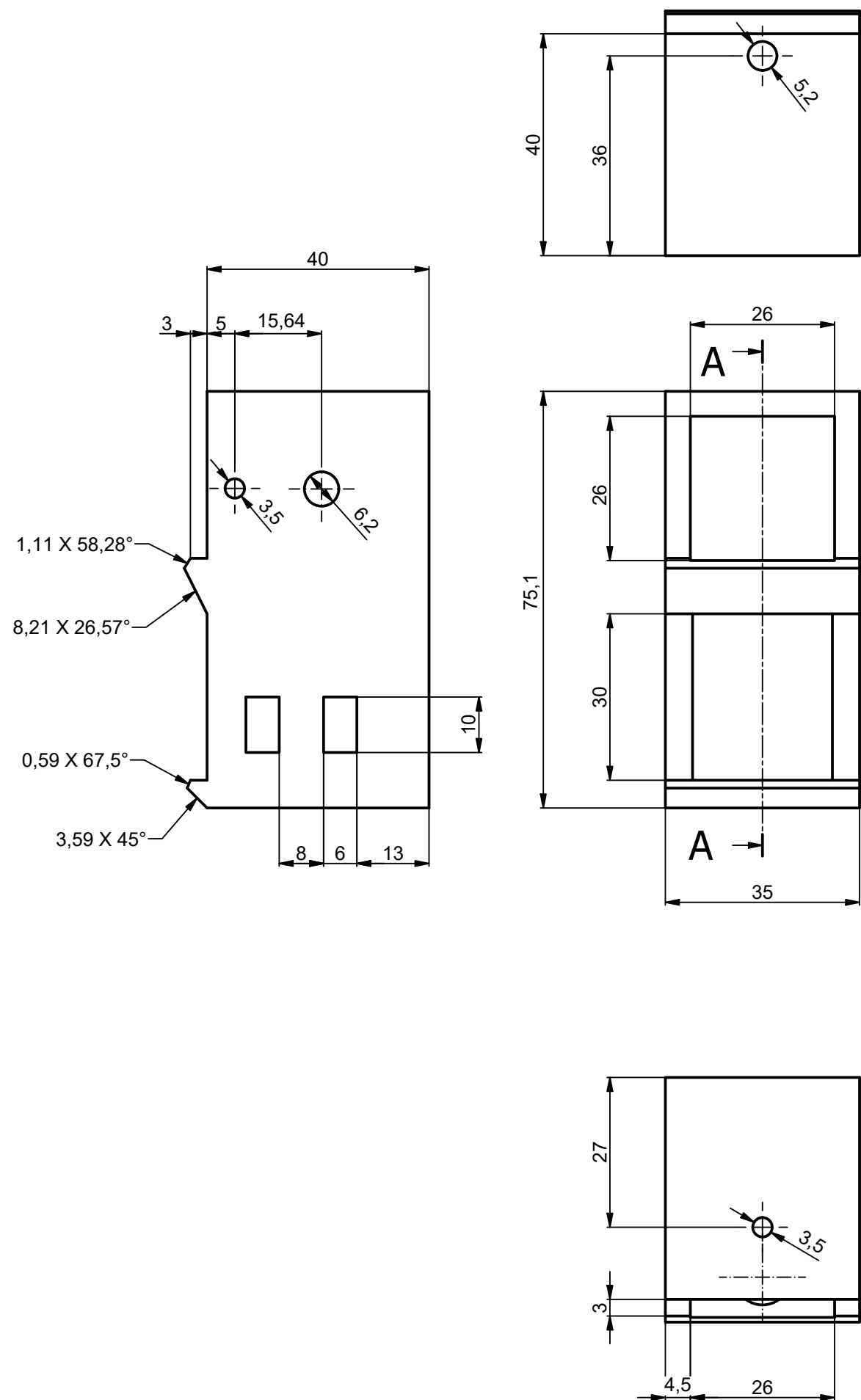
Descripción			
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés	
COMPROBADO			
ESCALA 1:10	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D LISTA DE PIEZAS CONJUNTO SISTEMA CORE XY		Nº DE PLANO 51 / 75
			SUSTITUYE A:
			SUSTITUIDO POR:



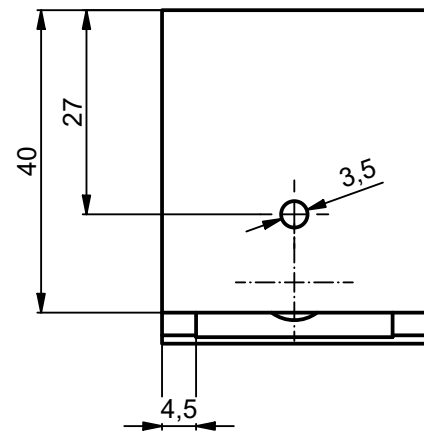
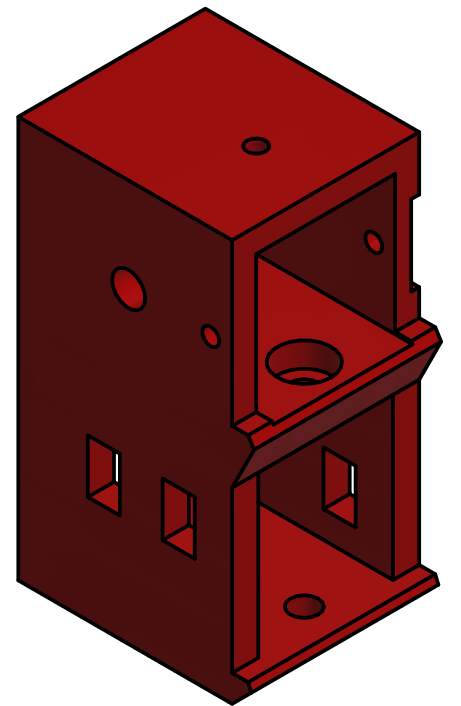
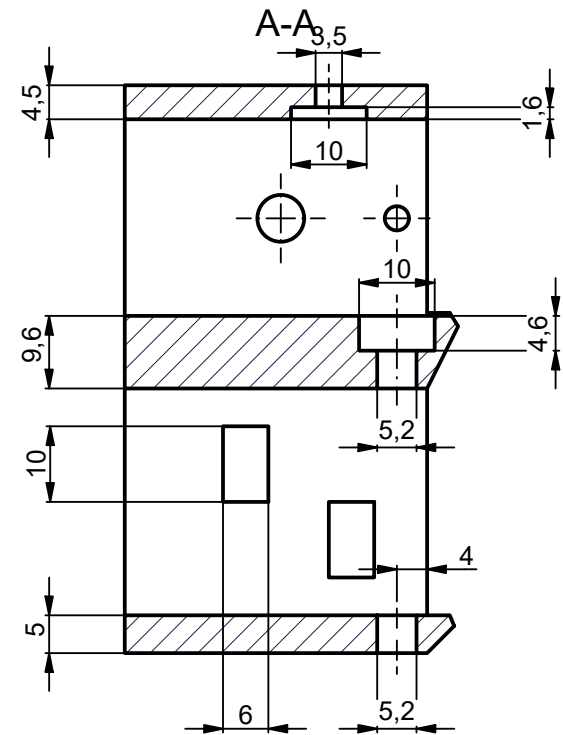
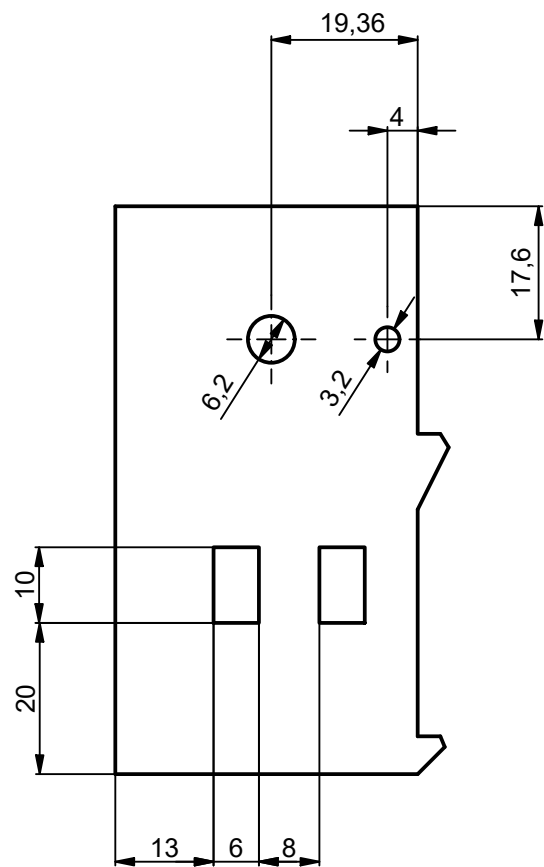
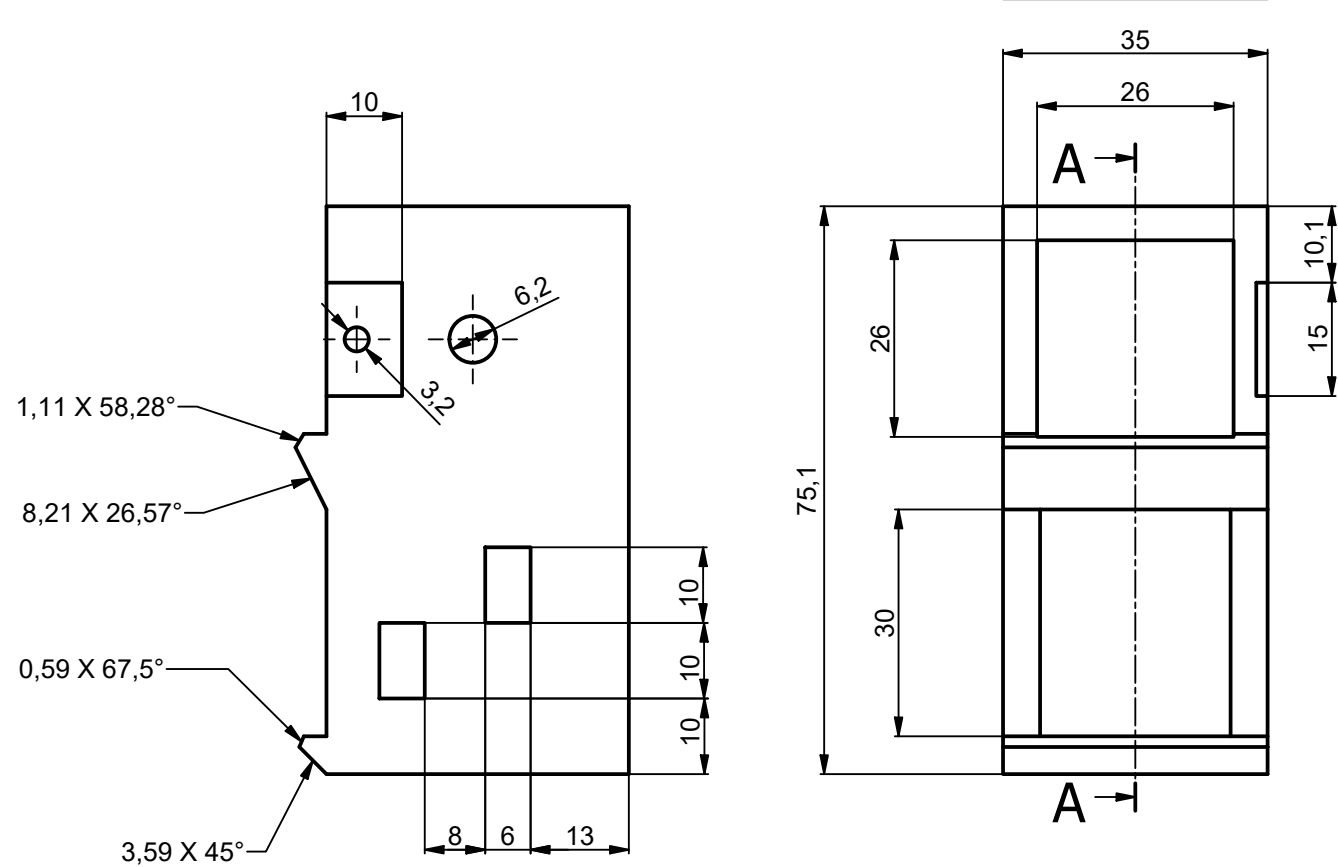
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:5	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D CONJUNTO SISTEMA CORE XY			Nº DE PLANO 52 / 75
				SUSTITUIYE A:
				SUSTITUIDO POR:



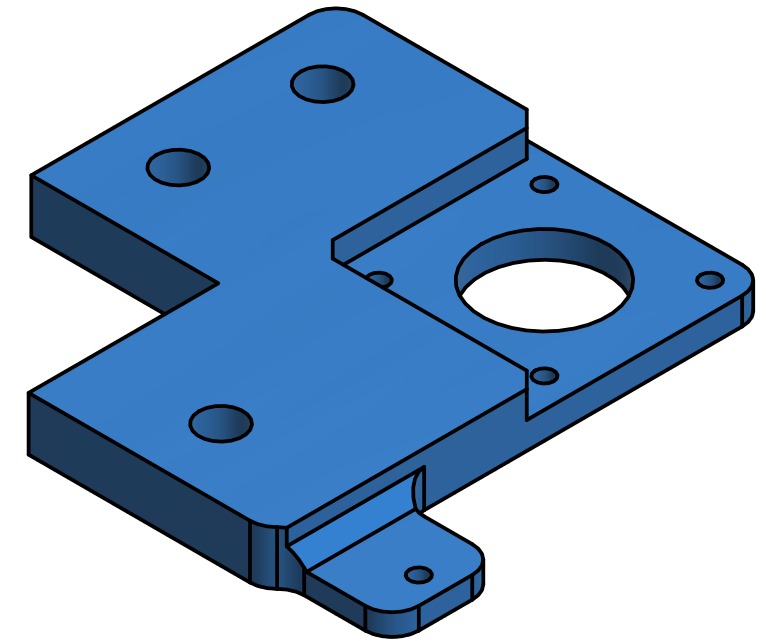
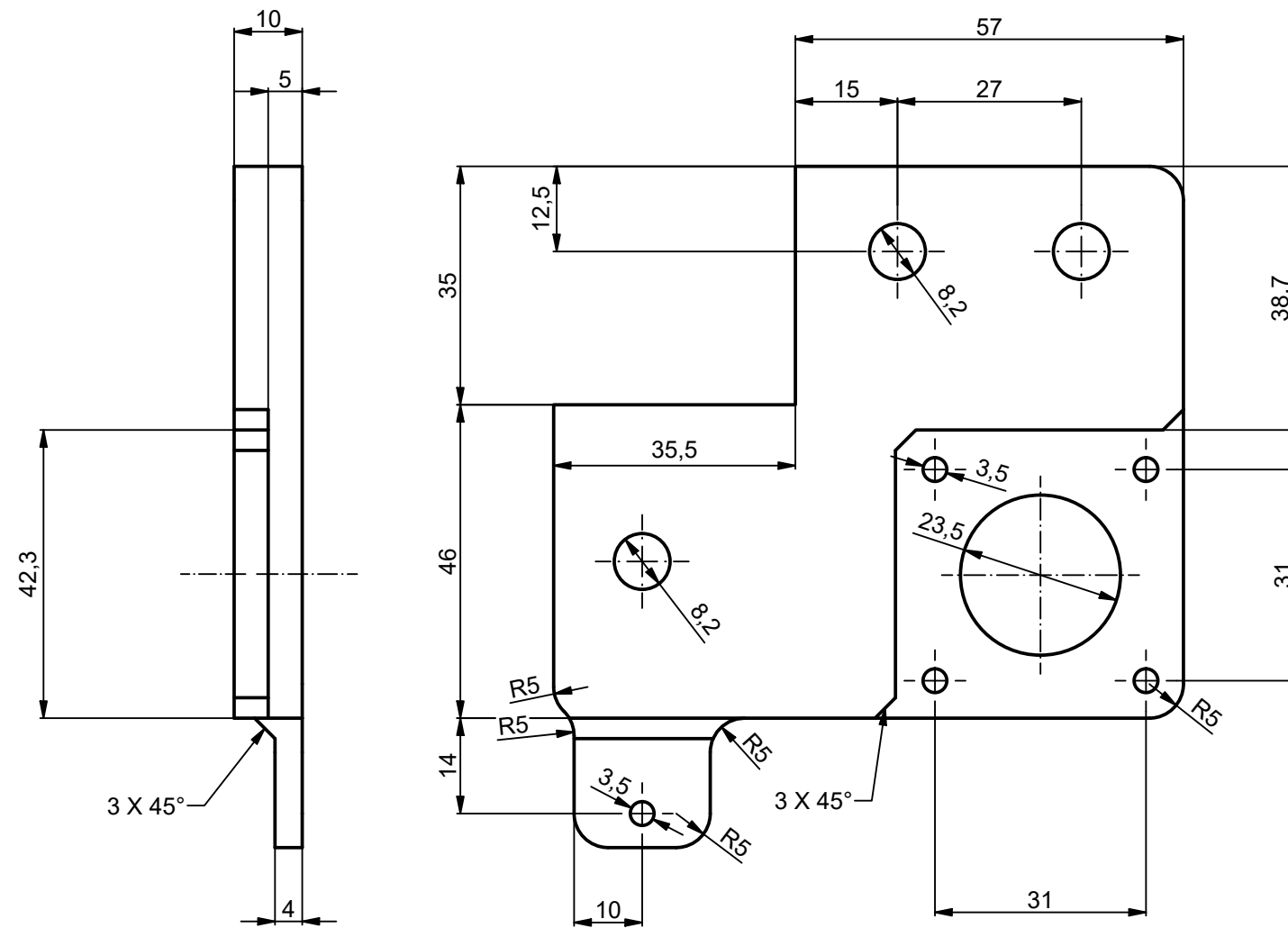
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:1	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 12.8 SOPORTE PATÍN PARA EJE X			Nº DE PLANO 53 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



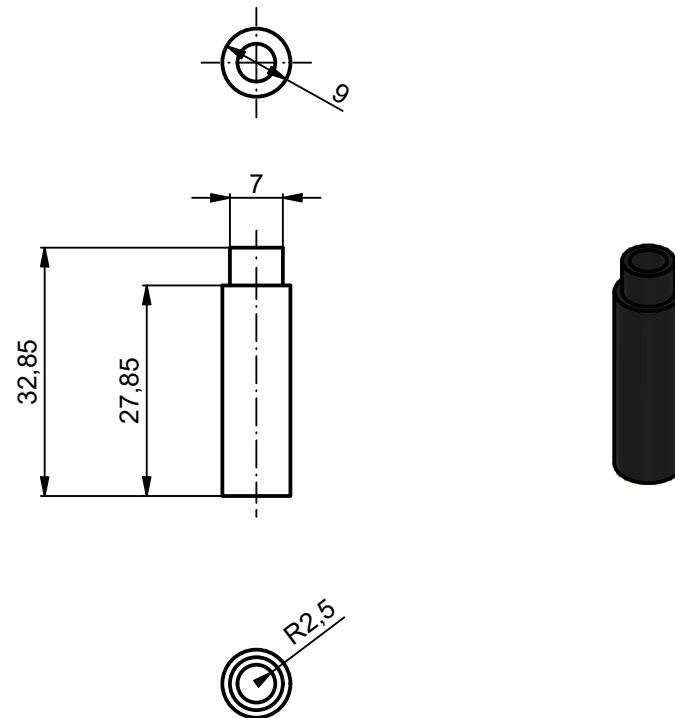
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:1	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 13.15 SOPORTE X DERECHO PORTA POLEAS			Nº DE PLANO 54 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



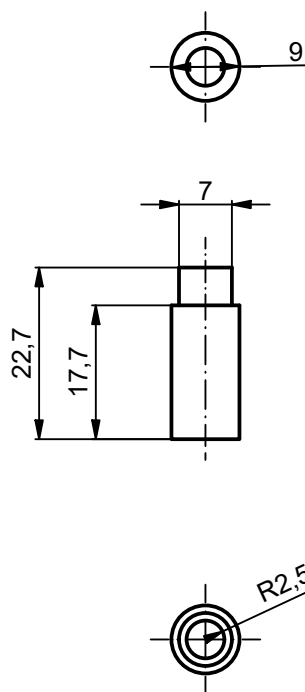
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES		
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés				
COMPROBADO						
ESCALA: 1:1	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 13.16 SOPORTE X IZQUIERDO PORTA POLEAS			Nº DE PLANO 55 / 75		
SUSTITUYE A:						
SUSTITUIDO POR:						



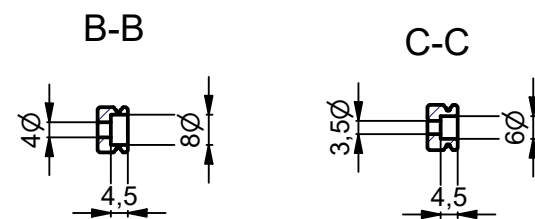
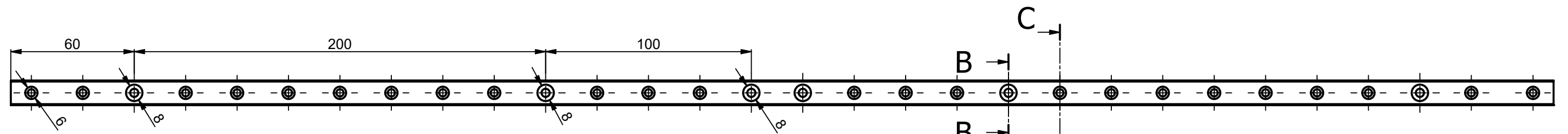
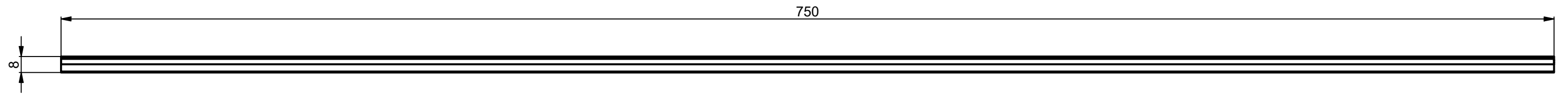
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:1	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 13.17 SOPORTE MOTOR DERECHO			Nº DE PLANO 56 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



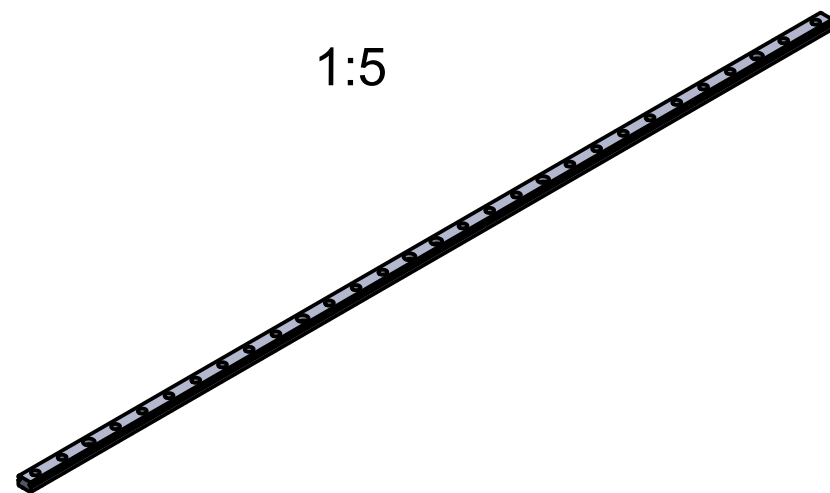
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:1	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 13.20 TUBO SOPORTE PVC POLEA 1			Nº DE PLANO 87 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



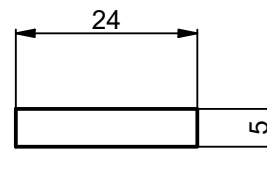
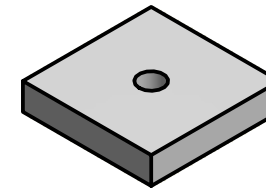
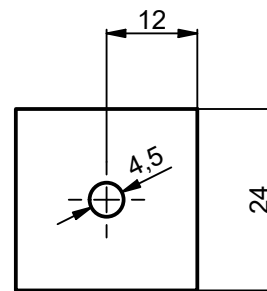
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:1	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 13.21 TUBO SOPORTE PVC POLEA 2			Nº DE PLANO 58 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



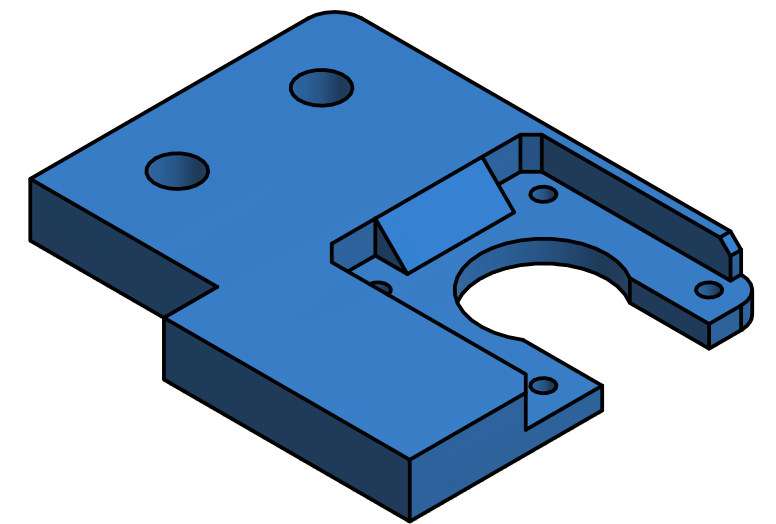
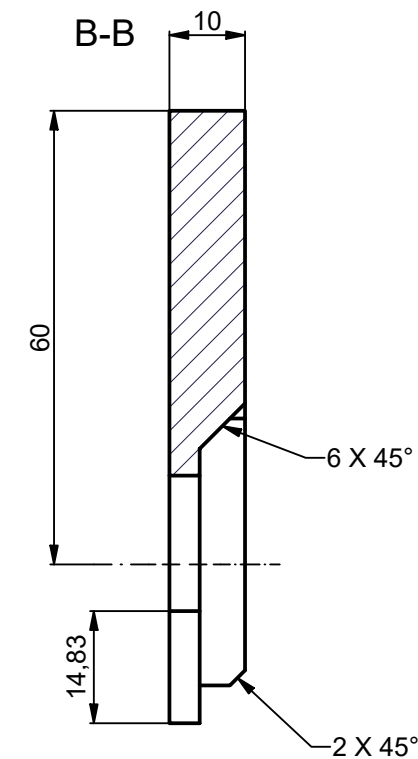
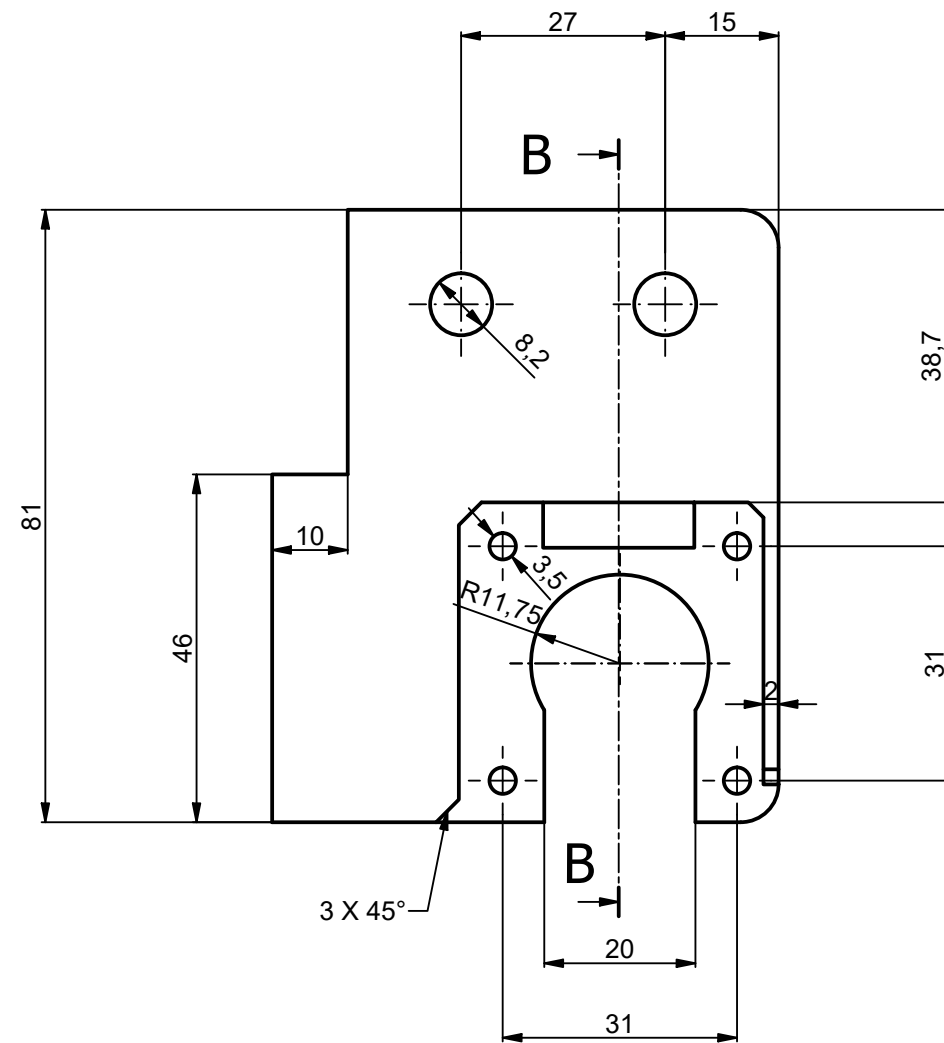
1:5



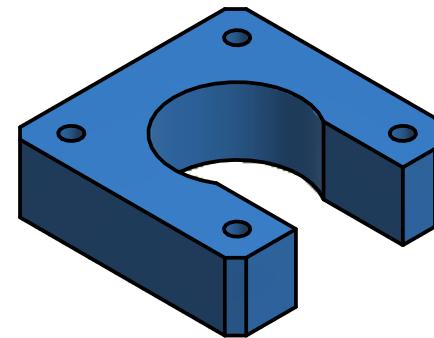
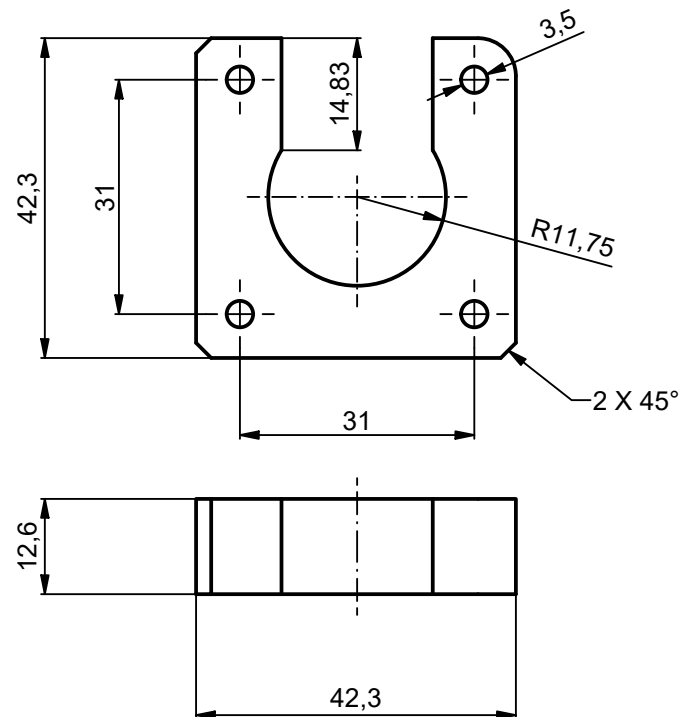
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES		
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés				
COMPROBADO						
ESCALA: 1:2	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 13.24 CARRIL MGN 12H L750 MM MODIFICADO			Nº DE PLANO 59 / 75		
SUSTITUYE A:						
SUSTITUIDO POR:						



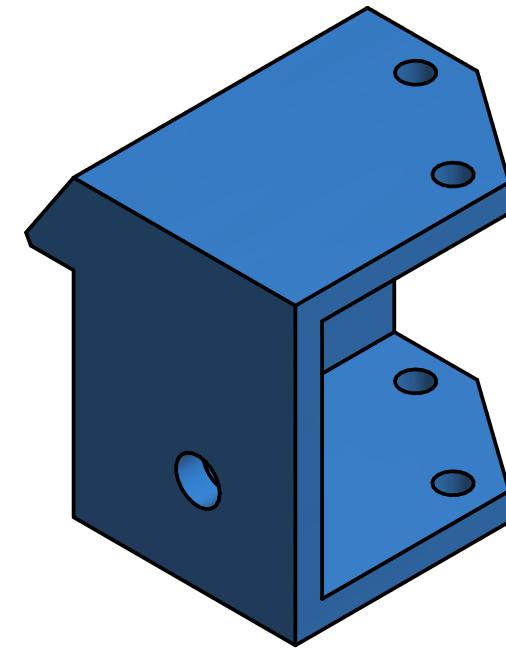
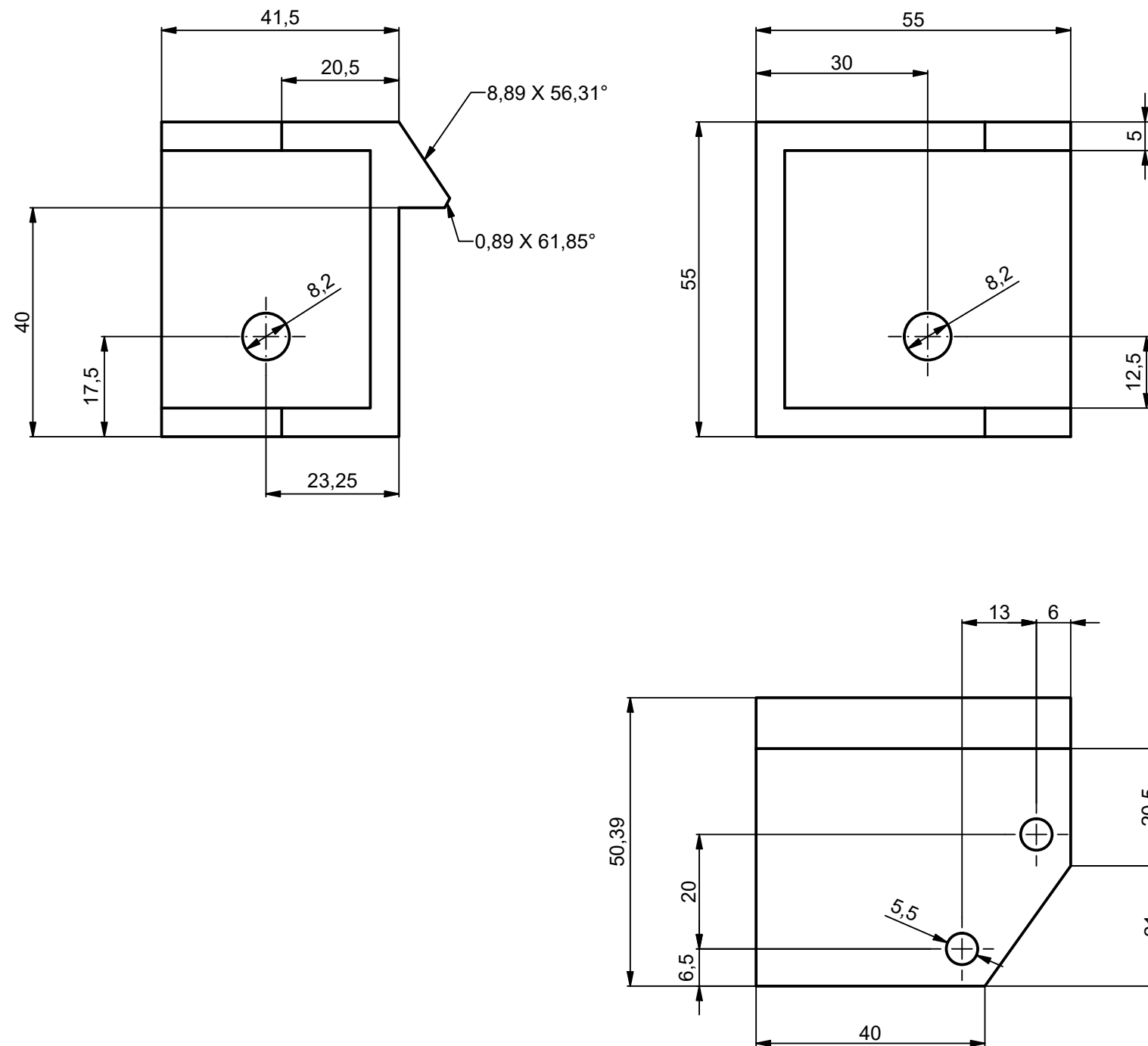
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:1	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 13.27 SOPORTE CARRIL X 1			Nº DE PLANO 60 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



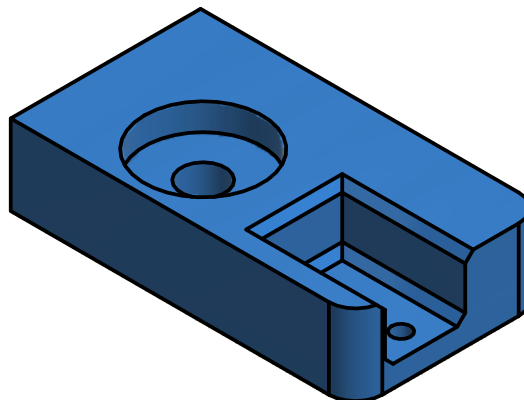
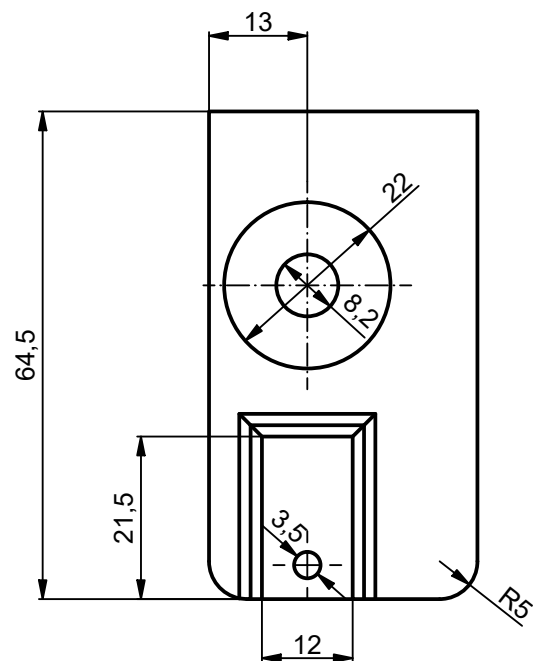
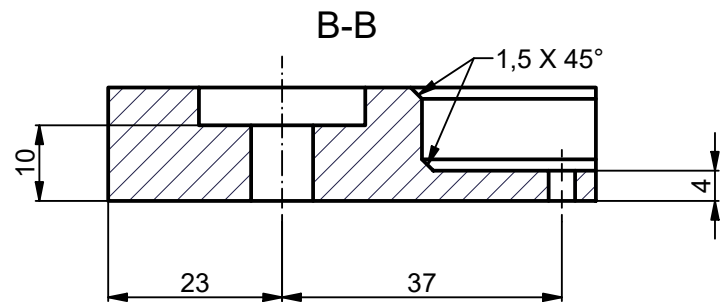
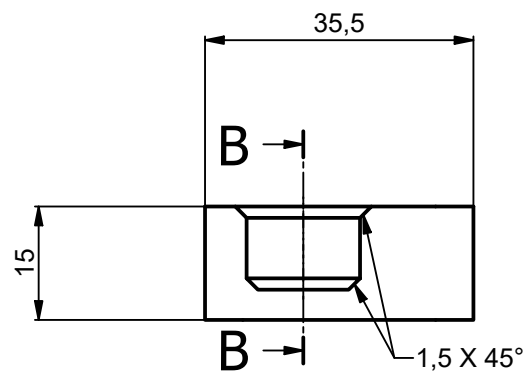
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:1	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 13.30 SOPORTE MOTOR IZQUIERDO			Nº DE PLANO 61 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



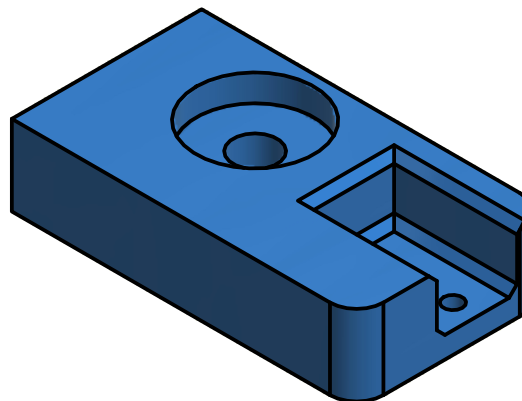
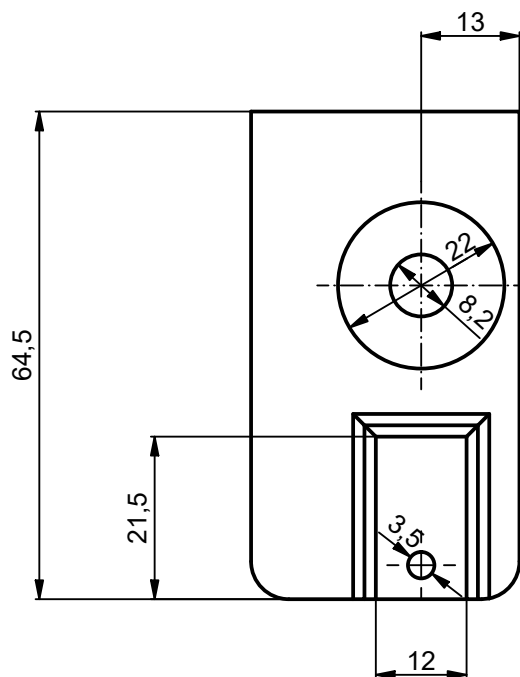
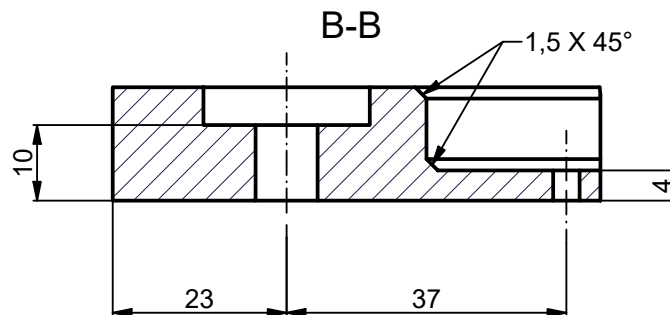
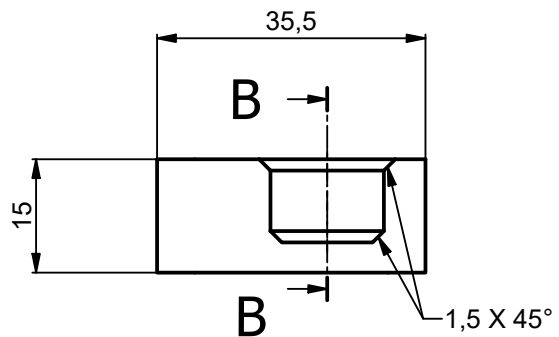
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:1	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 13.33 TACO PARA SOPORTE MOTOR			Nº DE PLANO 62 / 75
	IZQUIERDO			SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



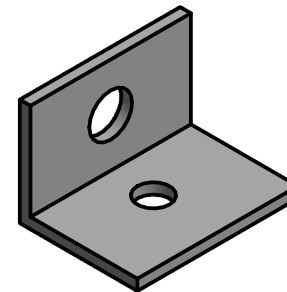
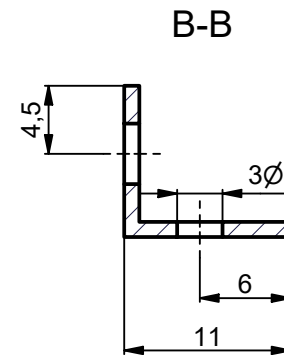
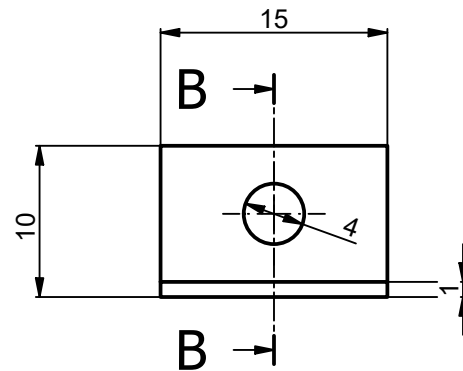
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:1	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 13.34 SOPORTE POLEAS ESQUINA IZQUIERDA			Nº DE PLANO 63 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



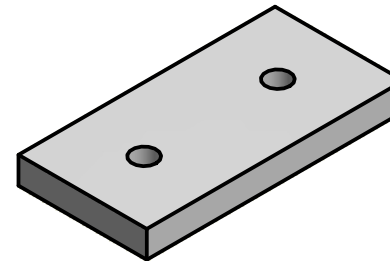
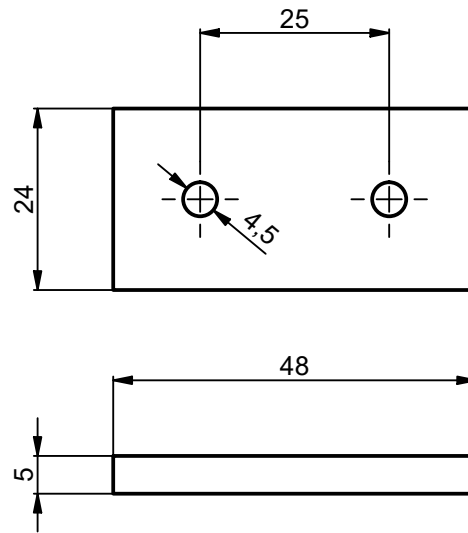
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:1	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 13.35 SOPORTE CARRIL MGN Y IZQUIERDO			Nº DE PLANO 64 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



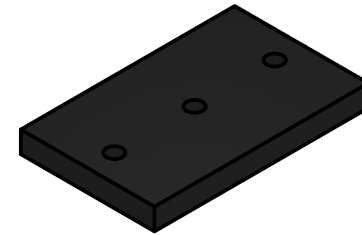
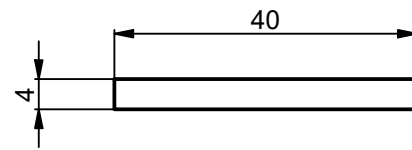
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:1	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 13.36 SOPORTE CARRIL MGN Y DERECHO			Nº DE PLANO 65 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



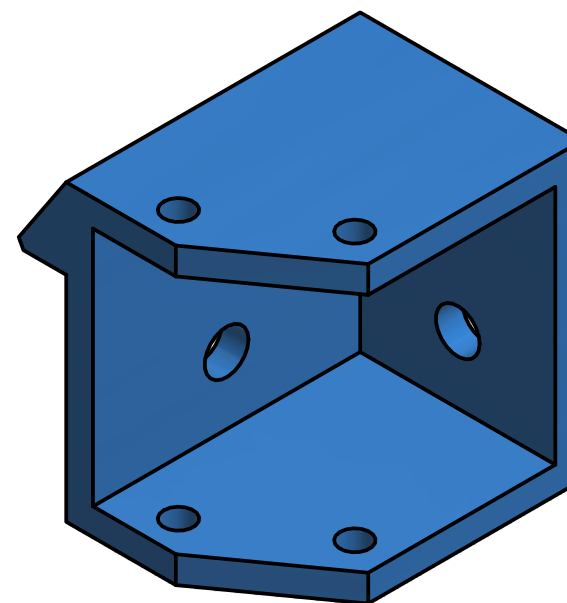
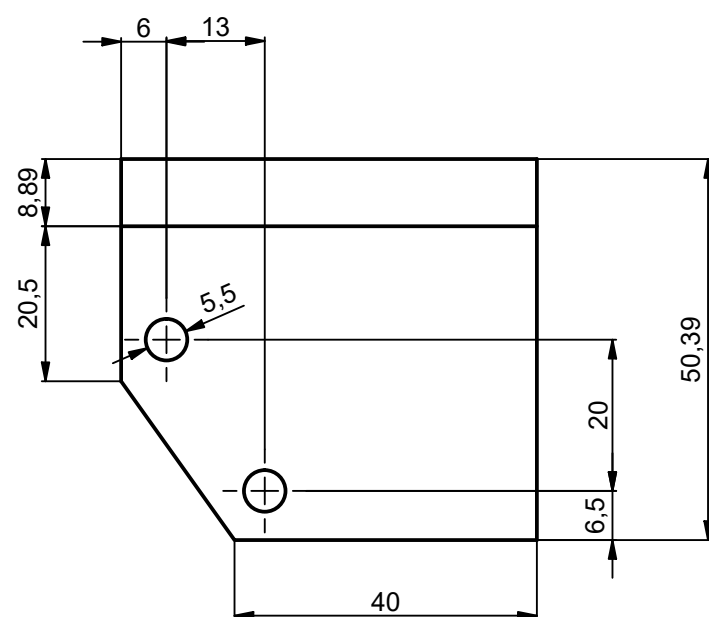
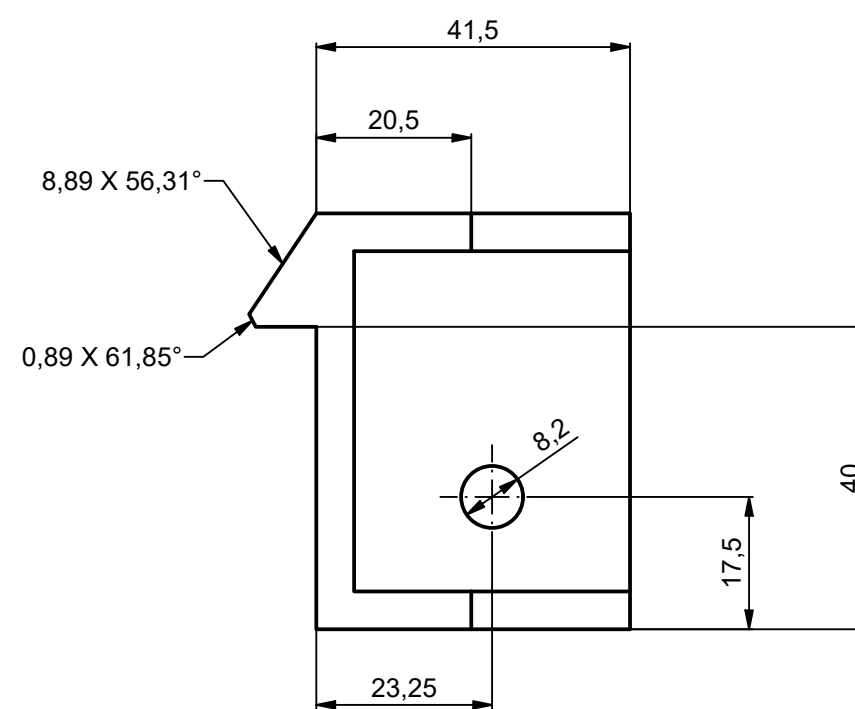
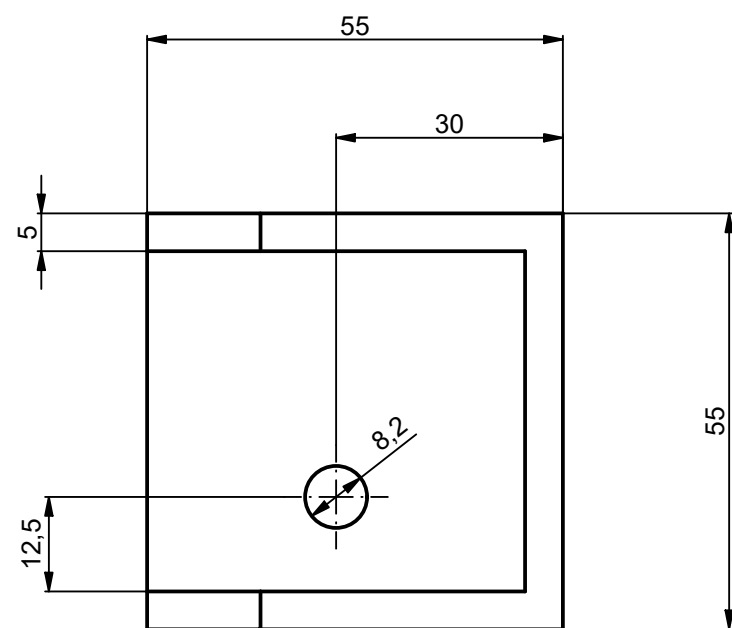
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 2:1	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 13.37 SOPORTE TORNILLO ACCIONADOR FINAL DE CARRERA			Nº DE PLANO 66 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



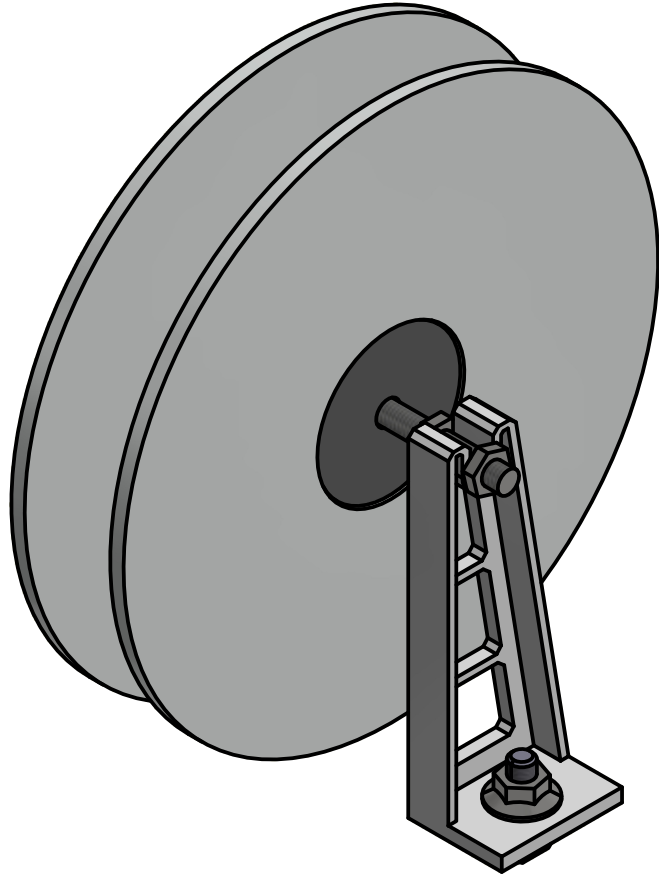
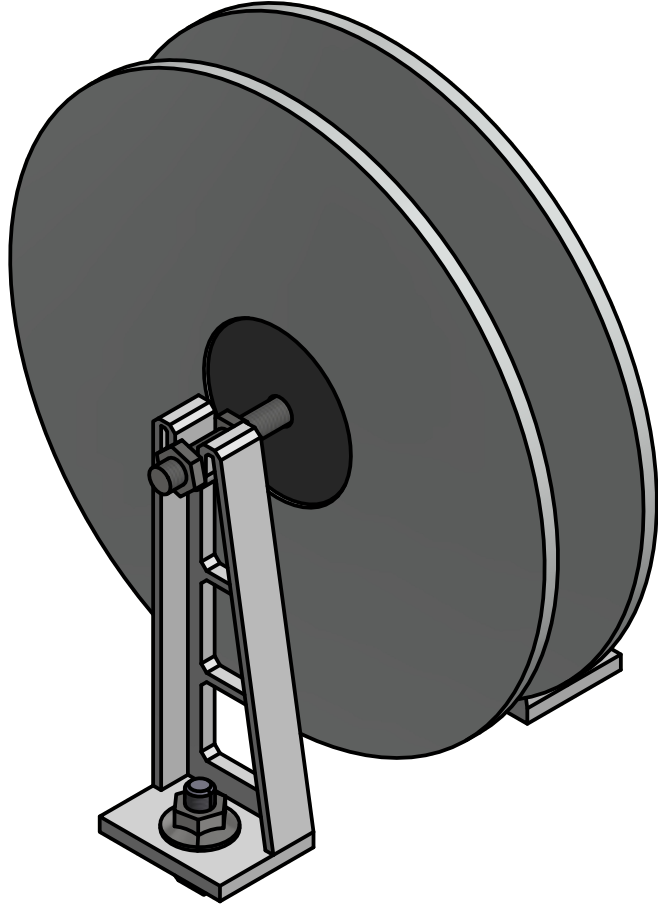
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:1	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 13.39 SOPORTE CARRIL X 2			Nº DE PLANO 67 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



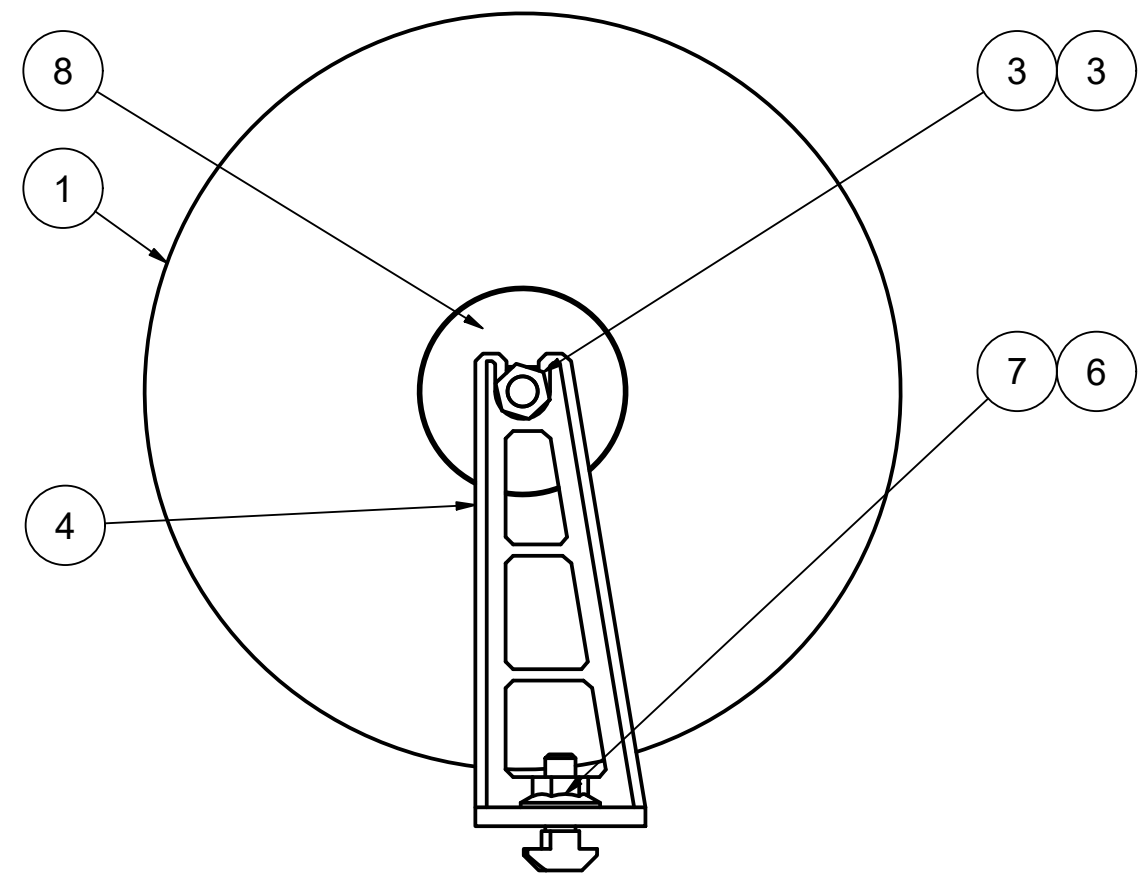
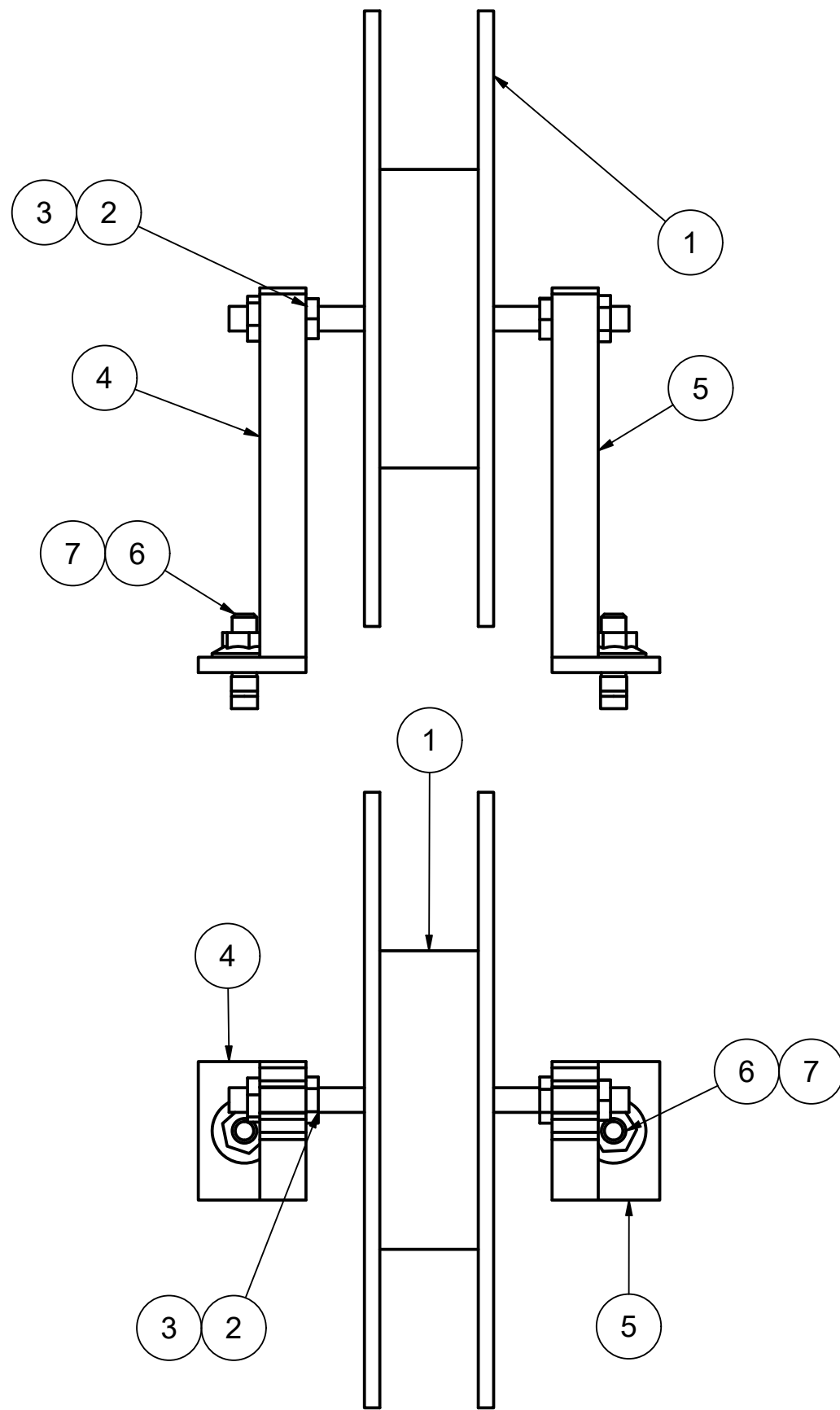
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:1	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 13.44 SOPORTE CARRILES Y			Nº DE PLANO 68 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



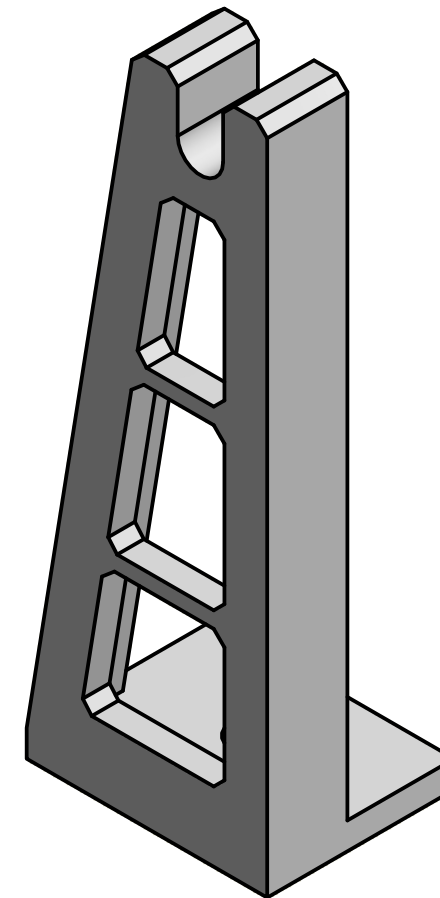
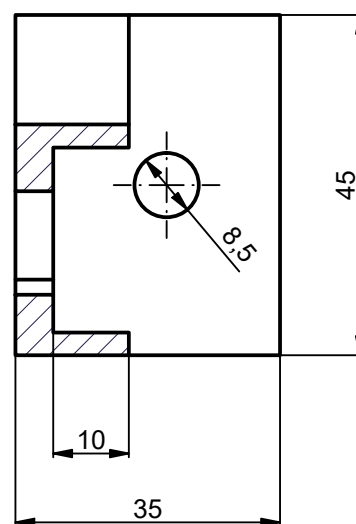
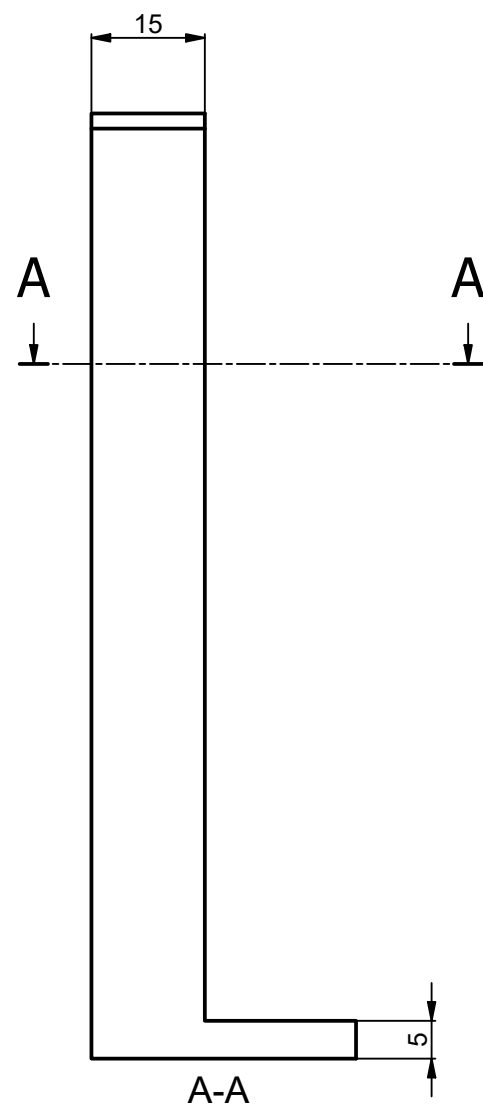
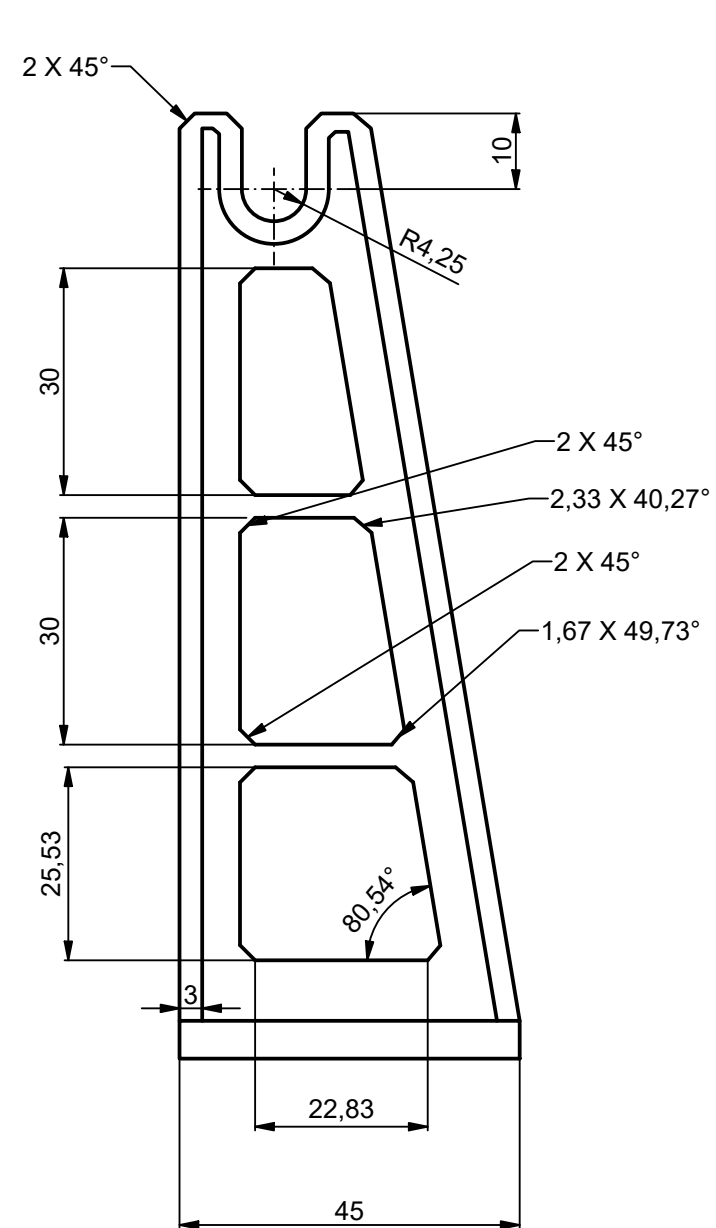
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:1	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 13.47 SOPORTE POLEAS ESQUINA DERECHO			Nº DE PLANO 69 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



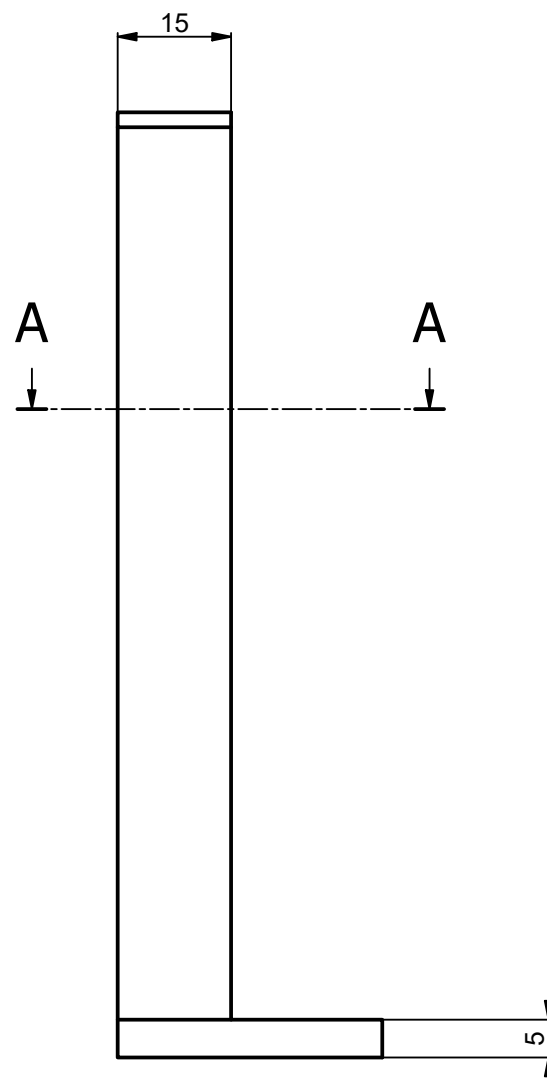
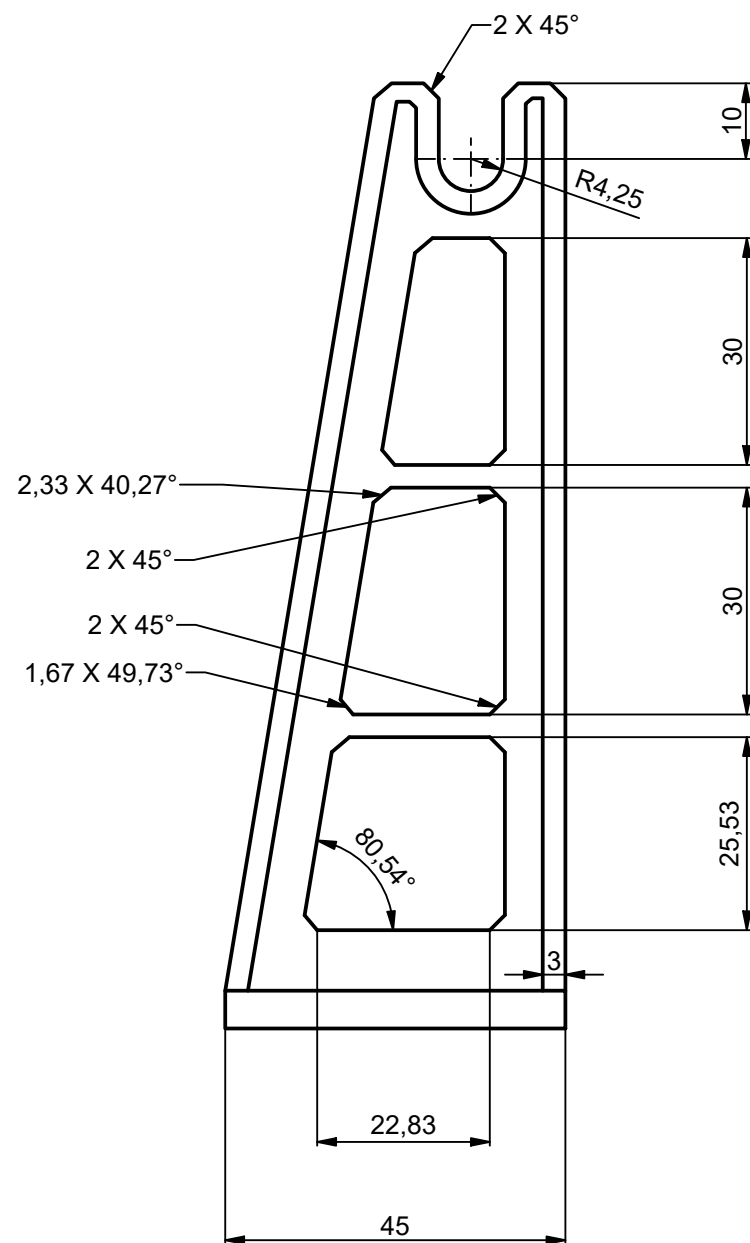
1	1	ROLLO MODELO			
2	1	VARILLA ROSCADA M8 L100 MM			
3	4	BS 4183 - M8	Tornillos para maquinaria y tuercas de tornillos para maquinaria. Serie métrica		
4	1	14.4 SOPORTE ROLLO 1	PLA		
5	1	14.5 SOPORTE ROLLO 2	PLA		
6	2	TORNILLO CABEZA DE MARTILLO M8 L25 MM	FASTEN 525025		
7	2	TUERCA BRIDA M8 MM	FASTEN 525025		
8	1	14.8 TACO ROLLO PVC			
Marca	Ctd.	Designación	Descripción		
		FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
	DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
	COMPROBADO				
ESCALA: 1:2		DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D CONJUNTO SOPORTE ROLLO DE FILAMENTO			Nº DE PLANO 70 / 75
					SUSTITUYE A:
					SUSTITUIDO POR:



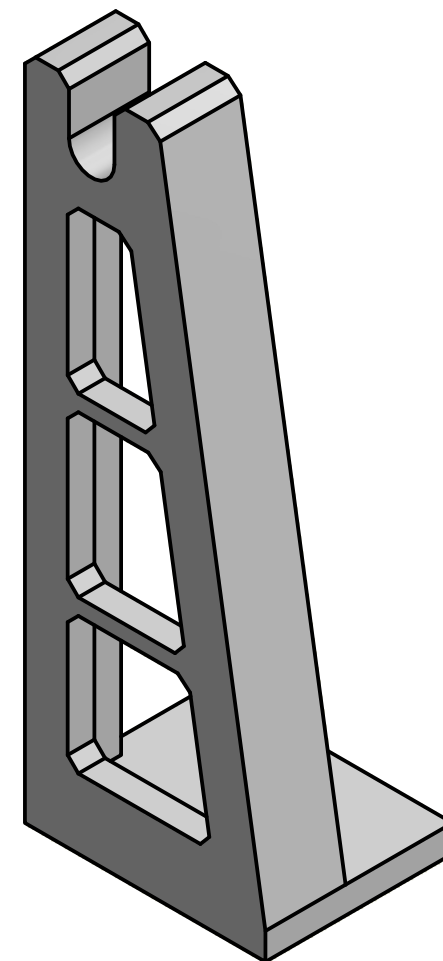
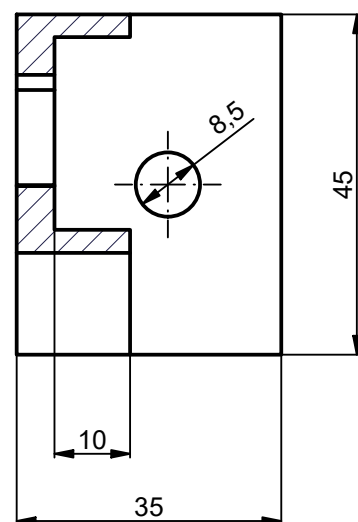
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés			
COMPROBADO					
ESCALA: 1:2	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D CONJUNTO SOPORTE ROLLO DE FILAMENTO				Nº DE PLANO 71 / 75
					SUSTITUYE A:
					SUSTITUIDO POR:



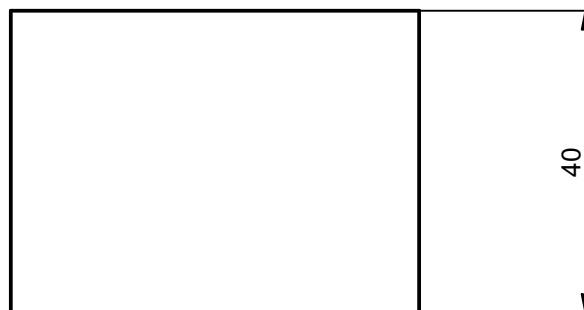
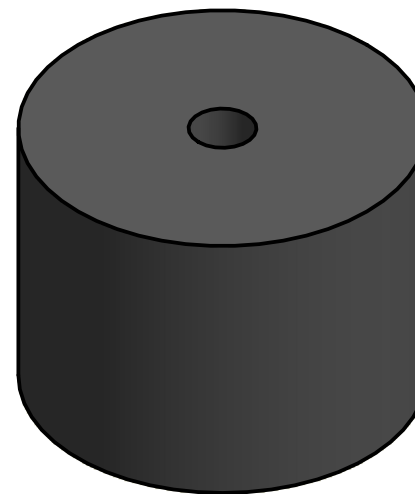
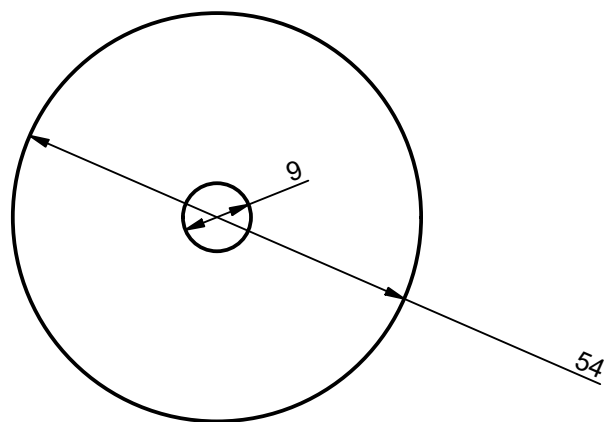
	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés			
COMPROBADO					
ESCALA:				Nº DE PLANO	
1:1	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 14.4 SOPORTE ROLLO 1				72 / 75
				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



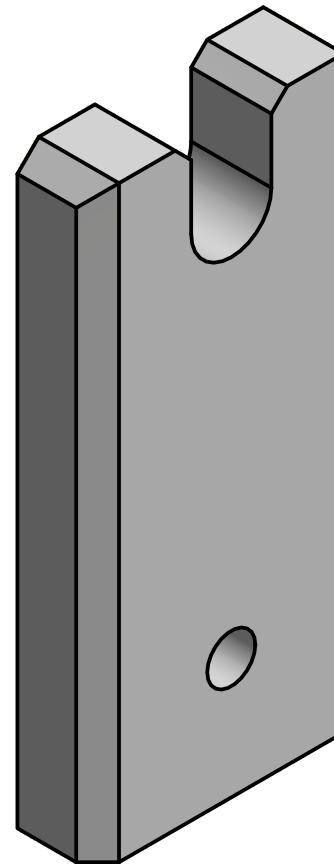
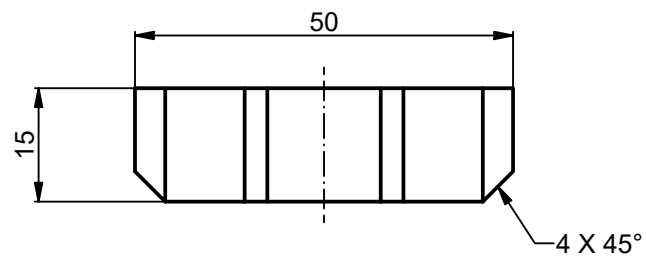
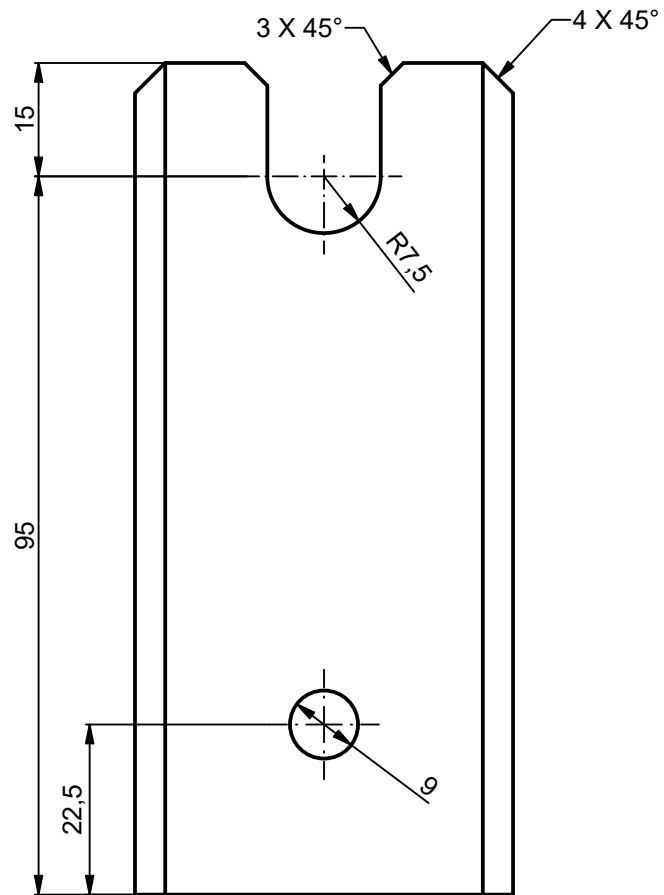
A-A



	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES		
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés				
COMPROBADO						
ESCALA: 1:1	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 14.5 SOPORTE ROLLO 2			Nº DE PLANO 73 / 75		
SUSTITUYE A:						
SUSTITUIDO POR:						



	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés		
COMPROBADO				
ESCALA: 1:1	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 14.8 TACO ROLLO PVC			Nº DE PLANO 74 / 75
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



	FECHA	NOMBRE	FIRMAS	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO		Raúl Gil Ginés			
COMPROBADO					
ESCALA: 1:1	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D 6 SOPORTE TUBO FLEXIBLE DE CABLEADO			Nº DE PLANO 75 / 75	
				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	