

Álvaro Polo García

**Diseño y prototipado de una impresora 3D de eje
infinito**

**Treball Fi de Màster
dirigit pel Dr. Genaro González Baixauli**

Màster en Enginyeria Industrial



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

**Tarragona
2020**

Índice

1	Introducción.....	1
2	Alcance.....	3
3	Estudio preliminar.....	3
4	Diseño de la impresora.....	4
4.1	Extrusor ^[4]	5
4.1.1	Extrusor directo.....	5
4.1.2	Extrusor <i>Bowden</i>	6
4.1.3	Extrusora de motor remoto.....	7
4.2	<i>Heatsink</i>	8
4.2.1	<i>Heatsink</i> integrado.....	8
4.2.2	<i>Heatsink</i> externo.....	8
4.3	Piezas estructurales.....	9
4.3.1	Estructura de la impresora.....	9
4.3.2	Piezas móviles.....	9
4.3.3	Piezas impresas 3D.....	10
4.4	Componentes electrónicos.....	18
4.4.1	Motores.....	18
4.4.2	Placa.....	19
4.4.3	PSU.....	20
4.4.4	Diagrama de cableado.....	21
4.5	Firmware.....	21
4.6	Presupuesto.....	26
4.6.1	Tornillería.....	26
4.6.2	Electrónica.....	27
4.6.3	Rodamientos.....	27
4.6.4	Perfiles.....	27
4.6.5	Extrusor.....	27
4.6.6	Varios.....	28
5	Resultados.....	28

Índice Anexo

A.	Indicaciones básicas de seguridad	32
A.1.	Riesgo eléctrico.....	32
A.2.	Riesgo de atrapamiento mecánico	32
A.3.	Riesgo de quemaduras	32
A.4.	Riesgo de salud ^[11]	32
B.	Estudio de esfuerzo de piezas impresas	34
B.1.	Belt Stepper Mount.....	34
B.2.	Rear Idler Right	39
B.3.	Stepper Mount Right.....	43
C.	Manual de montaje de la impresora.....	50
D.	Optimización topológica de las piezas	62
D.1.	Belt Stepper Mount.....	62
D.2.	Rear Idler Right	62
D.3.	Stepper Mount Right.....	63
E.	Planos de piezas a imprimir	64
F.	Factory Acceptance test	86
	Bibliografía	96

1 Introducción

Una impresora 3D es un equipo que tiene la capacidad de reproducir modelos 3D mediante la deposición de material en capas sucesivas de altura micrométrica, denominado *additive manufacturing process*.

Los inicios de la tecnología de impresión 3D data de los primeros años de la década de los 80, cuando en mayo de 1981, el Dr. Hideo Kodama del Instituto Municipal de Investigación Industrial de Nagoya publica el primer documento relacionado con técnicas de prototipado rápido, donde exponía la posibilidad de crear mediante la curación de polímeros fotosensibles en capas micrométricas apiladas para elaborar un objeto 3D. No obstante, no sería hasta mediados de 1980, cuando Charles W. Hull diseñó y creó la primera impresora 3D que utilizaba esa tecnología, la estereolitografía (SLA).[15]



Ilustración 1 SLA-1 la primera impresora 3D de la historia.

No sería hasta 1989 cuando Scott Crump, cofundador de *Stratasys*[®] la empresa de impresoras 3D y servicios de impresión 3D, registra la patente US5121329[18], donde se describe la tecnología por la cual a día de hoy se reconoce la impresión 3D, la tecnología de *Fused Deposition Modeling* o FDM. Esta tecnología basada en la fundición de material, permitía obtener objetos que eran más resistentes física y químicamente pero que eran más lentos de generar y menos precisos que con la tecnología SLA.

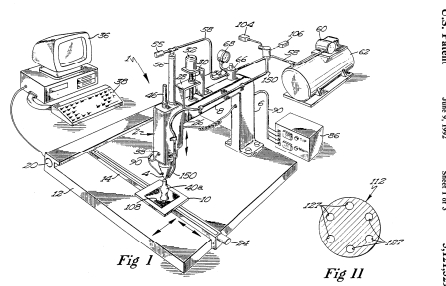


Ilustración 2 Imagen de la patente US5121329A registrada por Scott Crump en 1989. [18]

Paralelamente en la Universidad de Texas, en 1988 se registraría la patente USPTO 4.863.538 [17] de mano de Carl Deckard y Joe Beaman, donde desarrollaban una tecnología de impresión que abriría décadas después, una gran revolución a nivel no solo ingenieril, sino que, a nivel médico, el Sinterizado Selectivo por Laser o SLS. Esta tecnología compartía muchas similitudes con el SLA, ya que ambas utilizaban luz para crear un objeto tridimensional (UV el SLA y laser el SLS).

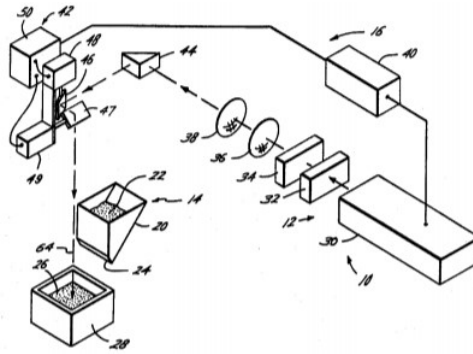


Ilustración 3 Imagen del prototipo de impresora de sinterizado laser presente en la patente 4.863.538. [17]

No obstante, todas estas tecnologías estaban lejos del usuario, eran tecnologías destinadas a investigación, ingenierías e industrias. No sería hasta los años 2004 – 2005 cuando el Dr. Adrian Bowyer, inspirado en la impresión 3D y bajo el pretexto y la idea de que una impresora 3D podría ser capaz de autorreplicarse y construir más versiones de ella, crea lo que se denomina movimiento *RepRap* o "*Replicating Rapid Prototyper*", movimiento *open source* enfocado a la distribución y democratización de impresoras 3D de bajo coste a nivel mundial.

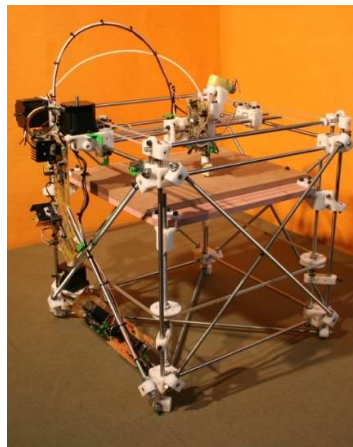


Ilustración 4 Impresora *RepRap* Darwing, primera impresora *low cost* y replicable elaborado por Dr. Adrian Bowyer en 2006.

En este proyecto, se aborda e intenta demostrar la viabilidad que tiene dicho movimiento, elaborando una tecnología aun en desarrollo como son las impresoras de eje infinito usando como base la comunidad *RepRap*.

2 Alcance

El objetivo del proyecto es el de realizar la elaboración de un prototipo funcional de impresora 3D que use la tecnología del eje infinito.

Primeramente, se estudiará la existencia de modelos comerciales que implementen la tecnología en busca de estudiar el funcionamiento y limitación que presenta este tipo de impresora.

En la segunda fase del proyecto, se buscará la existencia de un modelo *RepRap* y se estudiará la viabilidad de este, analizando respecto al modelo comercial las distintas configuraciones que puedan existir y las ventajas e inconvenientes que presenta cada caso. Finalmente se realizará la selección del diseño más idóneo y se trabajará con el como base para elaborar el prototipo, en caso de no existir un diseño de estas características, se elaboraría un diseño propio.

A partir de dicho diseño y mediante el empleo de la herramienta de software *SolidWorks*[®][8] se realizará un estudio de esfuerzos estáticos de las piezas estructurales, para poder determinar el mejor material para la elaboración de estas así como la optimización topológica del *infill* de cada una de las piezas para conseguir obtener un modelo con el mayor rendimiento, velocidad y menor coste a la hora de elaborar el prototipo.

Una vez analizado y optimizado las piezas, se realizará la construcción del prototipo, su posterior puesta en marcha y se elaborará un manual de montaje de la misma.

3 Estudio preliminar

Este estudio se ha focalizado en los tres únicos modelos de impresora de eje infinito existentes en el mercado, la *Powebelt3D Zero*[10], la *Sliding-3D*[14] y la *BlackBelt 3D*^[5].

Las principales características encontradas comunes en ellas son:

- Se redistribuye el eje de coordenadas XYZ. El Eje Z pasa a ser un eje infinito desplazado a la posición que ocuparía el Eje Y en una impresora cartesiana y el plano XY (plano de actuación del cabezal) pasa de la perpendicularidad a estar a 45°. Esta modificación del ángulo permite al usuario imprimir cualquier tipo de pieza sin la necesidad de utilizar material de soporte.
- Este tipo de impresora no presenta instalada una cama caliente, limitando la posibilidad de utilizar materiales cuya contracción o distorsión térmica sea muy baja cuando se solidifican.
- Al tratarse de impresoras destinadas a la producción, cuentan únicamente con un único cabezal de impresión cuyo *nozzle* tiende a ser de diámetros superiores a 0.4mm que podríamos esperar en una impresora 3D de sobremesa.
- Requieren del uso de guías lineales debido a que se necesitan movimientos muy precisos a elevada velocidad y debido a la disposición del plano XY el uso de rodamientos como los LM8UU podría provocar deformaciones en este, incrementando posibilidad de malfuncionamiento e incluso el fallo de la misma impresora.
- La estructura de este tipo de impresora requiere una mayor rigidez que las cartesianas o las deltas, por ello se emplean perfiles de aluminio y componentes de acero inoxidable.
- Son impresoras con un precio superior al de impresoras cartesianas profesionales FDM (>12.000€).

Una vez efectuado este estudio, se puede listar los requisitos que debería tener una impresora de estas características, y teniendo en cuenta que el objetivo de este proyecto es el de elaborar un prototipo funcional. Se buscará un diseño cuya escala pueda ser utilizada en centros de ingeniería y talleres de pequeña/media escala. Con esto en mente, se detallan los siguientes requisitos que se consideran indispensables para la elaboración del prototipo.

- Uso de componentes estándar o de fácil replicación/repelación en un 60% del total de la impresora.
- Lograr obtener una estructura con la máxima rigidez utilizando perfiles de aluminio que sea capaz de absorber las vibraciones generadas por la impresión.
- Reducir al máximo el uso de materiales no reciclables o tóxicos. Por ello se plantea la idea de optimizar el *infill* de las piezas estructurales debido a que son las que mayor volumen de plástico requieren mediante una optimización topológica del mismo e imprimirlas en plásticos biodegradables como son el PLA o reciclables como el PETG.
- Al estar destinada al uso en interior, se requerirá que el nivel sonoro durante su funcionamiento sea de entre 30 y 55dB.
- Reducir el coste de la impresora a un máximo de un 20% del valor de una impresora comercial de características similares.

4 Diseño de la impresora

El diseño de una impresora de eje infinito con Core XY presenta una diferencia notable en comparación con las impresoras FDM o FFF cartesianas y delta, y es el hecho de no tener un carro o cama de impresión rígida, si no que posee una cinta transportadora cuyo movimiento nos proporciona un nuevo escenario para el Eje Y.

En lo que refiere al Eje Z, eje perpendicular a la cama que marca la altura de impresión, y el Eje X, eje longitudinal que marca la anchura de la impresión, van combinados en un único plano a 45° del Eje Y en lo que denominamos Core XY.

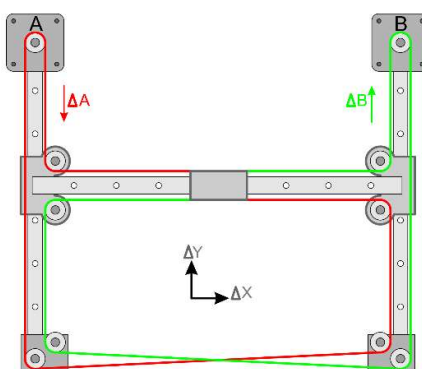


Ilustración 5 Representación de un mecanismo Core XY en una impresora cartesiana.

El mecanismo detrás de un Core XY está basado en el equilibrio de la carga del cuerpo de extrusión con la ayuda de dos poleas que permiten la perpendicularidad constante de este. Así mismo, concede una construcción más ligera, haciendo que el Eje X sufra una menor carga y reduciendo la posibilidad de doblar las guías así como garantizar el poder acceder a un rango de velocidad y aceleración superior que las impresoras cartesianas.

En los siguientes subapartados, se discutirán y expondrán las diferentes opciones presentes en el mercado actual y las consideraciones tomadas para la elaboración del prototipo.

4.1 Extrusor^[4]

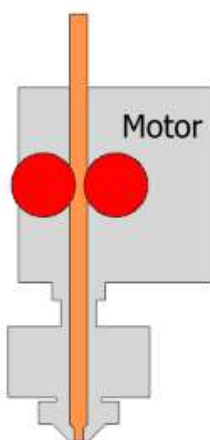
El extrusor es la parte de la impresora 3D que se encarga de depositar el material en estado líquido o semilíquido sobre la cama de impresión en forma de sucesivas capas dentro del volumen de impresión.

Dentro de la familia de impresoras FDM/FFF en la cual nos encontramos, el cabezal de impresión consta de un conjunto de partes, de las que destacaremos el motor encargado de dirigir el filamento plástico, el *hotend* encargado de fundir el plástico, el *heatbreak* encargado de evitar la propagación del calor el *nozzle* o extrusor que lo deposita y los ventiladores encargados de regula la temperatura del cabezal y de enfriar la capa que se está extruyendo.

Podemos encontrar dos grandes familias de extrusores, extrusor directo o extrusor *Bowden*.

4.1.1 Extrusor directo

Como el nombre nos sugiere, en un extrusor de tipo directo el filamento va directo del engranaje impulsor al *HotEnd* de la impresora ya que están acoplados directamente al cabezal de impresión.



Direct Drive

Ilustración 6 Representación simplificada de un extrusor directo.

La reducida distancia requerida entre el *HotEnd* y el engranaje facilita un mejor control de la extrusión y retracción del filamento, controlando la cantidad de material depositado y, al haber poca distancia entre accionamiento y *HotEnd*, reduciendo la compresión o flexión sufrida por el filamento.

No obstante, el acoplado directo en el extrusor añade el peso del motor al cabezal de impresión, haciendo que pueda causar problemas al efectuar impresiones a alta velocidad, ondulaciones en la pieza (*ghosting*) o problemas de torsión de los elementos mecánicos durante los cambios de dirección.

También presenta baja tolerancia a problemas de sobreextrusión, dificultad de ajustado del Eje Z o la dificultad de poder establecer una cámara caliente debido a que los motores de paso estándar no están diseñados para funcionar a una temperatura superior a los 60°C.

4.1.2 Extrusor *Bowden*

El extrusor de tipo *Bowden* poseen el motor extrusor colocado a cierta distancia del *HotEnd*, dicho motor generalmente se fija en el marco de la impresora fuera de la zona de impresión.

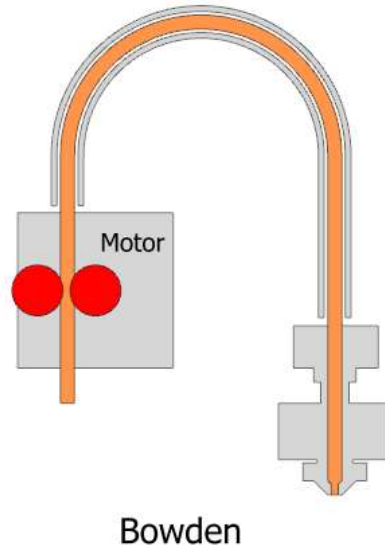


Ilustración 7 Representación simplificada de un extrusor *Bowden*.

Este tipo de disposición reduce el peso en el cabezal de impresión y nos permite alcanzar velocidades de impresión más elevadas. A sí mismo, la situación externa del motor del *Bowden* hace que sea relativamente sencillo la instalación de una cámara caliente.

Como contraparte, la distancia que tiene que viajar el filamento para llegar al *HotEnd* obliga que las distancias de retracción tengan que ser generalmente superiores a las necesarias en una extrusión directa así como la imposibilidad práctica de imprimir con materiales flexibles.

4.1.3 Extrusora de motor remoto

Una extrusora de motor remoto generalmente tiene el mecanismo de impulsión de filamento colocado justo encima del *HotEnd*, proporcionando un excelente control de la retracción, sin obstaculizar los movimientos del cabezal debido a que el motor está fijado en la estructura de la impresora, transmitiendo la potencia al cabezal mediante un eje semirrígido.

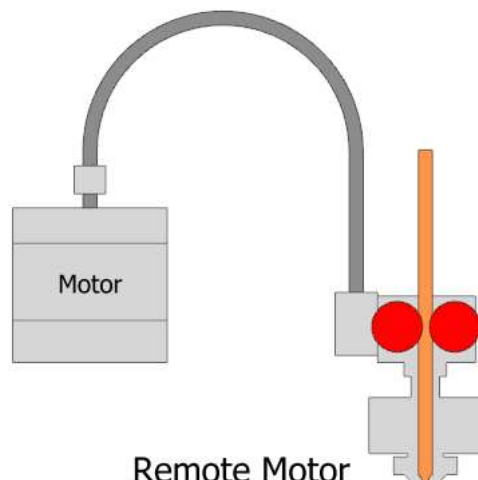


Ilustración 8 Representación simplificada de un extrusor de motor remoto.

Este tipo de extrusor permite la impresión de materiales flexibles en las mismas condiciones que presentaría un extrusor directo. Tolera los problemas de sobreextrusión o una mala calibración de la cama debido a que el cable de transmisión suaviza los posibles picos de presión en la boquilla sin añadir las desventajas de la distancia entre el motor y el *HotEnd*.

A continuación, se detalla una tabla comparativa de los diferentes sistemas de extrusión, detallando sus ventajas e inconvenientes.

Tabla 1 Resumen comparativo de los diferentes tipos de extrusor.

	Directo	<i>Bowden</i>	Motor remoto
Compatibilidad de materiales	Amplio rango de materiales disponibles, desde flexibles a abrasivos.	Sufre ante algunos materiales flexibles y abrasivos.	Ninguna incompatibilidad.
Velocidad de impresión	<50 mm/s	>100 mm/s	>200 mm
Distancia de retracción	De 0,8 a 1,8 mm	De 4 a 6 mm	De 1,5 a 2 mm
Torque de motor	>36 N/cm	>48 N/cm	16 N/cm
Generación de <i>ghosting</i>	Elevada	Baja	Baja
Peso del cabezal	500 g	100 g	100 g
Accesibilidad	Gran oferta y diversidad de productos		Complicado
Precio	Desde 135 €		Desde 120 €

De la tabla, podemos concluir que los sistemas que utilizan un motor remoto son los sistemas más completos y robustos, ya que combinan las ventajas que ofrecen tanto sistemas directos como *Bowden*. No obstante, al ser una tecnología relativamente nueva ^[2] presenta un escenario complejo en cuanto a instalación y mantenimiento, así como a la accesibilidad de comprar el sistema.

Como dentro de los requisitos de diseño, se ha especificado una impresora que tenga la suficiente velocidad como para poder ser utilizada como herramienta de desarrollo o línea productiva, se ha decidido utilizar un sistema *Bowden*, debido a que un sistema directo aun

ofrecernos una mayor gama de compatibilidad de materiales, nos limitaría en exceso la velocidad de impresión.

4.2 Heatsink

Una de las partes más críticas en una impresora 3d se encuentra en la óptima disipación del calor generado por el *HotEnd*. Una incorrecta disipación de calor en el *barrel* del extrusor puede provocar desde una obstrucción del *nozzle* debido a que la temperatura del filamento al extruir es inferior a su punto de fusión a un exceso de calor que podría llegar a provocar la ignición del propio cabezal.

Para conseguir que la temperatura de impresión sea la óptima, se ejerce una disipación de calor forzada mediante un ventilador y el uso del *heatsink*. En el mundo de la impresión 3D existen diversas morfologías de *heatsink* y es motivo de estudio^[3], no obstante, podemos destacar dos morfologías.

4.2.1 Heatsink integrado

Se podría considerar como mejor ejemplo de esta tipología los *Heatsink* de la empresa E3D, estándar de la impresión 3D. Diseñados en aluminio y conformados por 11 aletas circulares de 22,3 mm. El diseño de este disipador está dirigido a englobar rangos de temperatura de hasta 290°C sin complicación.



Ilustración 9 Heatsink integrado.

4.2.2 Heatsink externo

Los *heatsink* externos no forman parte de la estructura del barrel del cabezal. Diseñados normalmente en aluminio de grado aeronáutico, de aleta rectangular donde el mayor cambio morfológica respecto a los *heatsink* integrados como son el E3D es que este no forma parte del *barrel*.



Ilustración 10 Heatsink externo.

Esta tipología está destinada a impresoras que desean alcanzar temperaturas de impresión elevadas y al uso de materiales exóticos, permitiendo que el cabezal llegue a alcanzar los 500°C o a aquellas impresoras destinadas a impresiones de alta velocidad.

4.3 Piezas estructurales

En lo referente a las piezas que conforman la estructura de la impresora, podemos diferenciar, por una parte, las piezas que formaran el cuerpo de la impresora y por otra las que formaran la cinta.

4.3.1 Estructura de la impresora

La estructura principal de la impresora y su integridad influyen directamente en la calidad de las impresiones y en la fiabilidad de la misma maquina ya que es la encargada de dar rigidez y la que recibirá las vibraciones generadas por los motores.

En el mundo de la impresión 3D, podemos distinguir los siguientes materiales con los cuales podemos generar nuestra estructura:

- **MDF:** Debido a su facil acceso, su bajo precio y hasta cierto punto, su facilidad de ser mecanizado, hicieron del MDF al principio del movimiento *RepRap* un material perfecto. No obstante, su facilidad por crear holgura a la hora de mecanizar unido a su poca rigidez, hacen de este un material poco aconsejable.
- **Metacrilato:** El uso de este material surgió como una evolución del uso del MDF, con una mayor facilidad para conseguir mecanizados de gran precisión y su bajo coste hacen de este un material a tener en cuenta a la hora de elaborar impresoras 3D, habiendo incluso grandes ejemplos en el mercado como puede ser la *Anet A8*. No obstante, la falta de rigidez y la dificultad de ensamblajes estables, no se recomienda el uso más que en partes puramente estéticas.
- **Perfiles de aluminio:** Es una de las opciones más atractivas que podemos encontrar y que mejor resultado dan. Los perfiles de aluminio son fáciles de encontrar al ser estándares, están mecanizados de manera muy precisa, son rígidos y además son bastante baratos.
- **Hibrido:** Cuando hablamos de estructuras híbridas nos referimos a una combinación entre partes de plástico (impresas o inyectadas) con alguna de las tres anteriormente mostradas. Es probablemente la opción más usada y un claro ejemplo es la marca de impresoras *Prusa*.

En lo referente a la impresora de este trabajo, se opta por una impresora hibrida de perfiles de aluminio ranurados y piezas impresas FDM, de esta manera nos aseguramos que nuestra maquina obtendrá la rigidez necesaria y a su vez se reduce el coste de mecanizado de piezas a la par que cumplimos con los requisitos establecidos.

4.3.2 Piezas móviles

Para que nuestro cabezal sea capaz de desplazarse y cubrir todo el plano XY, se requieren piezas que guíen el movimiento. Para ello, contamos con las piezas descritas a continuación:

- **Varillas lisas con rodamientos:** En el mayor porcentaje de impresoras, la combinación entre una varilla, normalmente de 8mm de acero inoxidable o cromado y un rodamiento de bolas tipo LM8UU o casquillos de polímero, son la elección más sencilla a la hora de elegir nuestro sistema de movimiento. De calidades aceptables a bajos precios, son muy buena opción por su buen desempeño, no obstante, incrementan el ruido y el *ghosting* de la impresora.

- **Guías lineales:** Normalmente solo las podemos encontrar en impresoras de alta gama, son bastante caras, pero dan grandes resultados. En general, aportan más rigidez que las varillas y generan menor cantidad de vibraciones, haciendo de estas una buena opción para reducir ruido y *ghosting*.

En este proyecto, se toma la decisión de usar guías lineales debido a la integridad de las mismas, si se utilizaran varillas con rodamientos, al tener un eje Y tan largo, correríamos el riesgo de que pandearan y acabaran afectando a la impresión e incluso rompiéndose. Así mismo, también ayudan a cumplir uno de los requisitos establecidos al generar menos contaminación acústica.

4.3.2.1 Dimensionamiento de las guías lineales

En el siguiente apartado aparece el cálculo de las cargas a la cual estarán sometidas las guías lineales del *core XY*. Como base de cálculo se usará la masa del cabezal de impresión conformada por la masa de plástico del conjunto de piezas del cabezal (100g), a la que se le tendrá que sumar la del extrusor (200g) y los ventiladores (50g) y la del perfil de acero de 48cm (545g) por donde se desplazara el cabezal.

$$P_c(N) = \frac{1}{2} \cdot m \cdot g \quad (1)$$

Si dividimos el valor P_c entre dos, conoceremos la carga que aguantara cada uno de los patines a ambas bandas del carro. Con ello obtenemos que cada patín debe soportar un mínimo de 2,2N. Este valor de carga es muy bajo, por lo que al estar muy por debajo de la carga máxima que suelen aguantar las guías lineales MGN12 (3,8kN con fuerzas dinámicas y 6kN con fuerzas estáticas) podemos asegurar que no sufrirá deformación.

4.3.3 Piezas impresas 3D

Al tratarse de una impresora con una estructura híbrida, un porcentaje de la misma será impreso con filamento plástico mediante el uso de una impresora 3D. Al partir de piezas prediseñadas con anterioridad que podemos encontrar en repositorios 3D como son *Thingiverse*[16], *YouMagine*[19] o *MyMiniFactory*^[1], se deberá caracterizar las mismas con el programa *SolidWorks* de tal manera que podamos seleccionar el material más adecuado para la función que va a desempeñar la pieza y optimizar el *infill* o relleno de la misma ya que una pieza de plástico maciza supondría un gasto innecesario.

4.3.3.1 Selección de material

Para seleccionar el material óptimo para las piezas impresas, primeramente, se seleccionan aquellos materiales que cumplen con el requisito de no tóxicos y biodegradable y/o reciclables que sean imprimibles con una impresora 3D. En nuestro caso, al tener acceso a una impresora FDM de tipología industrial, se decide contemplar la posibilidad de usar materiales diferentes al PLA, como son el HIPS o el PETG.

Para ello, se realiza una simulación de esfuerzos estáticos en *SolidWorks* de la pieza que mayor requisito tendrá, la encargada de soportar el motor de la cinta, con diferentes materiales para seleccionar idóneo. En el primer paso de la simulación se establecen los puntos en los que la pieza está sujeta y acto seguido se especifican las cargas externas que se ejercen sobre ella.

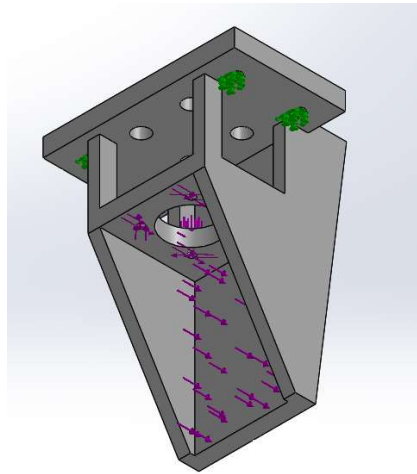


Ilustración 11 Distribución de cargas y sujeciones en la pieza *Belt Stepper Mount Pt1*.

Finalmente se malla la pieza utilizando un mallado fino para obtener mayor precisión a la hora de efectuar los cálculos a cambio de un mayor tiempo de simulación y se ejecuta la simulación.

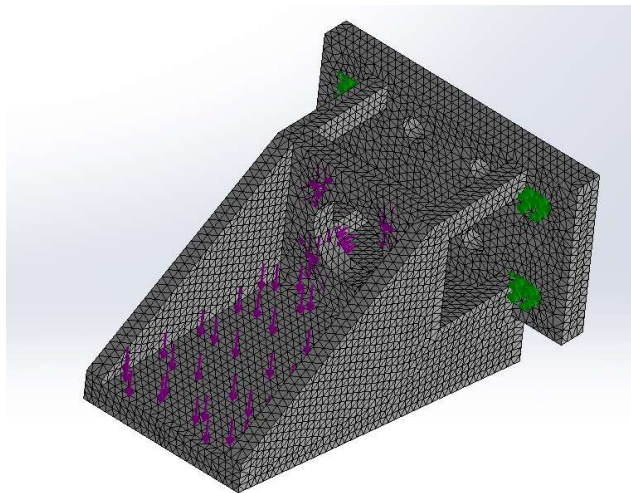


Ilustración 12 Mallado de la pieza *Belt Stepper Mount Pt1*.

El primer valor que observamos de la simulación es la deformación que sufre la pieza bajo las cargas que tiene que soportar. En dicha prueba, podemos observar como la pieza de PLA es la que mayor deformación sufriría, siendo esta un orden de magnitud superior a la que se observaría en una pieza de PETG o HIPS.

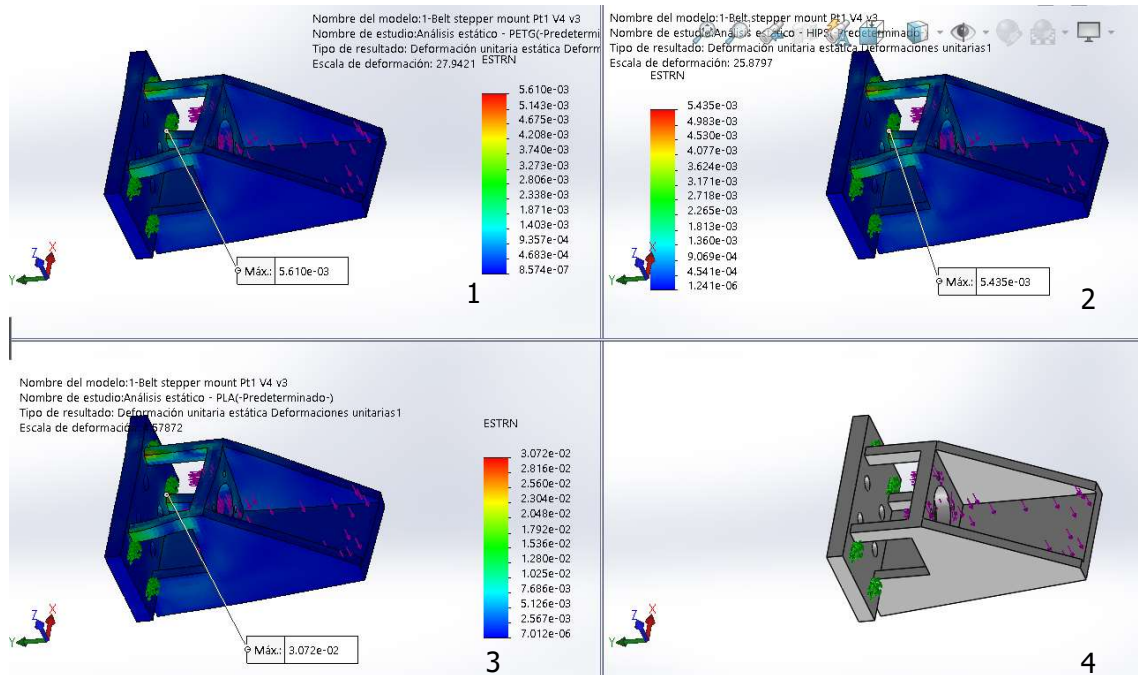


Ilustración 13 Comparativa de la deformación sufrida por la pieza *Belt Stepper Mount Pt1* para los materiales PETG (1), HIPS (2) y PLA (3) en comparación a la morfología original de la pieza (4)

En lo referente al coeficiente de seguridad que tendría cada uno de los materiales en la pieza, podemos observar que todos los materiales tienen un coeficiente de seguridad superior a 1, indicándonos que la pieza aguantaría a la solicitación dada. Así mismo podemos observar que el material que más resistiría sería el PLA.

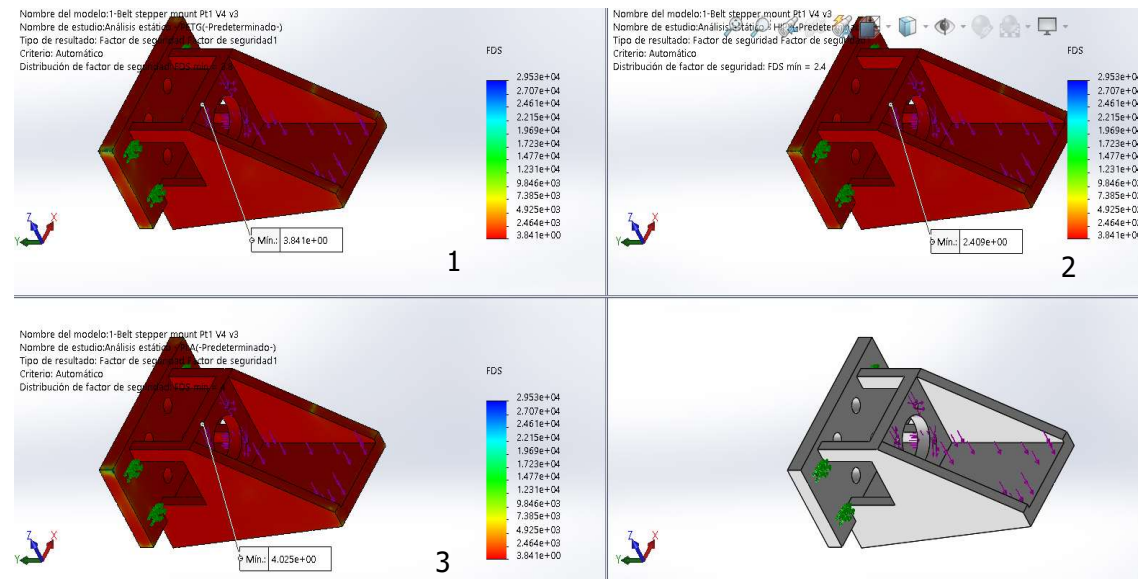


Ilustración 14 Comparativa del coeficiente de seguridad de la pieza *Belt Stepper Mount Pt1* para los materiales PETG (1), HIPS (2) y PLA (3).

A partir de estos dos análisis, podemos empezar a inclinarnos por dos materiales, el PETG y el PLA. No obstante, para acabar de asegurarnos de que se elige el material más idóneo, se efectúa una tercera comparativa con las propiedades resistivas que tiene cada uno

de los materiales al calor donde la temperatura de deformación del PLA es de 60°C frente a los 80°C del PETG y los 79°C del HIPS.

Una vez conocido esto, se decide utilizar el PETG como material de impresión debido a que aun teniendo un valor algo inferior respecto al PLA en su coeficiente de seguridad (3,8 y 4 respectivamente), sufre menores deformaciones y resiste mas a la hora de trabajar en ambientes con altas temperaturas, facilitando asi el posible uso dentro de una cámara térmica y aguantando la temperatura que puedan llegar a sufrir los motores durante el funcionamiento.

4.3.3.2 Diseño de piezas

4.3.3.2.1 Eje XY

El eje X tiene la función principal de desplazar el cabezal de impresión en un plano paralelo a la cinta donde se imprimirán los trabajos. Al ser una pieza dinámica, se ha de tener en cuenta que esta sea capaz de moverse de manera precisa y estable.

Por ello, se diseña teniendo las siguientes consideraciones:

- Piezas de alta durabilidad debido a estar trabajando en tensión constante por parte de las correas.
- Minimizar la posibilidad de pandeo o flexión de la barra que soporta la guía lineal por la que se desplaza el cabezal de impresión.
- Dimensiones de las piezas lo suficientemente compactas como para no restar excesivamente volumen de impresión útil.
- Las correas que hacen que se desplace el eje deben de quedar protegidas para evitar un desgaste por fricción contra las mismas piezas asi como con los perfiles que hacen de soporte.

En la siguiente figura, se observa un *assembly* de las piezas que conforman el cabezal de impresión.

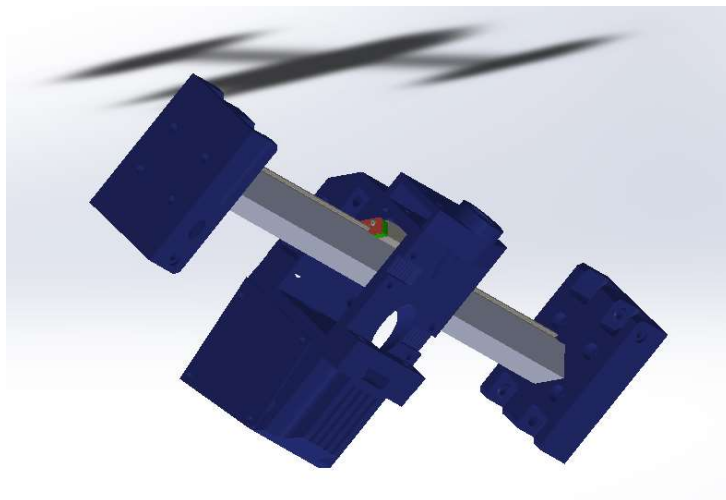


Ilustración 15 *Assembly* del eje X

4.3.3.2.2 Eje Z

Este eje es el encargado de dar soporte a la base de impresión, por lo tanto, es donde irán ubicados tanto las poleas como la unidad motora. Estas piezas, por lo tanto, tendrán una solitud de resistencia mayor que las demás debido al alto torque que tiene la unidad motriz.

Por ello, se diseña teniendo las siguientes consideraciones:

- Las piezas donde se ubica la unidad motora, se reforzarán con un mayor infill y se harán de tal manera que puedan deslizarse dentro de los perfiles de aluminio.
- Se deberá facilitar algún mecanismo de tensionado de la cinta sobre la cual imprimiremos.
- Se tendrá que facilitar el tensionado de la correa de transmisión entre la polea y la unidad motora.

En la siguiente figura, se observa un *assembly* de las piezas que conforman el cabezal de impresión.



Ilustración 16 *Assembly* del eje Z

4.3.3.2.3 Piezas estructurales

Las piezas impresas que forman parte de la estructura de la impresora, las podemos dividir en dos grupos en base a la función que desempeñan, las piezas exclusivamente estructurales (verdes) y las que aparte de la función estructural forman parte del eje Y de la impresora (azules).

En lo que se refiere a las únicamente estructurales, se diseña teniendo las siguientes consideraciones:

- Deben aportar la mayor rigidez posible a la vez que aguantan el peso de la estructura de perfiles de aluminio.
- Deben garantizar que el eje XY de la impresora este siempre a 45°, así como perfectamente paralelos ambos lados de la impresora.

En lo que se refiere a las que forman parte del eje Y y a parte de su función estructural, se diseña teniendo las siguientes consideraciones a más de las anteriormente descritas:

- Deben resistir el torque que provocaran los motores de los ejes XY, así como la tensión producida por las correas.
- Deben garantizar la linealidad de las correas a la vez que evitar que se efectúen rozamientos por mal posicionamiento debido por los perfiles.

- Las piezas superiores también ayudarán a guiar el cableado, se deberán diseñar de tal manera que haya una continuidad con los agujeros internos del perfil para que los cables queden cubiertos y se puedan guiar del cabezal a la placa.
- Ayudarán a guiar las correas por el interior de las cavidades externas de los perfiles, luego es muy crítico que su diseño sea lo suficientemente preciso.

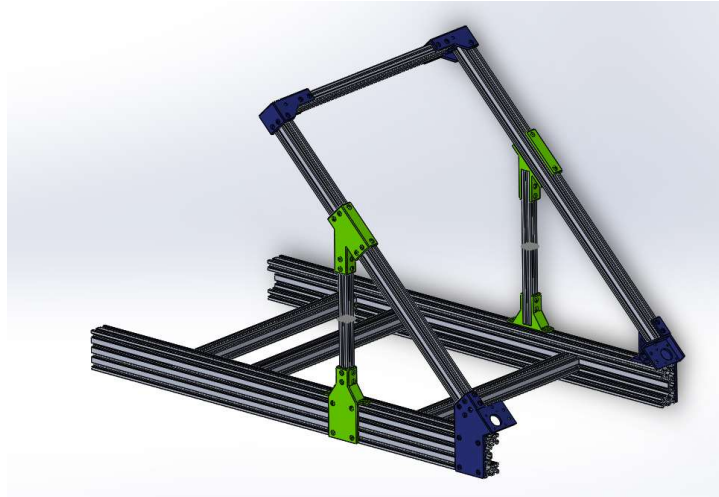


Ilustración 17 *Assembly* de la estructura de la impresora con la diferenciación de piezas en función de su desempeño en el conjunto.

4.3.3.2.4 *Cabezal de impresión*

Las piezas impresas del cabezal de impresión tienen como función principal la de soportar el *hotend* y los ventiladores de capa. Por ello, se debe garantizar una rigidez y un aguante de la temperatura lo suficientemente elevados como para que esta pieza no sufra durante la ejecución de los trabajos.

Por ello, se diseña teniendo las siguientes consideraciones:

- El material de impresión debe aguantar el estar cerca de una fuente de calor durante periodos prolongados.
- Se debe poder tensar las correas que hacen que se desplacen para poder poner a punto la impresora siempre que sea necesario.
- Debe de facilitar que los cables estén protegidos.
- Se opta por incluir el final de carrera en el propio cabezal de impresión para facilitar su *homing* debido a tratarse a una configuración de impresora compleja.
- La fijación sobre el patín de la guía lineal debe aportar la suficiente rigidez como para evitar vibraciones al desplazarse.

En la siguiente figura, se observa un *assembly* de las piezas que conforman el cabezal de impresión.

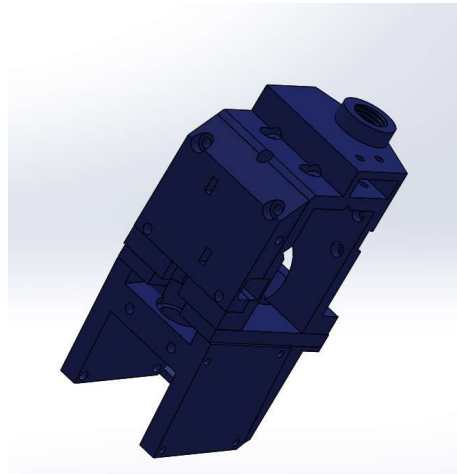


Ilustración 18 *Assembly* del cabezal de impresión.

4.3.3.3 Optimización de las piezas

Habiendo encontrado el material más adecuado para nuestro caso, el siguiente paso es encontrar el *infill* óptimo para reducir el gasto económico y temporal de las impresiones y a su vez mantener la cantidad de masa necesaria para seguir ejerciendo su función.

Para ello, se ejecuta un estudio de topología de las piezas que estarán bajo una mayor carga o que requieran una cantidad de filamento elevada. Para ello, partiendo de las mismas condiciones de sujeciones y cargas externas que en el apartado anterior. No obstante, debido a que este tipo de análisis requieren un mayor consumo de recursos a la hora de efectuarse se utilizara una malla de tamaño medio para

Una vez se ha mallado el objeto, se establecen los objetivos del análisis. Como se parte de piezas macizas y al final lo que se pretende es obtener piezas con un porcentaje de relleno concreto, se estipulan dos objetivos. El primer objetivo es que la pieza debe tener una reducción mínima de un 20% de la masa original de la pieza y como segundo requisito, es que la pieza debe tener un coeficiente de seguridad mínimo de 2,5. Con estos requisitos solo quedarán aquellas partes que debemos reforzar, vaciando toda parte que no trabaja y dejando aquellos volúmenes que realmente serán necesarios.

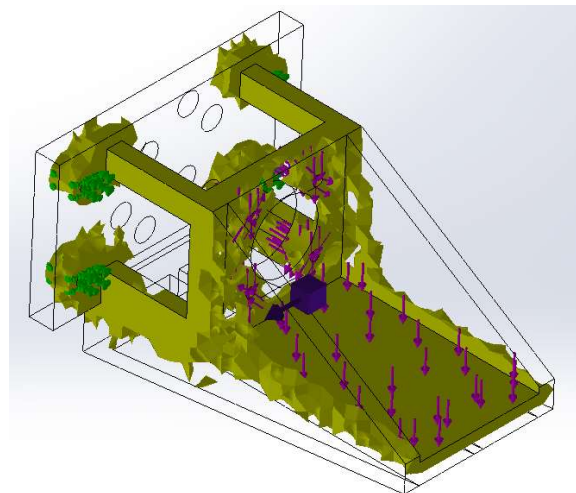


Ilustración 19 Resultado de la optimización topológica del modelo *Belt Stepper Mount Pt1*.

Una vez obtenido este nuevo modelo, se importa junto al modelo completo al *licer*. Al ejecutar esta importación, nuestro modelo se importa en la misma posición que ocuparía en la pieza original, con ello podemos proceder a definir los parámetros que deseamos para cada una de las partes.

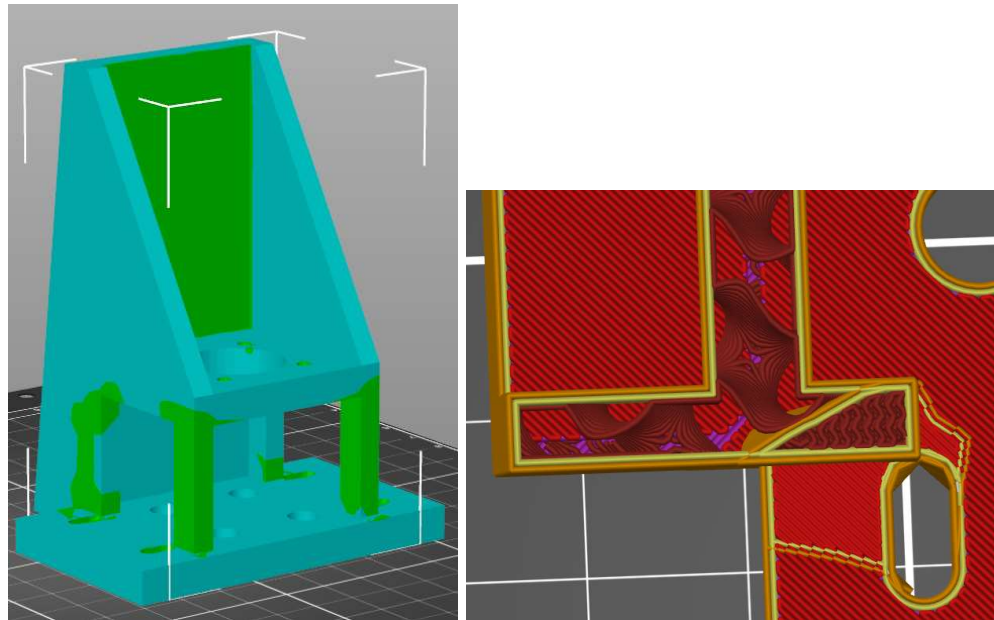


Ilustración 20 (a) Combinación de ambas piezas en el *slicer*, de color verde la pieza obtenida a partir de la optimización topológica y de color azul la pieza original.
(b) Diferenciación de *infill* en el interior de la pieza.

El *infill* elegido para la impresión de las piezas es de tipología *gyroid*. Es una morfología de relleno basado en formas que podemos encontrar en la naturaleza dentro de las alas de mariposas e incluso en el interior de las membranas celulares [9]. Este *infill* dota de mayor resistencia a menor densidad de relleno, también debido a su característica forma, hace de este un relleno muy cercano a la isotropía haciendo que los esfuerzos se distribuyan de manera uniforme en todas las direcciones.

4.3.3.4 Estructura

En lo referente a la estructura metálica del prototipo, se ha decidido optar por el uso de perfiles de aluminio ranurados 2020, 2040 y 4080C. Esta elección se basa en la ligereza y resistencia que presenta este tipo de material, a que es altamente resistente a corrosión, accesible y por encima de todo, es reciclable, aspecto muy positivo debido a que es una de las consideraciones que hemos estipulado a tener en cuenta.

Como la estructura soportara cargas muy por debajo a la carga necesaria para deformar ligeramente los perfiles, haciendo un análisis de fuerzas estáticas en el peor escenario posible, observamos que la fuerza y los momentos que se generaran son muy pequeños y la parte crítica de la estructura son las piezas impresas.

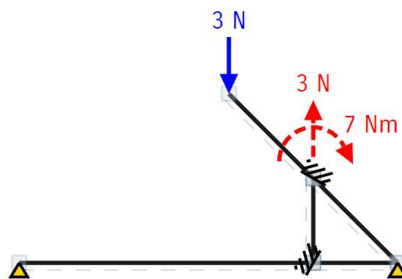


Ilustración 21 Estudio de esfuerzos estáticos simplificado de la impresora.

Como se puede observar en la ilustración 17, estos valores se encuentran muy alejados de las cargas límite del aluminio.

4.4 Componentes electrónicos

En este apartado se describe tanto electrónica de control como de potencia.

Todo el control de la impresora se realiza con una placa *Duet 2 WiFi* que se acciona directamente desde un PC por conexión inalámbrica y que en su interior incluye tanto los *stepper drivers* para los motores como la placa reguladora de potencia.

4.4.1 Motores

Para conseguir que se desplacen cabezal y cinta, se requiere del uso de dos tipos de motores distintos, en los siguientes subapartados se describe la metodología de cálculo y las hipótesis escogidas para la selección de cada uno de los motores.

4.4.1.1 Motores *CoreXY*

El *coreXY* encargado del desplazamiento del cabezal de impresión consta de 2 motores simétricos. Para conocer el torque necesario para su desplazamiento, primeramente, se debe conocer la masa del cabezal, a partir del *slicer* de impresión 3D podemos conocer la masa de plástico del conjunto de piezas del cabezal (100g), a la que se le tendrá que sumar la del extrusor (200g) y los ventiladores (50g).

De acuerdo con la segunda ley de Newton

$$F(N) = m \cdot a \quad (1)$$

Y tomando como base de calculo que el cuerpo podrá alcanzar una aceleración máxima de 1.800 mm/s^2 podemos, conoceremos que la fuerza necesaria tendrá que ser de 0.63 N. Una vez conocido este valor, podemos calcular el torque que necesita nuestro motor. Para ello, sabiendo que usamos una polea GT2 T16 de aproximadamente 8mm de diámetro, podemos calcular el torque necesario como

$$T(Ncm) = F \cdot L \quad (2)$$

Donde L es

$$L(Ncm) = \frac{\varnothing_{polea}}{2} \quad (3)$$

Obtendremos que el motor ideal necesario para poder mover nuestro cabezal a dicha aceleración requerirá un torque de 0.252 Ncm.

Una vez conocido el torque, debemos conocer la velocidad a la cual girara nuestro motor, para ello partiremos de el paso de la correa GT2 (2mm) y el ángulo por paso del motor. Como queremos un motor preciso, el ángulo de paso será de $0,9^\circ$.

El primer paso será calcular el número de pasos por revolución del motor

$$stp(\text{pasos/rev}) = \frac{\theta_{\text{paso}}}{360^\circ} \quad (4)$$

Una vez obtenido el número de pasos por revolución, debemos conocer el desplazamiento lineal de cada uno de los pasos. Como ya hemos indicado anteriormente, estamos usando una correa GT2 y una polea 16T, luego podemos conocer el desplazamiento a partir de

$$f_n(\text{mm/rev}) = N^\circ \text{dientes} \cdot \text{Pitch} \quad (5)$$

Calculamos el desplazamiento por paso del motor con

$$md(\text{mm/step}) = \frac{f_n}{stp} \quad (6)$$

Llegado a este punto, establecemos una velocidad máxima la cual se desplazará el cabezal a la hora de imprimir, como base de cálculo usaremos 150 mm/s. Con este valor fijado, usando la siguiente ecuación

$$RPM(\text{rpm}) = \frac{v_{\text{max}}}{md} \cdot 60 \quad (7)$$

Con ello, obtendremos que nuestro motor ideal requerirá que gire a 282 rpm. Conocidos los valores de torque y RPM, se busca en el catálogo de motores NEMA y se opta por un NEMA modelo 17HM19-2004S de 24V y 0,9° que nos ofrece un torque de 0.36Ncm y 300 rpm en su punto de máxima eficiencia.

4.4.1.2 Motor cinta transportadora

En lo referente al motor de la cinta transportadora, se ha partido como base que la masa máxima que tendrá que desplazar esta es de 4kg. Como la resistencia a vencer es superior a la que podría desplazar un motor normal, se opta por motores de planetario que son capaces de efectuar un mayor torque.

Para poder calcular el motor que requerimos, se combinan las siguientes ecuaciones [13]

$$TC(Nm) = \frac{(F \cdot \emptyset_{\text{polea}})}{2 \cdot i \cdot \eta} \quad (8)$$

$$F(N) = F_a + m \cdot g \cdot (\sin(\theta) + \mu \cdot \cos(\theta)) \quad (9)$$

Donde \emptyset_{polea} es el diámetro de la polea de la cinta, m la masa a desplazar, i la ratio entre los engranajes (3 en nuestro caso), η es la eficiencia del motor normalmente ubicada entre 0,85 y 0,95 (0,90 para este cálculo), es μ el coeficiente de fricción y θ el ángulo de la cinta. Con estos valores, obtenemos que requerimos un motor que sea capaz de ofrecer un torque mínimo de 0,47 Ncm. Buscando en el catálogo NEMA se decide optar por un modelo NEMA 17 con una ratio de engranajes de 5:1 que nos da sin *gearbox* un torque de 0.36Ncm pero que es capaz de darnos un torque máximo de 2Nm cuando la activamos.

4.4.2 Placa

La placa escogida para nuestra impresora, es la *Duet 2 WiFi*. Esta controladora *Open Source* posee un potente procesador de 32 Bits que favorece a tener una mayor precisión y mayor velocidad de cálculo a la hora de efectuar desplazamientos. Equipada con un módulo WiFi para poder enviar y controlar los trabajos así como unos *stepper drivers* TMC2660 que se encargan de controlar la potencia de nuestros motores, haciéndolos silenciosos y precisos.

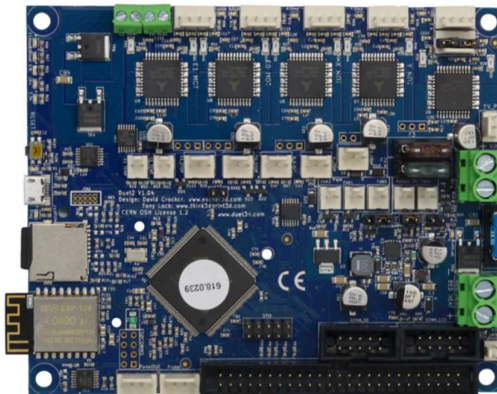


Ilustración 22 Placa Duet 2 WiFi.

Esta placa es altamente configurable, robusta y expandible, lo que la hace no solo una buena opción para este proyecto, sino que nos deja la puerta abierta a futuras actualizaciones o modificaciones del mismo como podrían ser múltiples extrusores o la instalación de cámaras de videovigilancia de la impresión.

4.4.3 PSU

4.4.3.1 Dimensionado de la PSU.

Para conocer que *PSU* es la más idónea para el prototipo, primeramente, se debe saber que requisitos va a pedir.

El primer parámetro que se calcula es el sumatorio de las intensidades para conocer la corriente mínima que la *PSU* debe proporcionar.

Tabla 2 Calculo de la intensidad mínima que requerirá la fuente.

	Corriente (A)
Motor Eje X	0,90
Motor Eje Y	0,90
Motor Extrusor	0,90
Motor Cinta	1,68
Ventilador 1	0,1
Ventilador 2	0,1
Duet 2 WiFi	0,10
Cartucho calefactor	2,10
Panel Due	0,70
Cama caliente	10,4
Reserva	2,00
Total	19,9

La intensidad que requerirá la fuente, debe de ser mínimo de 20A. Como se puede observar en la tabla se han tenido en cuenta dos elementos que se planean instalar en un futuro como son la pantalla y la cama caliente así como una reserva de 2A.

El siguiente parámetro a analizar es el voltaje, debido a las especificaciones de los elementos descritos en la tabla 2, se decide que el voltaje necesario para el correcto funcionamiento de los mismos será de 24V.

El parámetro final, es la potencia. Para ello, se suma el consumo de cada uno de sus componentes.

Tabla 3 Consumo de potencia mínimo requerido por el prototipo.

	Potencia (W)
Motor Eje X	4,86
Motor Eje Y	4,86
Motor Extrusor	4,86
Motor Cinta	4,70
Ventilador 1	2,40
Ventilador 2	2,40
Duet 2 WiFi	2,40
Cartucho calefactor	50,4
Panel Due	3,50
Cama caliente	10,4
Total	330,38

La potencia necesaria para el funcionamiento del prototipo debe de ser de aproximadamente 330W, no obstante, se requiere aplicar un factor de seguridad para que la fuente dure ya que hay que tener en cuenta diferentes aspectos que pueden afectar a la potencia de nuestra *PSU* (tiempo de uso, tipo de carga, temperatura ambiente entre otros) por ello, aun que generalmente los fabricantes de fuentes recomiendan utilizar un factor de seguridad de 0.8, seremos mas conservadores y emplearemos un factor de seguridad de 0,65 obteniendo aproximadamente un valor de potencia de 500W. Por ello, se decide elegir una PSU de 500W con salida de 24V a 20,8A.

4.4.4 Diagrama de cableado

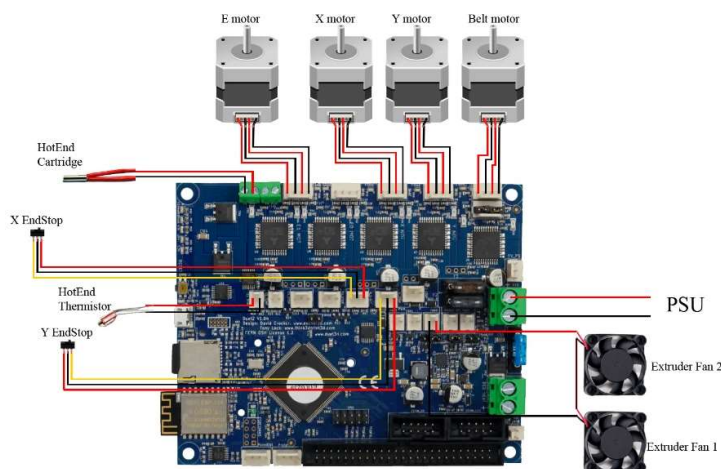


Ilustración 23 Diagrama de cableado del prototipo.

4.5 Firmware

Al tratarse de una impresora casera, debemos elaborar un firmware base para poder controlar todas sus funciones. Para ello, utilizaremos la herramienta online *RepRapFirmware Configuration Tool*[12], la cual de manera guiada nos permite elaborar paso a paso y de manera sencilla una configuración customizada para nuestra placa.

El primer paso es elegir el tipo de arquitectura base utiliza nuestra impresora. Para ello seleccionamos la opción que mas se adecue, en nuestro caso, debemos ir a crear una configuración customizada.

If you are using a printer that was originally shipped with RepRapFirmware, you can select a predefined template here:

- T3P3 Mini Kossel
- RepRapPro Ormerod 1
- RepRapPro Ormerod 2
- RepRapPro Fisher

- Creality Ender 3 Pro

The following machine templates were contributed by users and have not been thoroughly tested:

- Anet A8
- Distech Prometheus System
- Reach3D Printer
- Wanhao Duplicator i3

Alternatively, you can create your own individual configuration by creating a new one from scratch or by loading an existing JSON template:

- Custom configuration
- Use existing configuration

Ilustración 24 Pantalla inicial de la herramienta online *RepRapFirmware Configuration Tool*[12].

Una vez escogido, empezamos a configurar las preferencias generales de nuestra impresora, especificaremos la placa que usamos, la versión del firmware y especificaremos el nombre con el veremos al conectarnos por USB o WiFi a la impresora. También podemos configurar en este la opción de que la impresora en caso de fallada, reinicie la operación en el punto en que se quedó tras efectuar un *homing*.

General Preferences

Board: Firmware version: Printer Name:

Read config-override.g file at end of startup process
 Save print state on power failure

Ilustración 25 Preferencias generales de la impresora.

A continuación, especificamos la geometría que presentara nuestra impresora así como la tipología de esta. En nuestro caso, tenemos una CoreXY cuyos ejes X e Y miden 405mm y 632mm respectivamente, en cuanto a la cama, al tratarse de una cinta, no podemos especificar una dimensión infinita como tal, a si que se opta por especificar un valor exageradamente alto para que no tenga un fin a la hora de imprimir piezas de elevada extensión, concretamente se especifica un valor de 10^{16} mm.

Printer Geometry

Cartesian CoreXY CoreXZ Delta

X minimum: mm X maximum: mm Y minimum: mm Y maximum: mm Z minimum: mm Z maximum: mm

This machine uses coupled motors to position the nozzle on the XY plane

Ilustración 26 Geometría de la impresora

Acto seguido, especificamos la posición y velocidad que la impresora utilizara como base para sus desplazamientos, así como las velocidades a la hora de hacer *homing*. Se partirá de una velocidad de 100 mm/s, que se ira modificando en cada impresión de manera individual dependiendo de la morfología de las piezas. Así mismo, la velocidad con la que la impresora hará *homing*, se especifica de 30 mm/s para el primer contacto y 6 mm/s para el segundo, en caso de que estas velocidades sean muy elevadas y generen un impacto de demasiada magnitud, se reconfigurara a menor velocidad.

Ilustración 27 Configuración del proceso de homing.

En la siguiente pantalla, se configuran los motores a partir de sus *datasheet*, especificando pasos, velocidades, aceleraciones, dirección de giro, intensidad requerida en cada motor y el *driver* al que está conectado cada uno. Como se puede observar en la ilustración 23, los parámetros del eje Z de velocidad salen marcados en rojo, debido a que la configuración de la web no espera el uso de un motor con corona reductora, luego los valores requeridos para este están fuera de los parámetros que se esperarían de un motor simple.

Axes								
Drive	Direction	Microstepping (interpolation)	Steps per mm	Max. Speed Change (mm/s)	Max. Speed (mm/s)	Acceleration (mm/s ²)	Motor Current (mA)	Motor Driver
X	Forwards	x16 (on) <small>interpolated to x256</small>	80 ✓	15 ✓	100 ✓	500 ✓	800 ✓	0 (X)
Y	Forwards	x16 (on) <small>interpolated to x256</small>	80 ✓	15 ✓	100 ✓	500 ✓	800 ✓	1 (Y)
Z	Backwards	x16 (on) <small>interpolated to x256</small>	4000 ✓	10 ⚠	3 ⚠	100 ✓	800 ✓	2 (Z)

Ilustración 28 Configuración de los motores de movimiento de la impresora.

Al igual que en el párrafo anterior, también configuramos el motor que se encarga de la extrusión del plástico.

Extruders								
Drive	Direction	Microstepping (interpolation)	Steps per mm	Max. Speed Change (mm/s)	Max. Speed (mm/s)	Acceleration (mm/s ²)	Motor Current (mA)	Motor Driver
E0	Forwards	x16 (on) <small>interpolated to x256</small>	420 ✓	2 ✓	20 ✓	250 ✓	800 ✓	3 (E0)

Ilustración 29 Configuración del motor del extrusor.

Cuando la impresora este en *stand by*, no es necesario que llegue tanta corriente como la requerida cuando esta trabajando, por ello, se especifica que cuando lleve 30s sin recibir ninguna orden, reduzca a un 30% la intensidad de todos los motores

Motor Current Reduction

Reduce motor currents when idle

Idle Current Percentage: %

Idle Timeout: s

Ilustración 30 Configuración de los motores de la impresora cuando esta está en reposo.

Para la configuración de los finales de carrera, se especifica la tipología del *endstop* y su localización. En total hay dos finales de carrera, el primero está situado en el carro de impresión y el segundo está situado en el perfil izquierdo de la estructura, debido a ello, para que se activen la posición del carro estará situada en la parte inferior, ambos normalmente cerrados. Cuando el carro haga *homing* o llegue al máximo del desplazamiento, este se abrirá, indicando la posición del cabezal.

Axis	Endstop Type					Endstop Location at	
X	None	Active high (NC)	Active low (NO)	Z-Probe	Sensorless	Low end	High end
Y	None	Active high (NC)	Active low (NO)	Z-Probe	Sensorless	Low end	High end
Z	None	Active high (NC)	Active low (NO)	Z-Probe	Sensorless	Low end	High end

Ilustración 31 Configuración de los finales de carrera.

En lo que refiere a la parte térmica de la impresora, se permite especificar si la impresora utiliza una cama o una cámara caliente, en nuestro caso, no se contempla el uso de ninguna de las dos, pero se vera la viabilidad de la misma para futuras mejoras del prototipo.

General Heater Settings

Heated Bed

Assign Bed Heater to First Nozzle

Heated Chamber

Ilustración 32 Configuración general de los elementos calefactores.

Lo referente a configuración del cabezal de impresión empieza por especificar el termistor, para ello, se utilizará la *datasheet* del fabricante y se efectuara posteriormente un calibrado del mismo para asegurarnos que la temperatura es la correcta.

Heater	Type	Temp. Limit	PWM Limit	R25	β	C	Sensor Channel
E0	Nozzle	<input type="text" value="280"/> C	<input type="text" value="100"/> %	<input type="text" value="100000"/> Ω	<input type="text" value="4138"/> K	<input type="text" value="0"/>	E0 Thermistor

Ilustración 33 Configuración del termistor de la impresora

Se deben especificar los ventiladores de capa y el del extrusor, para ello se especifica la frecuencia y el sentido de giro. Para los ventiladores de capa, se especifica una velocidad del 30% y no dependerá de la temperatura de la impresión, dado que esta velocidad cuando trabaje se especificará en el *G-code* de cada impresión individualmente en función del material a imprimir. En lo que refiere al ventilador del extrusor, este sí que vendrá en función de la temperatura que nos marque el termistor para poder tener controlado la temperatura a la cual se imprime y así evitar posibles incidentes por exceso o falta de calor.

Cooling Fans							+ Add Fan	- Remove Fan
Name	Speed (%)	Inverted	Frequency (Hz)	Thermostatic Control	Monitored Heaters	Thermostatic Mode	Trigger Temperature	
FAN0	30 <input checked="" type="checkbox"/>	Yes No	500 <input checked="" type="checkbox"/>	Yes No	E0	45	C	
FAN1	100 <input checked="" type="checkbox"/>	Yes No	500 <input checked="" type="checkbox"/>	Yes No	E0	45 <input checked="" type="checkbox"/>	C	

Ilustración 34 Configuración de los ventiladores.

Para garantizar que siempre tengamos una primera capa perfecta, intentaremos compensar los posibles defectos que tiene la placa sobre la que se imprime, por ello, configuraremos una compensación que se optimizara en las posteriores pruebas. Hay que tener en cuenta que nivelar esta impresora es mas sencillo que las normales, debido a que técnicamente solo imprimimos en la misma línea, luego debemos garantizar que esta sea siempre lineal y perfecta.

Bed Probing for Mesh Bed Compensation				
X Minimum:	X Maximum:	Y Minimum:	Y Maximum:	Grid Spacing:
15 <input checked="" type="checkbox"/> mm	15 <input checked="" type="checkbox"/> mm	15 <input checked="" type="checkbox"/> mm	195 <input checked="" type="checkbox"/> mm	20 <input checked="" type="checkbox"/> mm

Orthogonal Axis Compensation

Enable Orthogonal Axis Compensation

Ilustración 35 Configuración de la nivelación de capa.

Para finalizar, configuramos la red de la placa, cabe recordar que enviaremos los proyectos a imprimir desde ella. No obstante, también podremos enviar trabajos al conectar por USB y entrar en la configuración de la misma siempre que deseemos.

Network Settings
<input checked="" type="checkbox"/> Enable Network
Password for the web interface (HTTP), FTP, and Telnet:
<input type="text" value="reprap"/> <input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Acquire Dynamic IP Address via DHCP
<input checked="" type="checkbox"/> Enable HTTP (required for the web interface)
<input type="checkbox"/> Enable FTP
<input type="checkbox"/> Enable Telnet

Ilustración 36 Opciones de red.

Las dos últimas opciones que nos da a configurar, son la obtención al generar la configuración de las últimas versiones del software de control y del firmware.

Extra Files

- Get the latest stable Duet Web Control version
- Get the latest stable RepRapFirmware version

Ilustración 37 Opciones extra.

Así como configurar *G-codes* propios para que la impresora haga una serie de acciones antes de efectuar los trabajos de impresión.

Miscellaneous

Custom Settings for config.g: [Full list of all available G-codes](#)

Ilustración 38 Posibilidad de configurar *G-codes* extras para los inicios de trabajo.

4.6 Presupuesto

En el siguiente apartado se detallan de manera desglosada el listado de costes de todo el material necesario para elaborar este proyecto.

4.6.1 Tornillería

Tabla 4 Listado y coste de los materiales referentes a la tornillería.

	Cantidad	Precio unitario (€/u)	Precio (€)
M2x12mm	8	0,20	1,60 €
M3x8mm	46	0,01	0,47 €
M3x10mm	14	0,01	0,18 €
M3x12mm	10	0,01	0,12 €
M3x16mm	28	0,01	0,27 €
M3x18mm	2	0,01	0,02 €
M3x25mm	14	0,01	0,16 €
M3x30mm	1	0,02	0,02 €
M3x35mm	4	0,02	0,08 €
M3x45mm	2	0,02	0,05 €
M4x8mm	4	0,01	0,04 €
M5x8mm	104	0,14	14,39 €
M5x16mm	23	0,02	0,38 €
M5x18mm	10	0,02	0,20 €
M5x30mm	18	0,02	0,43 €
Tuerca M2	2	0,003	0,01 €
Tuerca M3	6	0,06	0,39 €
Tuerca T M5	118	0,42	49,77 €
Tuerca Cuadrada M5	4	0,13	0,52 €
Inserto M2	6	0,05	0,30 €
Inserto M3	48	0,05	2,42 €
Total			71,83 €

4.6.2 Electrónica

Tabla 5 Listado y coste de los materiales referentes a la electrónica.

	Cantidad	Precio unitario (€/u)	Precio (€)
Final de carrera	2	0,45	0,90 €
Ventilador NF-A4x10	3	12,90	38,70 €
Ventilador 40x40x10mm 24V	2	8,99	17,98 €
Duet2 Wifi	1	165,02	165,02 €
Motor Nema 17 0,9º 36Ncm	3	15,57	46,71 €
Motor Nema 17 Bipolar 5:1	1	29,57	29,57 €
Cableado	1	10,00	10,00 €
Fuente de alimentación 24V 500W 20,8A	1	47,07	47,07 €
Total			355,95 €

4.6.3 Rodamientos

Tabla 6 Listado y coste de los materiales referentes a la electrónica.

	Cantidad	Precio unitario (€/u)	Precio (€)
Rodamientos F624ZZ	20	0,26	5,20 €
Rodamientos 6202RS	4	0,68	2,74 €
MGN12 1000mm	2	61,73	123,46 €
MGN12 500mm	1	24,34	24,34 €
Total			155,74 €

4.6.4 Perfiles

Tabla 7 Listado y coste de los materiales referentes a los perfiles metálicos.

	Cantidad	Precio unitario (€/u)	Precio (€)
V-Slot 20x40mm 1500mm	2	18,97 €	37,94 €
V-Slot 20x40mm 1000mm	2	12,84 €	25,67 €
V-Slot 20x20mm 1000mm	1	9,51 €	9,51 €
Perfil Aluminio C 1000mm	2	30,86 €	61,72 €
Tubo Ø7x3x410mm	2	20,00 €	40,00 €
Vara de Ø1,3x600mm	2	15,00 €	30,00 €
Perfil cuadrado 1,3x1,3x600mm			
Total			219,84 €

4.6.5 Extrusor

Tabla 8 Listado y coste de los materiales referentes a los elementos que forman el extrusor.

	Cantidad	Precio unitario (€/u)	Precio (€)
Termistor Mosquito	1	44,50	44,50 €
Cartucho Calentador Mosquito	1	23,90	23,90 €
Mosquito Magnum	1	184,99	184,99 €
Trianglelabs BMG	1	25,78	25,78 €
Total			279,17 €

4.6.6 Varios

Tabla 9 Listado y coste de los materiales varios.

	Cantidad	Precio unitario (€/u)	Precio (€)
Collarín de eje	7	3,73	26,08 €
Polea 2GT 8mm 20T	5	1,08	5,41 €
Correa dentada	1	10,99	10,99 €
Polea dentada 60 dientes 8mm	2	6,50	12,99 €
Cinta transportadora 400x2000 mm	1	87,60	87,60 €
Bobina PETG	2	22,00	44,00 €
Total			279,17 €

Si efectuamos el cómputo global de cada uno de los apartados de nuestro presupuesto, obtenemos que el coste del prototipo es de 1205,03€. Esto representa un 10% del coste de la impresora BlackBelt3D®.

5 Resultados

Una vez se ha finalizado el diseño y se ha elaborado un prototipo, se analiza si los requisitos iniciales del diseño se han cumplido.

- Todos los componentes no imprimibles a excepción de la electrónica son estándares como son los motores y los perfiles. En referente a las piezas impresas, al tener el archivo 3D se pueden recrear tantas veces como se necesiten haciendo que el diseño cumpla el requisito de un 60% del total de la impresora reparable/estándar o de fácil acceso.
- La estructura de la impresora es bastante rígida, no obstante, se considera este objetivo logrado a medias debido a que no se acaba de ver que el Core XY sea totalmente rígido y tenga un mínimo de juego. Se mirarán acciones correctivas para aumentar la rigidez de el mismo.
- Las piezas impresas son todas de PETG, material reciclable y de fácil obtención (botellas de agua). Así mismo, a diferencia del diseño original, se ha optimizado el *infill* para los requisitos dando lugar a piezas que soportan la carga con un gasto inferior de electricidad, tiempo y material, haciendo de estas piezas más sostenibles.
- El impacto sonoro de la impresora en funcionamiento es de 63 dB. Este valor está por encima de los estimados inicialmente en los requisitos, pero se encuentra muy por debajo de los 85 dB marcados por la normativa, haciendo viable este prototipo para ser usado en el interior. No obstante, se recomienda el uso del mismo en una estancia diferente.
- El precio de una impresora de estas características en el mercado es de 11.495,00€. Se ha conseguido elaborar este prototipo con un precio de 1.205,03€, esto supone que ha costado un 10,5% del coste de mercado. Cumpliendo el requisito marcado de un valor inferior al 20%.

Como se puede ver, se han cumplido prácticamente en su totalidad todos y cada uno de los prototipos que habíamos estipulado para la elaboración del prototipo.

Se ha conseguido verificar un diseño de impresora 3D altamente competitivo y viable, con unas características prometedoras, con un manual de montaje, un protocolo para verificar su correcto montaje y un estudio que certifica la viabilidad y la seguridad de las piezas.

A continuación, se añade una imagen comparativa entre el diseño inicial y el prototipo fabricado.



Ilustración 39 Prototipo final de la impresora 3D Core XY de eje infinito.

ANEXOS

ANEXO A. INDICACIONES BASICAS DE SEGURIDAD

A. Indicaciones básicas de seguridad

A.1. Riesgo eléctrico

Se recomienda no manipular la impresora con las manos húmedas ni en caso de observarse deterioro o rotura de alguno de los cables que la alimentan.

Los componentes que forman la impresora están protegidos contra cortocircuitos para evitar posibles incendios.

Desenchufe siempre la impresora de la red o del ordenador antes de realizar ningún ejercicio de mantenimiento o de manipulación.

A.2. Riesgo de atrapamiento mecánico

La impresora cuenta con partes móviles, para evitar atrapamientos se recomienda acceder a la mecánica de la impresora solo cuando este apagada.

En lugares donde pueda haber presencia de animales o niños, se recomienda tener la impresora alejada o aislada para evitar accidentes.

A.3. Riesgo de quemaduras

Cuando se esta imprimiendo o cargando el filamento, el *HotEnd* puede llegar a superar los 400 °C por lo que se recomienda no tocar o acercar la mano a la boquilla para evitar producir quemaduras de ningún tipo.

Una vez finalizada la impresión, esperar a que el *HotEnd* se enfríen hasta temperatura ambiente para manipular o efectuar ejercicios de mantenimiento.

A.4. Riesgo de salud^[11]

Recientes estudios indican que el uso de impresoras produce una liberación de partículas ultrafinas y componentes orgánicos volátiles durante el proceso de impresión. Estas partículas ultrafinas pueden ocasionar riesgos cardiovasculares asociados con su inhalación así como incrementar el riesgo de asma o cáncer según los investigadores del *Illinois Institute of Technology*, por ello se recomienda el uso de este equipo en ambientes bien ventilados o dentro de un espacio filtrante.

ANEXO B. ESTUDIO DE ESFUERZO DE PIEZAS IMPRESAS

B. Estudio de esfuerzo de piezas impresas

Se ha efectuado un análisis mecánico de las piezas donde podemos encontrar motores debido a que son aquellas donde la sollicitación será superior, consiguiendo comprobar si los diseños aguantaran las sollicitudes requeridas o hará falta efectuar modificación, a la par que nos dará la base para efectuar la optimización topológica de la pieza. Se han estudiado principalmente 3 piezas, el Belt Stepper Mount donde ira ubicado el dispositivo motriz que hará desplazar la cinta, el Rear Idler Right que se ubica en la parte superior y es donde se unirán los brazos que conforman el CoreXY y donde estará ubicado el motor del extrusor y por ultimo el Stepper Mount Right donde estará uno de los motores del CoreXY ubicado.

Se decide analizar únicamente estas 3 piezas por dos motivos, el primero es que la impresora es simétrica, hecho que nos hace que haya las mismas cargas en ambos lados. El segundo motivo, es debido a que son los puntos que mas esfuerzo recibirán, si comparásemos con la resistencia de las piezas estructurales veríamos que las piezas estructurales sufren menos esfuerzos.

A continuación, se describe de manera detallada como se ha efectuado el analisis de las piezas.

B.1. Belt Stepper Mount

Esta pieza es la encargada de soportar el motor de corona encargado de desplazar los rodillos de la cama. Para ello se efectúa un analisis estático con la herramienta de simulación de SolidWorks®.

El primer paso es estipular la tipología de material del cual esta elaborado nuestra pieza. En nuestro caso, al no tener entre la librería de materiales el PETG, se crea un nuevo material y se caracteriza a partir del *datasheet* del fabricante.

Tabla B.1.10 Propiedades del PETG extraídos del *datasheet* del fabricante.

Propiedades	Valor	Unidades
Módulo elástico	2100	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0,3	N/D
Módulo cortante		N/mm ²
Densidad de masa	0,00127	kg/m ³
Límite de tracción	50	N/mm ²
Límite de compresión		N/mm ²
Límite elástico	69	N/mm ²
Coefficiente de expansión térmica		/K
Conductividad térmica	0,2256	W/(m·K)
Calor específico	1386	J/(kg·K)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

El siguiente paso es especificar aquellos puntos en los cuales la pieza estará anclada a la bancada, para ello, se indica las partes de la geometría donde tendremos una sujeción fija.

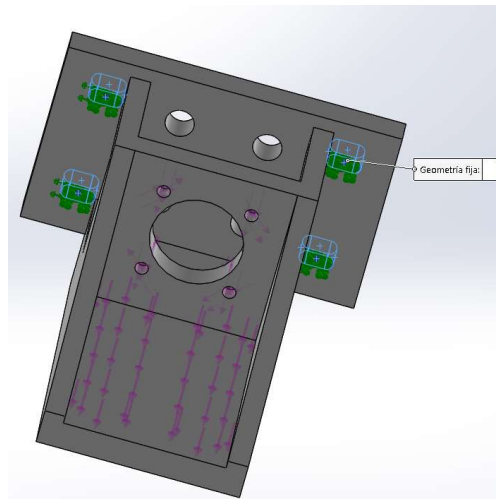


Ilustración B.1 Disposición de los puntos de sujeción fija de la pieza.

Una vez especificados los puntos de sujeción, se efectúa el análisis de fuerzas externas a las que estará sometida la pieza. Para ello, se usan los datos del fabricante del motor[7], teniendo en cuenta el peor escenario posible, es decir, el escenario donde el motor efectúa la carga más elevada.

Con ello obtenemos que la pieza sufrirá una fuerza externa de 4,511 N debido al peso propio del motor.

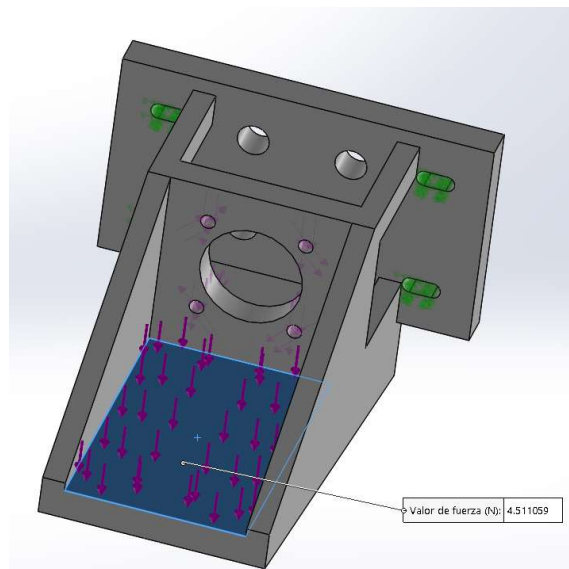


Ilustración B.2 Carga de 4,511 N ejercida por la masa del motor.

La zona donde se ubican los tornillos, recibirá un valor de torsión debido al motor de 4 Nm.

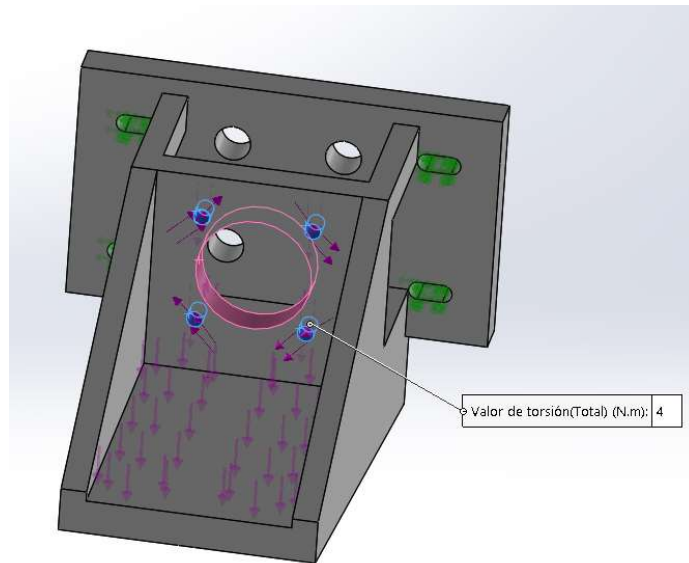


Ilustración B.3 Torque de 4 Nm que ejerce el motor en la pieza.

El lugar donde los tornillos fijan el motor a la pieza, a su vez, también sufrirá una fuerza de 50 N debido a la carga axial que este genera.

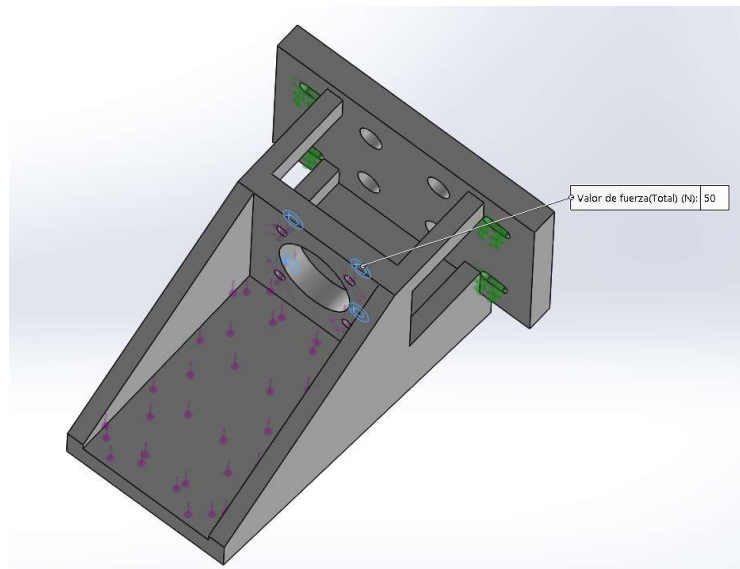


Ilustración B.4 Carga axial de 50 N que sufren los tornillos del motor.

Finalmente, la última solicitud que requerirá la pieza por parte del motor será una carga radial de 100 N a lo largo de la pared en la cual está apoyado el motor.

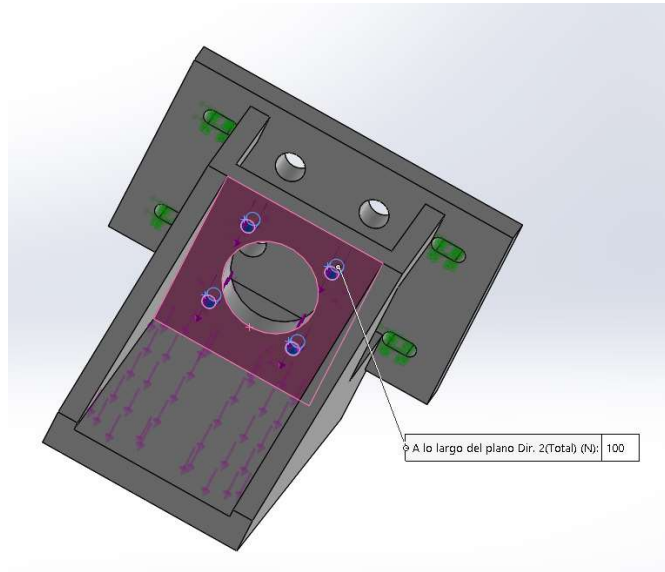


Ilustración B.5 Carga radial de 100 N a lo largo de la pared donde se apoya el motor.

Una vez insertados estos valores, se efectúa un mallado fino, la malla tiene un papel importante en lo referente a la estabilidad y la exactitud de los cálculos numéricos de nuestra pieza, ya que al mallar discretizamos la pieza en pequeños subconjuntos con los que se calcula los esfuerzos. En lo referente a nuestra pieza, los datos de malla utilizados se pueden observar en la tabla de la ilustración B.6.

Nombre de estudio	Análisis estático 1 (-Predeterminado-)
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla estándar
Transición automática	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla	Desactivar
Puntos jacobianos	4 puntos
Tamaño de elemento	2.33894 mm
Tolerancia	0.116947 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	96270
Número total de elementos	60945
Cociente máximo de aspecto	10.133
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto < 3	99.7
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto > 10	0.00328
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:04
Nombre de computadora	MSI

Ilustración B.6 Tabla resumen del detalle de la malla utilizada en la pieza.

Una vez efectuado todos estos pasos, se ejecuta la simulación y se obtienen los siguientes datos referentes a las Tensiones de Von Mises, desplazamientos, deformaciones unitarias y el factor de seguridad que tiene esta pieza.

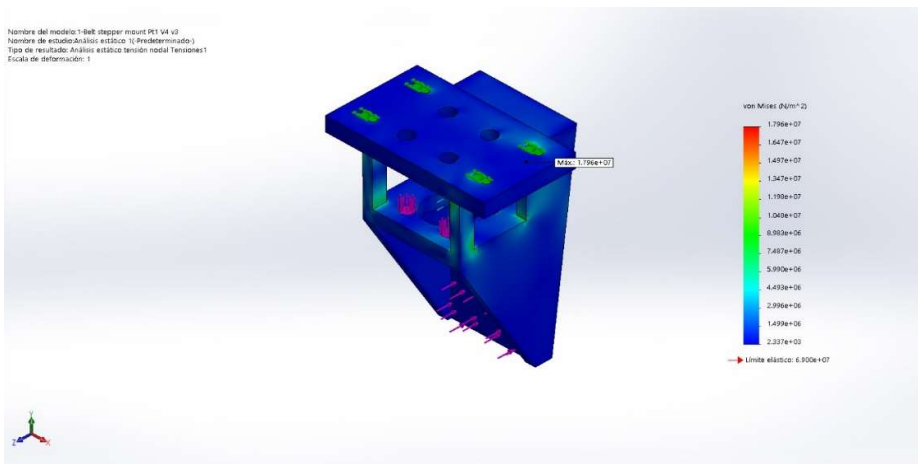


Ilustración B.7 Tensión de Von Mises de la pieza

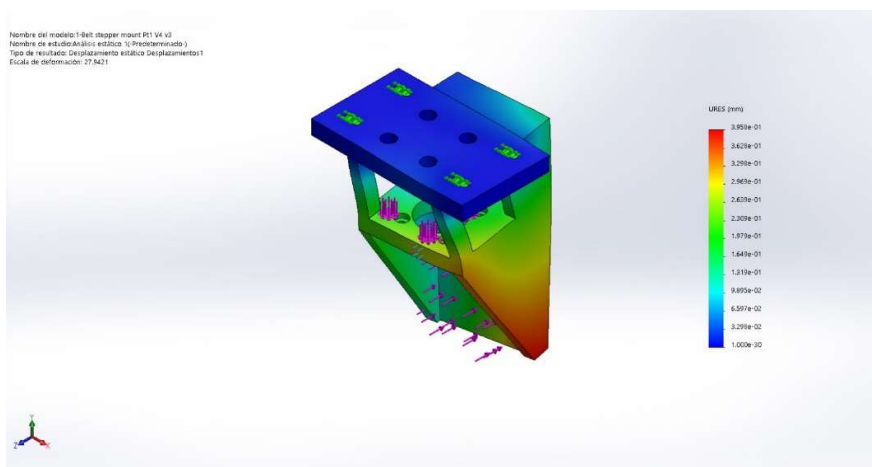


Ilustración B.8 Desplazamientos en la pieza sufridos por las tensiones

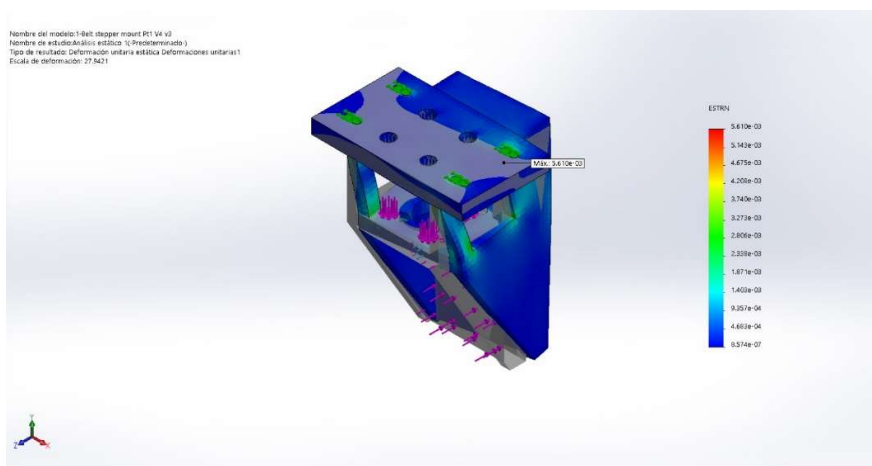


Ilustración B.9 Deformaciones sufridas en la pieza.

De estas imágenes resultantes del análisis podemos observar que nuestra pieza soportará una tensión de Von Mises máxima de 17,96 MPa, que harán que la pieza sufra unas deformaciones unitarias de 5610 $\mu\epsilon$.

Con estos datos, obtendremos que el factor de seguridad de esta pieza es de 3,8, indicándonos que esta pieza no necesita ser rediseñada y a la vez, pueda ser optimizada topológicamente ya que no requiere que esta sea maciza para resistir.

B.2. Rear Idler Right

Al igual que en la pieza anterior, el primer paso será el de especificar las partes de la geometría donde tendremos una sujeción fija.

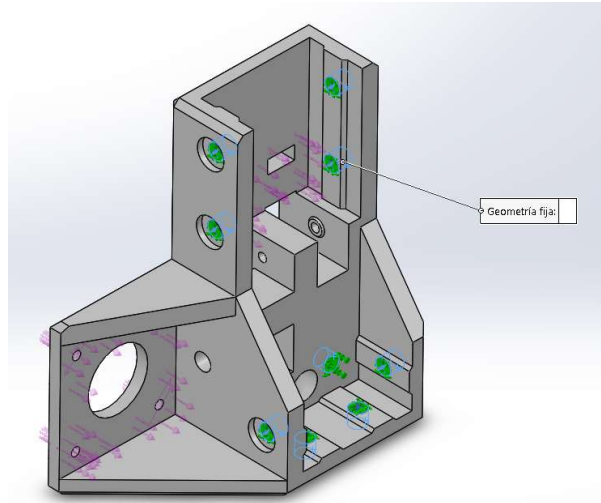


Ilustración B.10 Disposición de los puntos de sujeción fija de la pieza.

Una vez especificados los puntos de sujeción, se efectúa el análisis de fuerzas externas a las que estará sometida la pieza. Para ello, se usan los datos del fabricante del motor^[6], teniendo en cuenta el peor escenario posible, es decir, el escenario donde el motor efectúa la carga más elevada.

Con ello obtenemos que la pieza sufrirá una fuerza externa de 2,745 N debido al peso propio del motor.

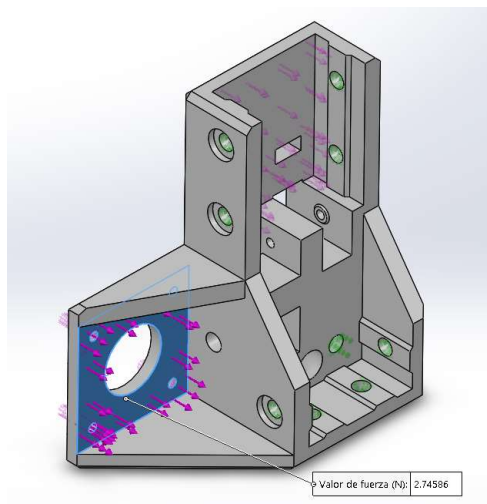


Ilustración B.11 Carga de 2,745 N ejercida por la masa del motor.

A su vez, también soportará el peso de que ejercerá el perfil de aluminio superior que une ambas partes de la impresora, siendo este de 7,413 N.

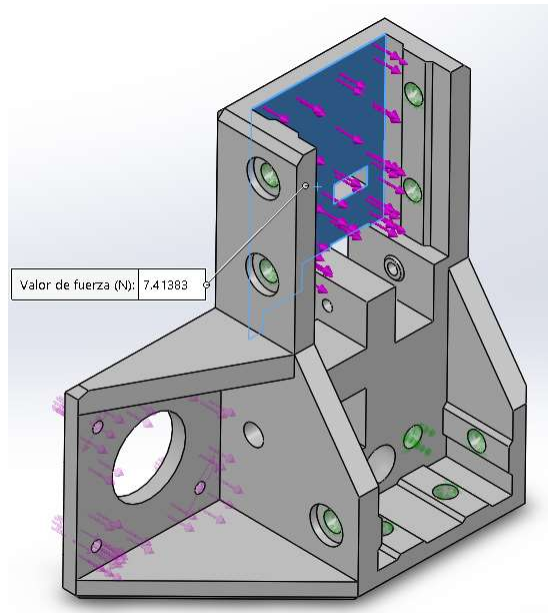


Ilustración B.12 Carga de 7,413 N ejercida por el perfil superior de la impresora.

La zona donde se ubican los tornillos, recibirá un valor de torsión debido al motor de 0,13 Nm.

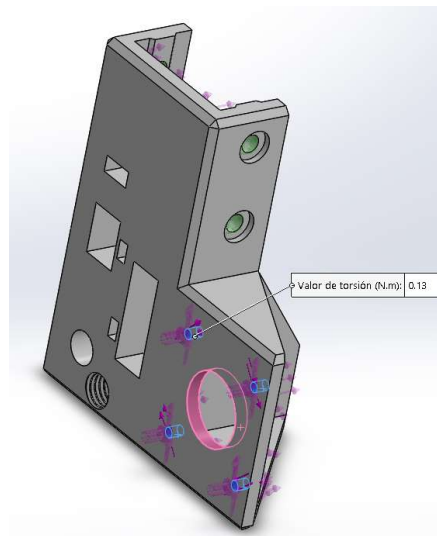


Ilustración B.13 Torque de 0,13 Nm que ejerce el motor en la pieza.

El lugar donde los tornillos fijan el motor a la pieza, a su vez, también sufrirá una fuerza de 30 N debido a la carga axial que este genera.

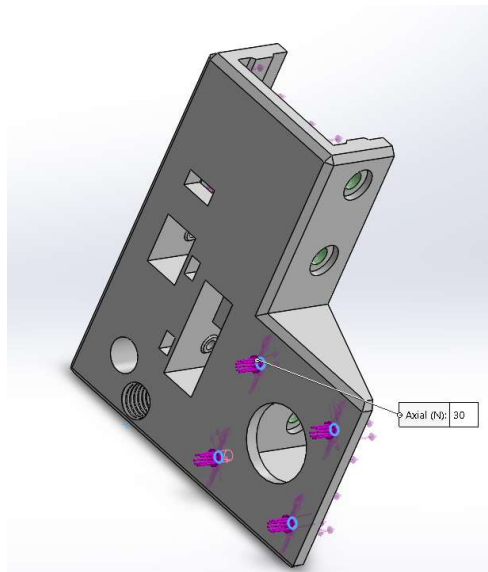


Ilustración B.14 Carga axial de 30 N que sufren los tornillos del motor.

Finalmente, la última solicitud que requerirá la pieza por parte del motor será una carga radial de 25 N a lo largo de la pared en la cual está apoyado el motor.

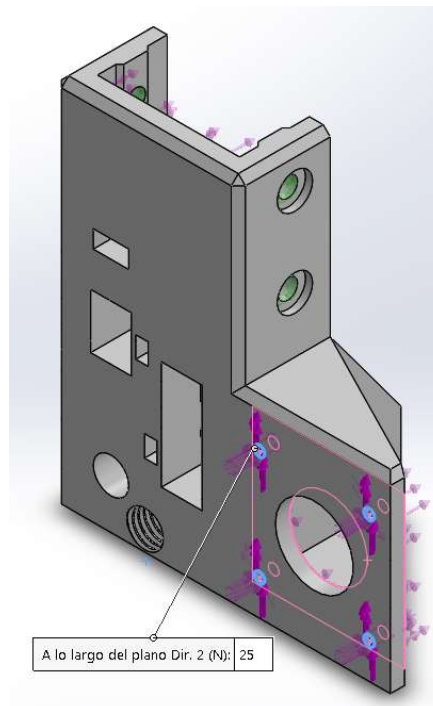


Ilustración B.15 Carga radial de 25 N a lo largo de la pared donde se apoya el motor.

Una vez insertados estos valores, se efectúa un mallado fino, la malla tiene un papel importante en lo referente a la estabilidad y la exactitud de los cálculos numéricos de nuestra pieza, ya que al mallar discretizamos la pieza en pequeños subconjuntos con los que se calcula los esfuerzos. En lo referente a nuestra pieza, los datos de malla utilizados se pueden observar en la tabla de la ilustración B.15.

Nombre de estudio	Análisis estático 1 (Predeterminado)
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla estándar
Transición automática	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla	Desactivar
Puntos jacobianos	4 puntos
Tamaño de elemento	2.42583 mm
Tolerancia	0.121291 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	103293
Número total de elementos	66249
Cociente máximo de aspecto	27.153
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto < 3	97.7
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto > 10	0.169
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:05
Nombre de computadora	MSI

Ilustración B.15 Tabla resumen del detalle de la malla utilizada en la pieza.

Una vez efectuado todos estos pasos, se ejecuta la simulación y se obtienen los siguientes datos referentes a las Tensiones de Von Mises, desplazamientos, deformaciones unitarias y el factor de seguridad que tiene esta pieza.

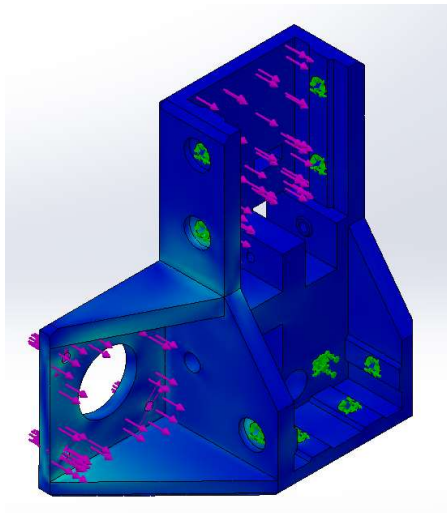


Ilustración B.16 Tensión de Von Mises de la pieza

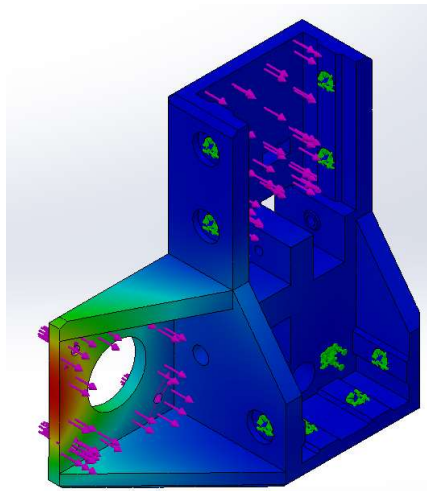


Ilustración B.17 Desplazamientos en la pieza sufridos por las tensiones

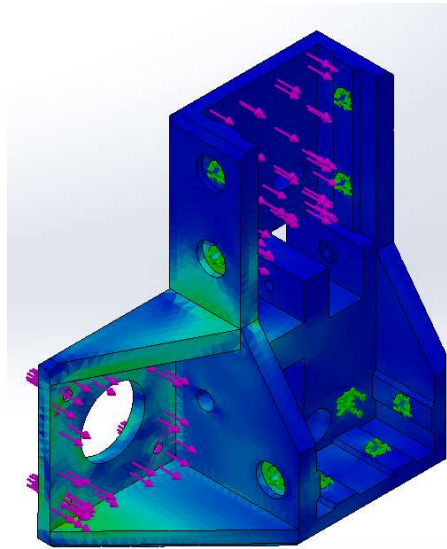


Ilustración B.18 Deformaciones sufridas en la pieza.

De estas imágenes resultantes del análisis podemos observar que nuestra pieza soportara una tensión de Von Mises máxima de 13 MPa, que harán que la pieza sufra unas deformaciones unitarias de 2470 $\mu\epsilon$.

Con estos datos, obtendremos que el factor de seguridad de esta pieza es de 5,3, indicándonos que esta pieza no necesita ser rediseñada y a la vez, pueda ser optimizada topológicamente ya que no requiere que esta sea maciza para resistir.

B.3. Stepper Mount Right

El primer paso será el de especificar las partes de la geometría donde tendremos una sujeción fija.

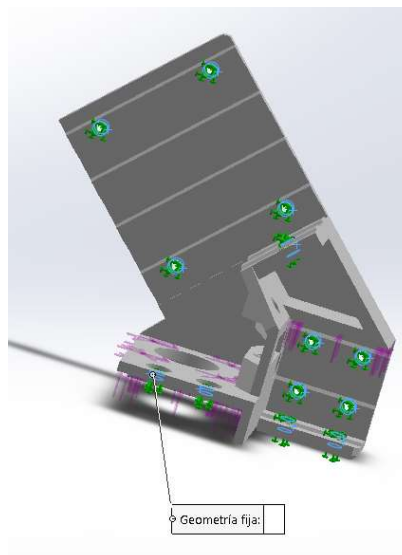


Ilustración B.19 Disposición de los puntos de sujeción fija de la pieza.

Una vez especificados los puntos de sujeción, se efectúa el análisis de fuerzas externas a las que estará sometida la pieza. Para ello, se usan los datos del fabricante del motor^[6],

tendiendo en cuenta el peor escenario posible, es decir, el escenario donde el motor efectúa la carga más elevada.

Con ello obtenemos que la pieza sufrirá una fuerza externa de 2,745 N debido al peso propio del motor.

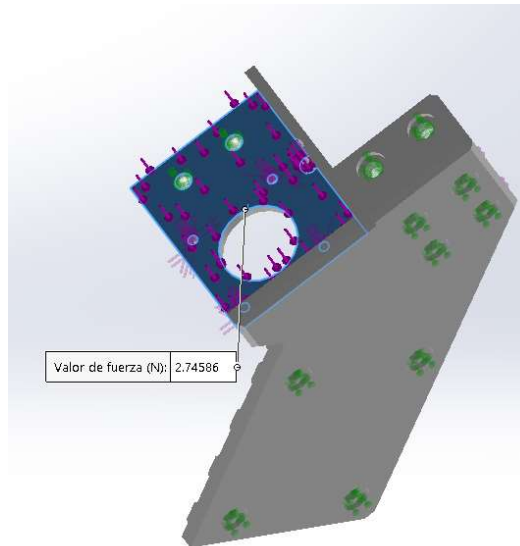


Ilustración B.20 Carga de 2,745 N ejercida por la masa del motor.

A su vez, también soportará la respuesta del peso de la barra superior que une ambos brazos de la impresora, siendo este de 14,827 N.

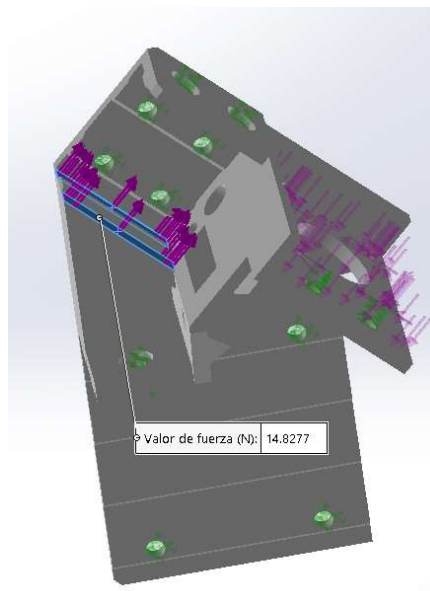


Ilustración B.21 Carga de 14,827 N ejercida por el perfil superior de la impresora en la unión inferior del brazo.

La zona donde se ubican los tornillos, recibirá un valor de torsión debido al motor de 0,13 Nm.

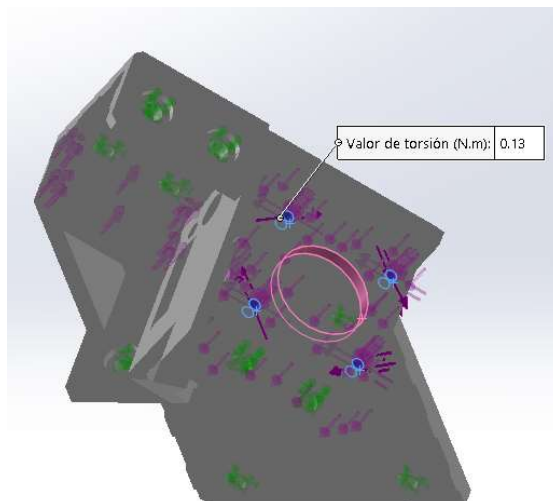


Ilustración B.22 Torque de 0,13 Nm que ejerce el motor en la pieza.

El lugar donde los tornillos fijan el motor a la pieza, a su vez, también sufrirá una fuerza de 30 N debido a la carga axial que este genera.

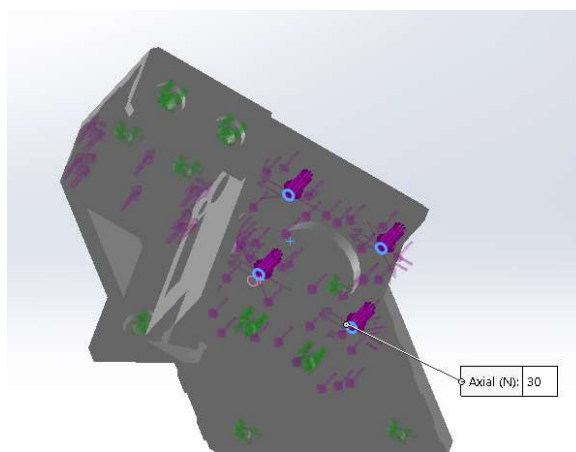


Ilustración B.23 Carga axial de 30 N que sufren los tornillos del motor.

Finalmente, la última sollicitud que requerirá la pieza por parte del motor será una carga radial de 25 N a lo largo de la pared en la cual está apoyado el motor.

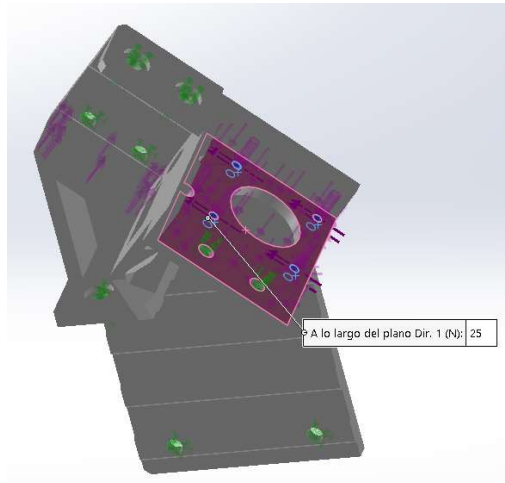


Ilustración B.24 Carga radial de 25 N a lo largo de la pared donde se apoya el motor.

Una vez insertados estos valores, se efectúa un mallado fino, la malla tiene un papel importante en lo referente a la estabilidad y la exactitud de los cálculos numéricos de nuestra pieza, ya que al mallar discretizamos la pieza en pequeños subconjuntos con los que se calcula los esfuerzos. En lo referente a nuestra pieza, los datos de malla utilizados se pueden observar en la tabla de la ilustración B.25.

Nombre de estudio	Análisis estático 1 (-Predeterminado-)
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla estándar
Transición automática	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla	Desactivar
Puntos jacobianos	4 puntos
Tamaño de elemento	2.4119 mm
Tolerancia	0.120595 mm
Celidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	103359
Número total de elementos	63918
Cociente máximo de aspecto	12.267
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto < 3	99.4
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto > 10	0.00313
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:04
Nombre de computadora	MSI

Ilustración B.25 Tabla resumen del detalle de la malla utilizada en la pieza.

Una vez efectuado todos estos pasos, se ejecuta la simulación y se obtienen los siguientes datos referentes a las Tensiones de Von Mises, desplazamientos, deformaciones unitarias y el factor de seguridad que tiene esta pieza.

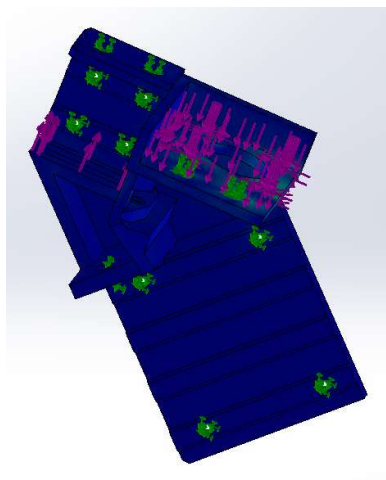


Ilustración B.26 Tensión de Von Mises de la pieza

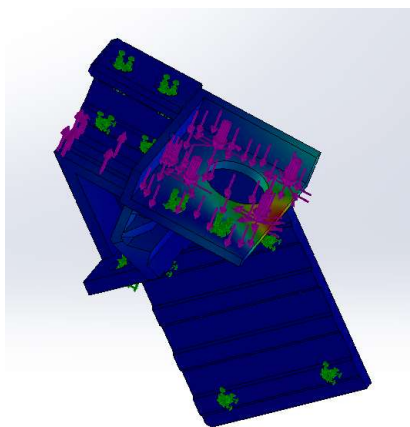


Ilustración B.27 Desplazamientos en la pieza sufridos por las tensiones

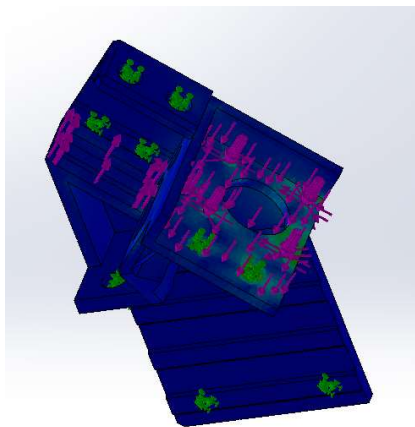


Ilustración B.28 Deformaciones sufridas en la pieza.

De estas imágenes resultantes del análisis podemos observar que nuestra pieza soportara una tensión de Von Mises máxima de 15,38 MPa, que harán que la pieza sufra unas deformaciones unitarias de 3676 $\mu\epsilon$.

Con estos datos, obtendremos que el factor de seguridad de esta pieza es de 4,5, indicándonos que esta pieza no necesita ser rediseñada y a la vez, pueda ser optimizada topológicamente ya que no requiere que esta sea maciza para resistir.

ANEXO C. MANUAL DE MONTAJE DE LA IMPRESORA

C. Manual de montaje de la impresora

El primer paso es efectuar agujeros pasantes en el perfil de aluminio 4080C cortado a una longitud de 914 mm. Para ello y utilizando una broca de 5,5mm efectuaremos tres pares de agujeros a 198 mm, 342 mm y 763 mm desde el mismo extremo tal y como se muestra en la figura C.1



Ilustración C.1 Disposición de las perforaciones en los perfiles 4080C

El siguiente paso será el de unir 3 perfiles 2040 de 520 mm con roscado en sus extremos, para ello usaremos 12 M5x30 mm.



Ilustración C.2 Unión de las piezas que conforman la base de la impresora.

En los dos perfiles de 2040 de 700 mm, instalaremos guías lineales de 700mm.

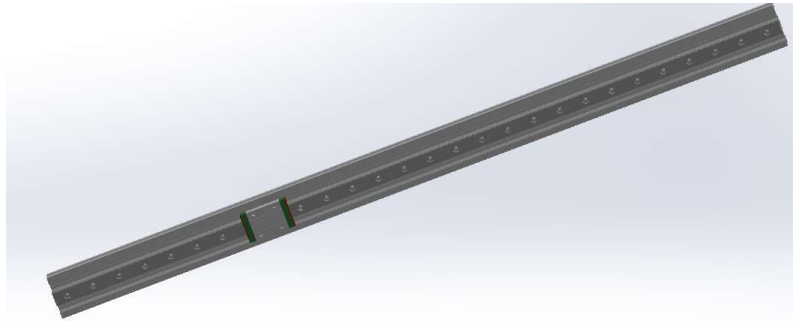


Ilustración C.3 Instalación de las guías lineales en los perfiles 2040.

Y en la barra cuadrada de 13mm y 480mm de largo tal y como se puede observar en la ilustración C.4, acoplado a continuación está en los extremos las piezas *X-Axis Mount Left/Right*.

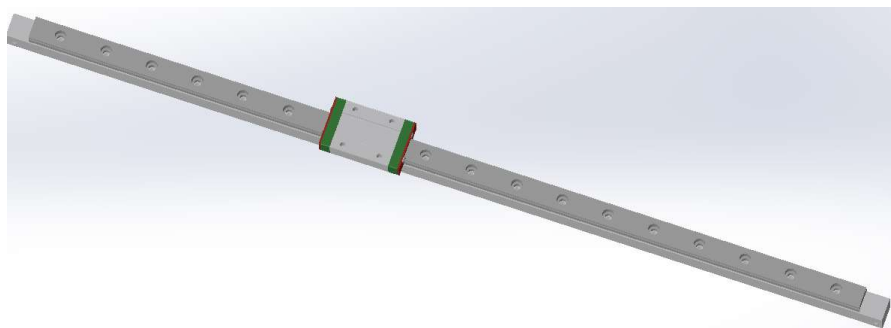


Ilustración C.4 Instalación de las guías lineales en los perfiles 2040.

A continuación, insertaremos 1 inserto de bronce para cada uno de los *Stepper Mount Right/Left* en el punto donde irán situadas las poleas, 2 insertos en el *HotEnd Mount*, 2 insertos para el *X-Axis Mount Left/Right* donde instalaremos las poleas, 11 insertos en el *HotEnd Carriage*, 4 insertos en el *Belt Stepper Mount 2*, todos ellos M3. Y 8 insertos de bronce M2 para el *HotEnd Clamp And Cooling Fan Mount*.

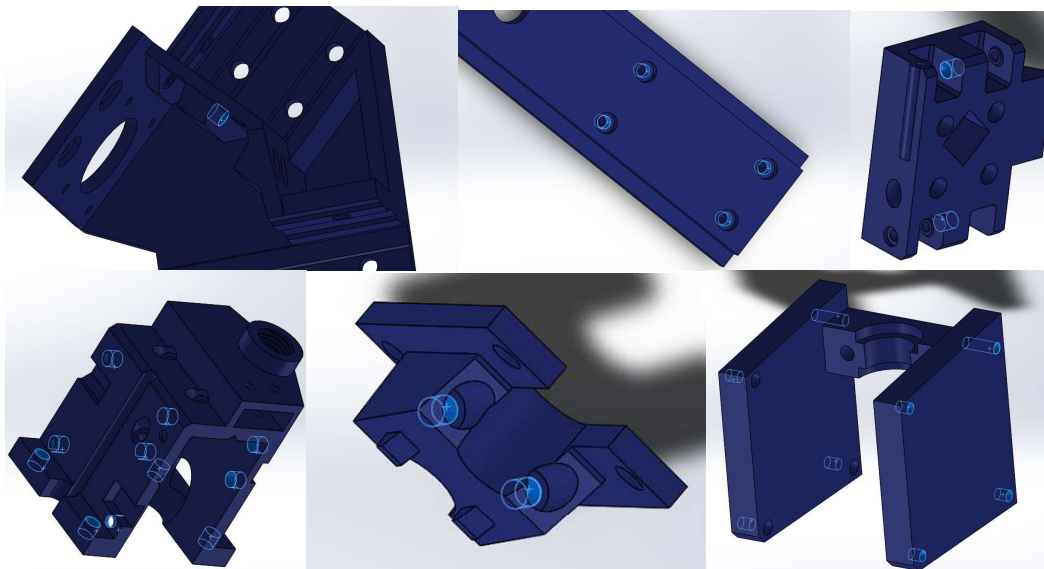


Ilustración C.5 Ubicación de los insertos de bronce.

Una vez finalizada esta unión, podemos empezar a elaborar las poleas por las cuales se desplazará la cama de la impresora.

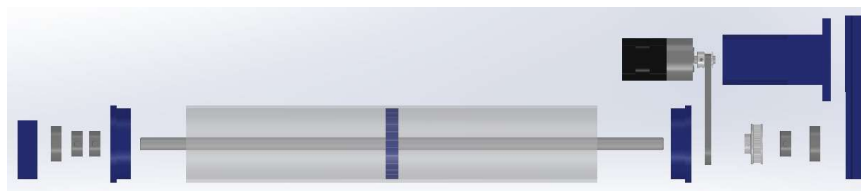


Ilustración C.6 Despiece de la polea motriz.

En la imagen anterior se muestra el desglose con las piezas que conforman la polea motriz.

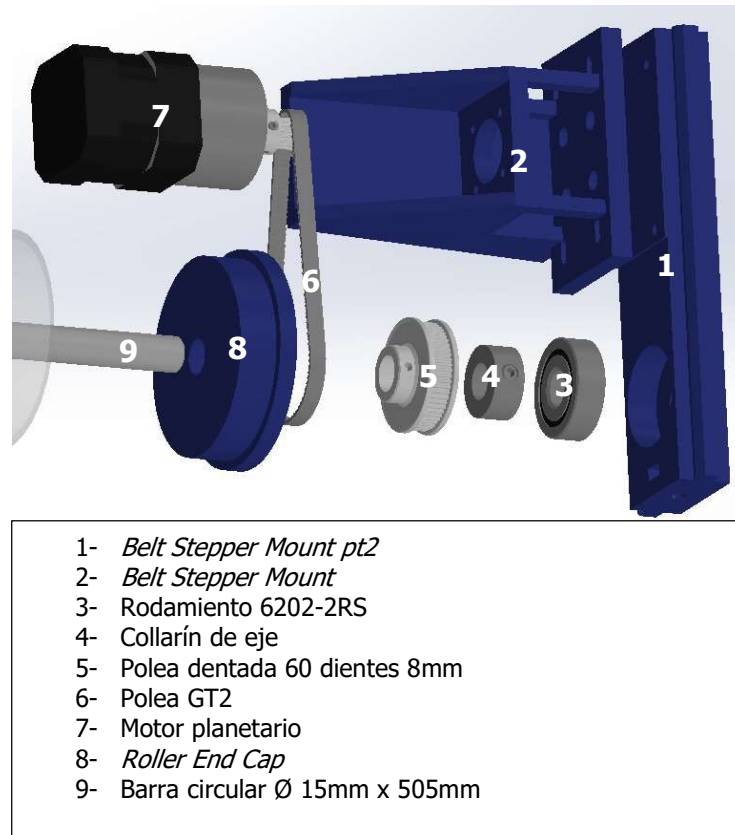


Ilustración C.7 Despiece y listado de piezas de la polea motriz.

En la imagen C.7 se numeran las piezas que componen el extremo donde se sitúa la unidad motriz. En primer lugar, insertaremos el rodamiento 6202-2RS (3) en la *Belt Stepper Mount pt2* (1). A continuación, se acopla el motor el Motor (7) al *Belt Stepper Mount* (2) y se fijan al *Belt Stepper Mount Pt2* (1). Insertamos en la varilla (9) las piezas 8, 6, 5, 4, introduciendo, finalmente, el extremos de la varilla en el interior del rodamiento 6202-2RS (3). El paso siguiente será acoplar la correa (6) a la pieza 5.

Tras concluir el montaje de este extremo, colocaremos el tubo de Ø 70mm, 3 mm de grosor y 420 mm de largo recubriendo la varilla (9), acoplando la pieza 8 en su extremo. Insertaremos ambos conjuntos en el interior de los perfiles 480C, colocando la cinta transportadora en el lugar que le corresponde, rodeando ambos rodillos.

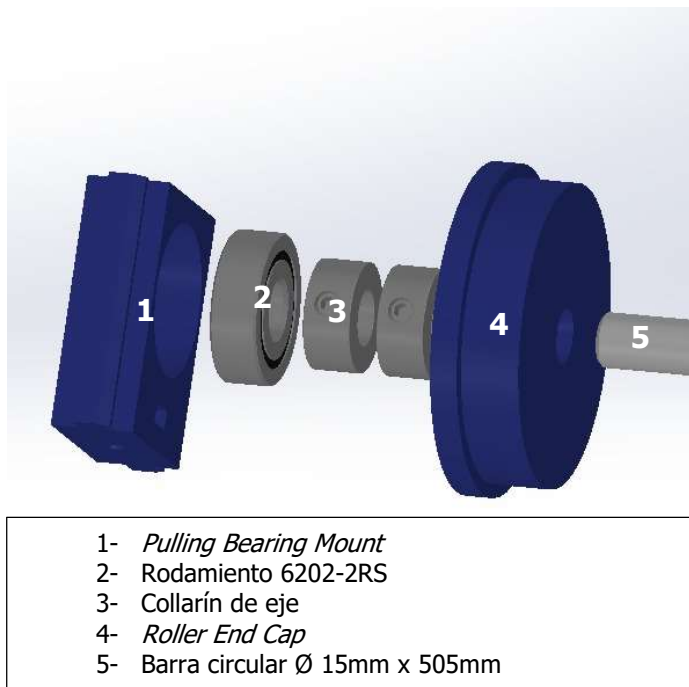


Ilustración C.8 Despiece del extremo derecho de la polea motriz.

En la imagen C.8 se representa el otro extremo del rodillo motriz, siendo los pasos coincidentes con los que desarrollaremos en ambos extremos de la polea esclava cuando procedamos a su montaje. En este caso ubicamos la pieza 2 en la 1; y tras esta, insertamos en la varilla (5) las piezas 4 y 3, es este orden. El *Roller End Cap* deberá ser ajustado en el extremo del tubo de Ø 70mm. Para finalizar el paso, introducimos la varilla en el interior de la pieza 2.

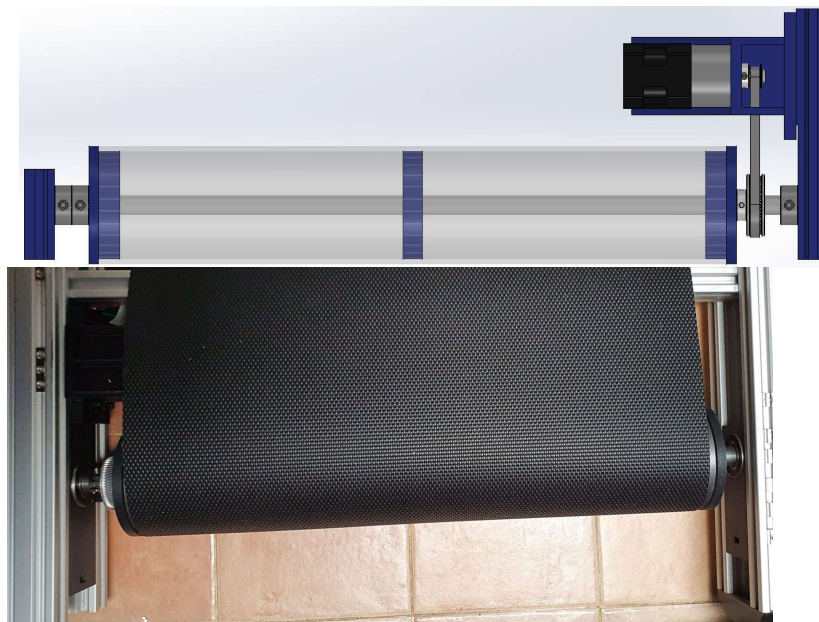


Ilustración C.9 Montaje de las poleas de la impresora.

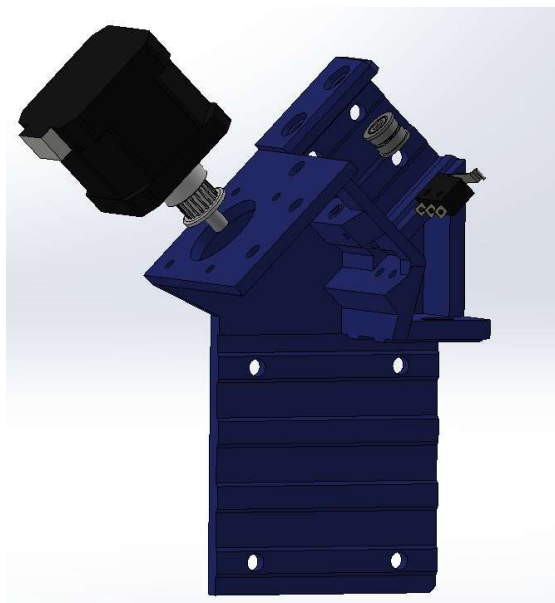


Ilustración C.10 Despiece del *Stepper Mount Left*.

En la imagen número C.10 se observa el *Stepper Mount Left* donde instalaremos uno de los motores NEMA17. También se ubicará en esta el primero de los finales de carrera, así como, dos rodamientos F623ZZ por los que pasará la polea.

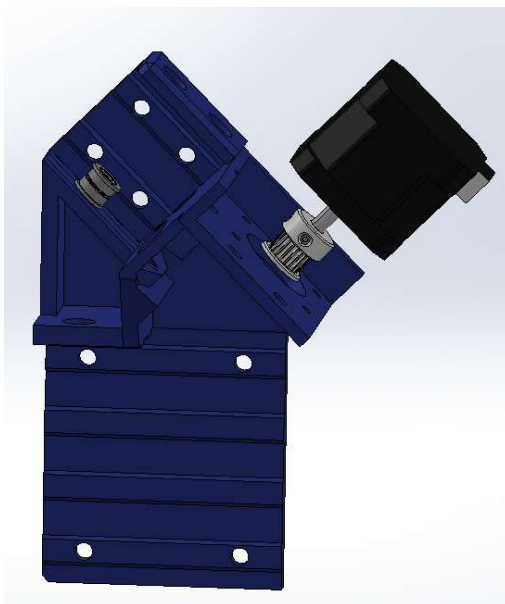


Ilustración C.11 Despiece del *Stepper Mount Right*.

La ilustración C.11 muestra el *Stepper Mount Right*, que portará otro de los motores NEMA17 y otros dos rodamientos F623ZZ.

Ahora nos disponemos a montar el travesaño superior de la impresora, en el que se encontrará el motor del extrusor.

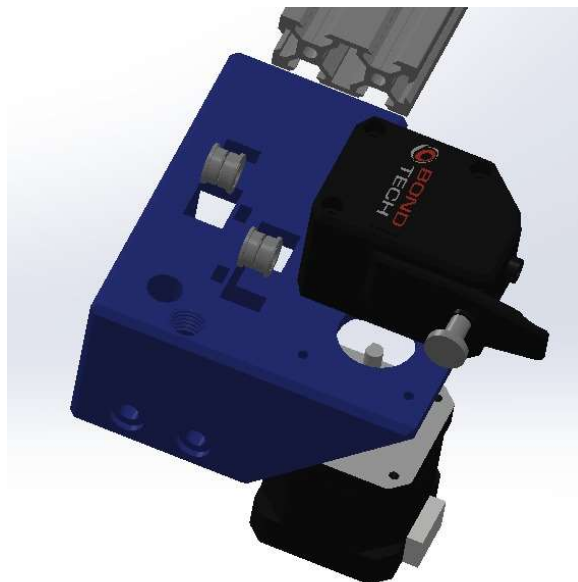


Ilustración C.12 Despiece del *Rear Idler Right*.

En la imagen C.12 podemos ver la instalación del motor de extrusión con el sistema de engranajes *BONDTECH*[®], el cual tiene como función llevar el filamento hasta el cabezal de impresión. Así mismo, también se instalan los rodamientos F623ZZ para el sistema de poleas del Core XY.

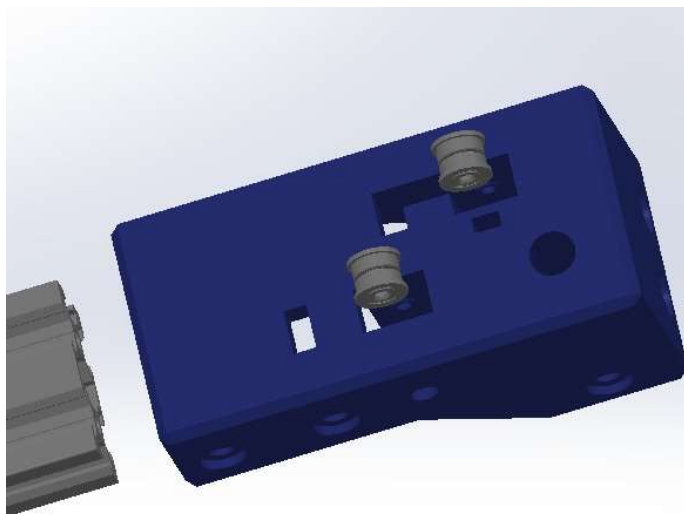


Ilustración C.13 Despiece del *Rear Idler Left*.

En la ilustración C.13 vemos la última pieza del sistema de poleas. En la pieza REAR IDLER Left colocaremos un par de rodamientos F623ZZ en cada uno de los orificio, como se aprecia en la imagen.

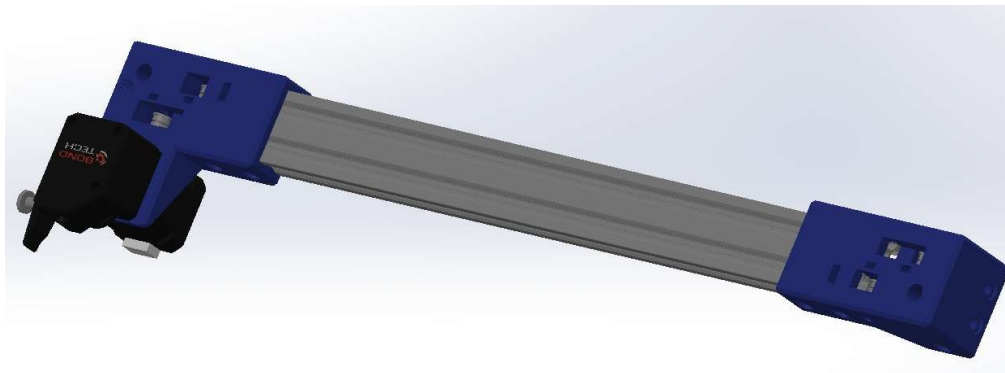


Ilustración C.14 Montaje del travesaño superior de la impresora.

Para finalizar esta sección se unirán ambas piezas impresas mediante el uso de tornillos M5 x 8 mm de cabeza redonda a un perfil 2040 de 456 mm.

A continuación, nos disponemos a montar el cabezal de extrusión y finalizar el Core XY.



Ilustración C.15 Montaje de la unión del travesaño superior con los componentes que conforman el Core XY.

La imagen C.16 ilustra la disposición de las diferentes piezas que forman el cabezal, la cual se describe con más detalle a continuación.

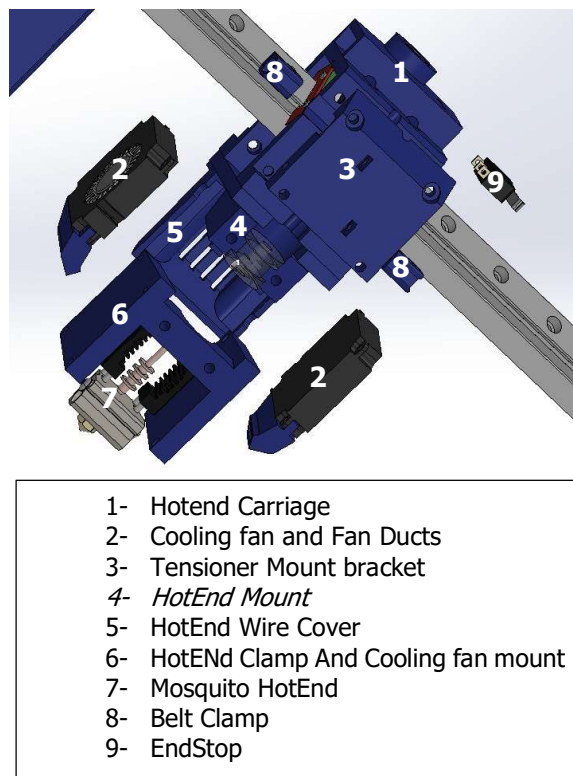


Ilustración C.16 Despiece y listado de piezas del cabezal.

En primer lugar, uniremos los *Fan Ducts* con los *Cooling fan* ventiladores, conformando la pieza 2. Después unimos dicha pieza con *HotEnd Clamp And Cooling fan Mount* (6). El mosquito *HotEnd* (7) se inserta en el lugar que muestra la imagen C.16 y se asegura con la pieza *HotEnd Mount* (4) y dos M3 x 25mm.

Por otra parte, fijamos el *EndStop* (9) al *Hotend Carriage* (1) y lo instalamos sobre la barra cuadrada de 13 x 480mm en la que previamente habíamos instalado una de las guías lineales.

A continuación unimos ambos conjuntos de piezas utilizando M3 x 12mm según se detalla en la imagen anterior; para concluir después el montaje de todo el eje del cabezal de impresión.

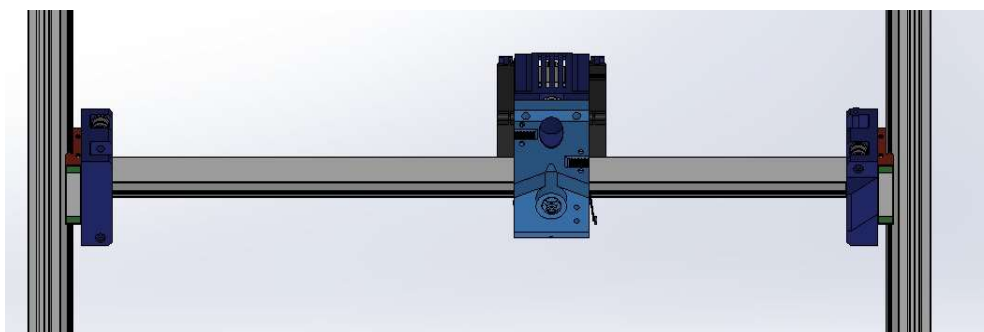


Ilustración C.17 Montaje del eje X.

En este caso, procederemos a la inserción de dos pares de rodamientos F623ZZ, tal y como se ilustra más abajo, en la pieza *X Axis Mount Left*. La barra cuadrada con su guía lineal se fija en el interior de la misma utilizado M3 x 12mm.

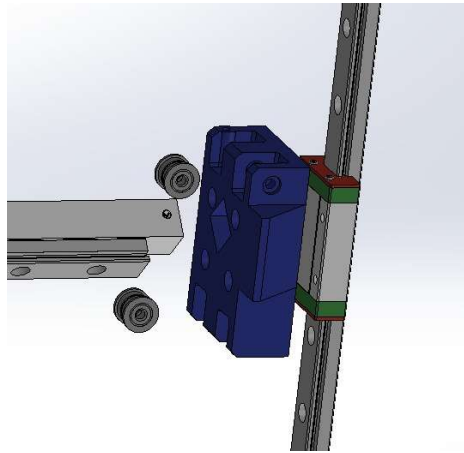


Ilustración C.17 Despiece del *X Axis Mount Left*.

Repetimos el mismo proceso en el lado opuesto.

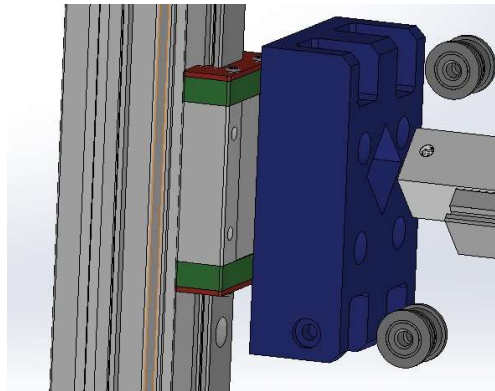


Ilustración C.17 Despiece del *X Axis Mount Right*.

La imagen C.18 muestra la conformación definitiva del sistema Core XY, por el que se desplazará el cabezal de impresión.



Ilustración C.18 Montaje definitivo del Core XY.

A continuación, instalamos los dos perfiles 2020 de 315mm, a los cuales hemos acoplado previamente las piezas *Side Support Bottom* y *Side Support Top*, con M5 x 8mm y tuercas T M5.



Ilustración C.19 Acoplamiento de los perfiles verticales y anclajes.

Una vez finalizada la parte superior, volvemos a retomar el montaje de la base de la impresora. Para ello procedemos a la instalación de una placa de acero de 380 x 520 x 10mm y otra de 230 x 520 x 10mm sobre los perfiles C4080, quedando estas debajo de la cinta.

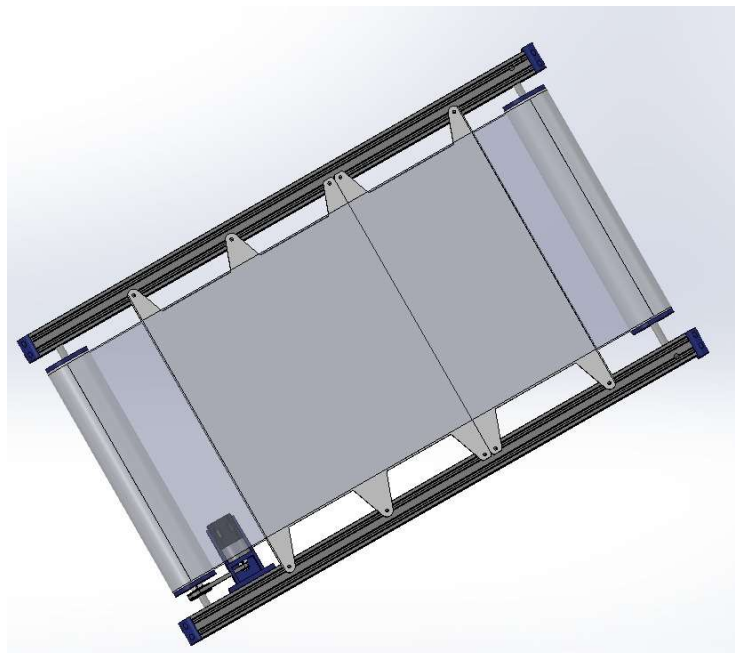


Ilustración C.20 Posicionamiento de las placas de acero que conforman la base de impresión.

Para finalizar, uniremos ambos conjuntos, superior e inferior, mediante el uso de tuercas T M5 y tornillos M5 x 8mm, con cabeza de gota.

Y para finalizar, instalaremos el circuito de poleas que conformaran el eje XY de la impresora, uniendo el cuerpo de la impresora con el cabezal de impresión tal y como se muestra en la figura C.21.

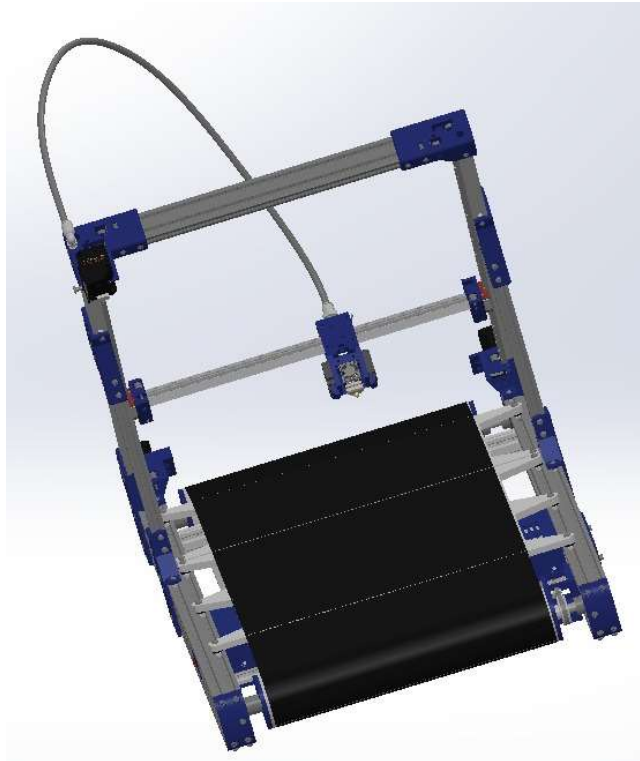


Ilustración C.21 Imagen de la impresora 3D finalizada.

ANEXO D. OPTIMIZACION TOPOLOGICA DE LAS PIEZAS

D. Optimización topológica de las piezas

A partir de los resultados descritos en el Anexo B – Estudio de esfuerzo de las piezas impresas, se opta por optimizar el *infill* de las mismas utilizando el método de la optimización topológica.

Para ello, en el programario SolidWorks® se ejecuta un estudio de topología de las piezas en los cuales, los requisitos de las mismas serán una reducción mayor o igual a un 20% de la masa original de la pieza y que esta mantenga un factor de seguridad superior al 2,5. En los siguientes apartados se puede observar el resultado de la optimización así como una visión tridimensional de como queda el *infill* para las piezas estudiadas en el Anexo B.

D.1. Belt Stepper Mount

En lo que refiere al *Belt Stepper Mount*, una vez efectuada la optimización topológica de la pieza, hemos conseguido reducir a un 62% la masa de la pieza mientras mantenemos el coeficiente de seguridad de 2,5. Obteniendo la pieza que se puede observar en la ilustración D.1

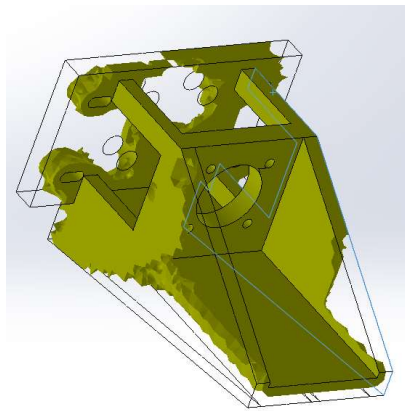


Ilustración D.1 Optimización topológica de la pieza *Belt Stepper Mount*

D.2. Rear Idler Right

En el caso de el *Rear Idler Right*, al efectuar la optimización topológica hemos conseguido bajar a un 60% de la masa inicial la pieza, permitiéndonos que ese 40% de masa podamos llenarlo con un *infill* de inferior luz y manteniendo un factor de seguridad de 2,5. De esta manera hemos obtenido la pieza que se describe en la ilustración D.2.

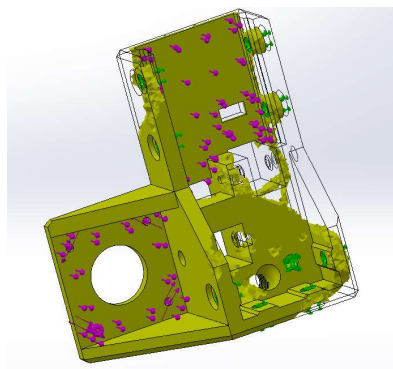


Ilustración D.2 Optimización topológica de la pieza *Rear Idler Right*

D.3. Stepper Mount Right

Para los *Stepper Mount*, al efectuar la optimización topológica hemos conseguido bajar a un 61% de la masa inicial la pieza. Podemos observar que el mayor porcentaje de la pieza donde quitamos la masa, esta en la zona mas alejada del motor, concretamente en el punto donde fijamos la pieza al perfil 4080C.

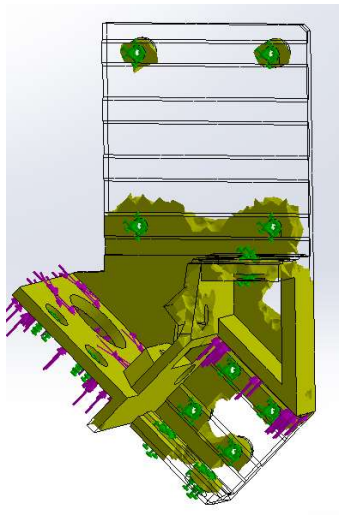
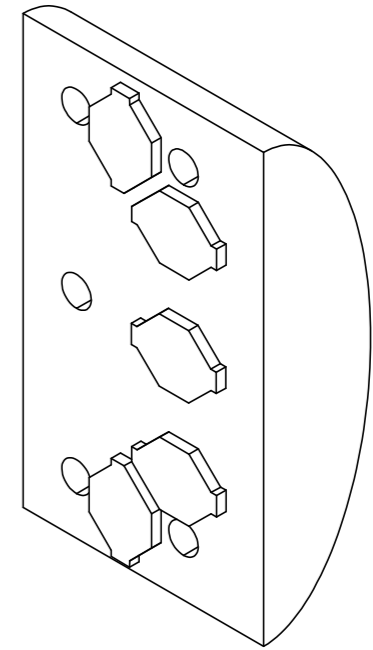
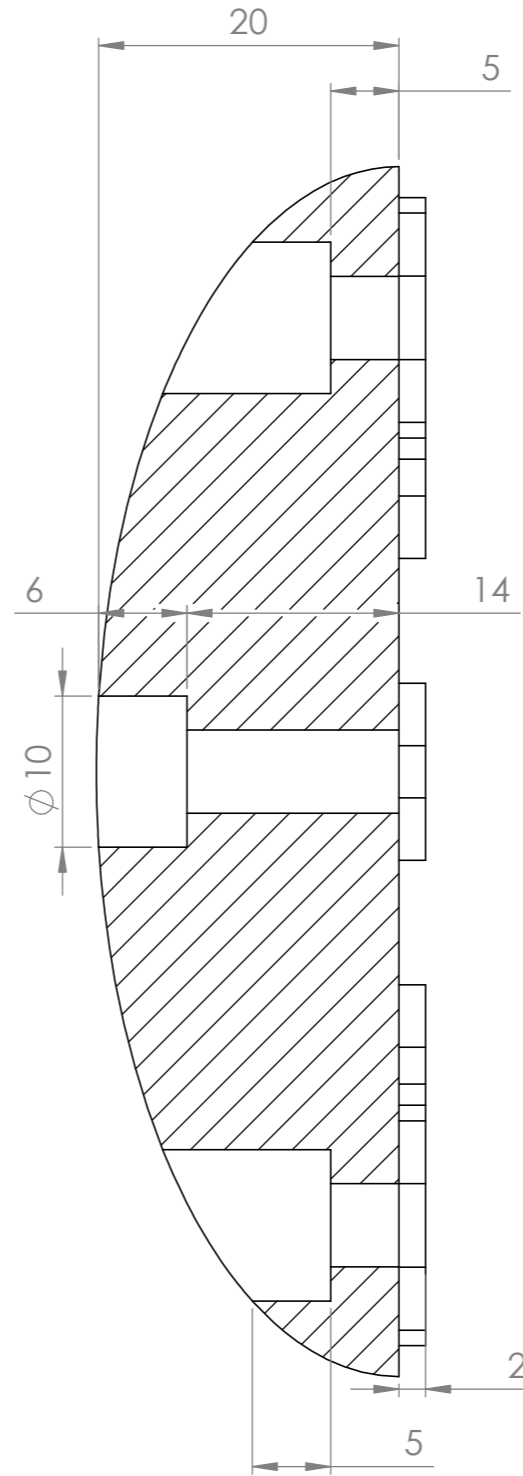
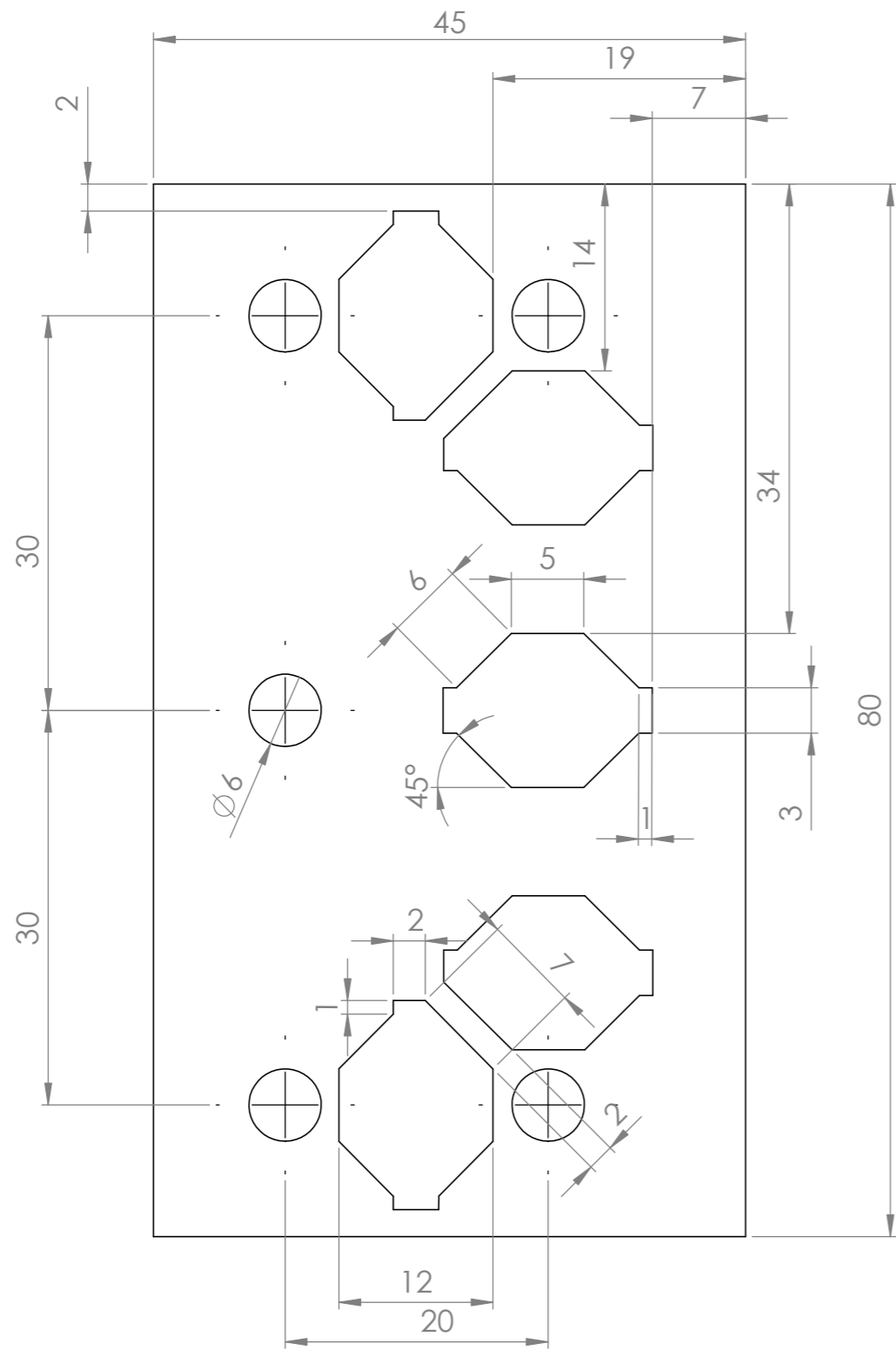
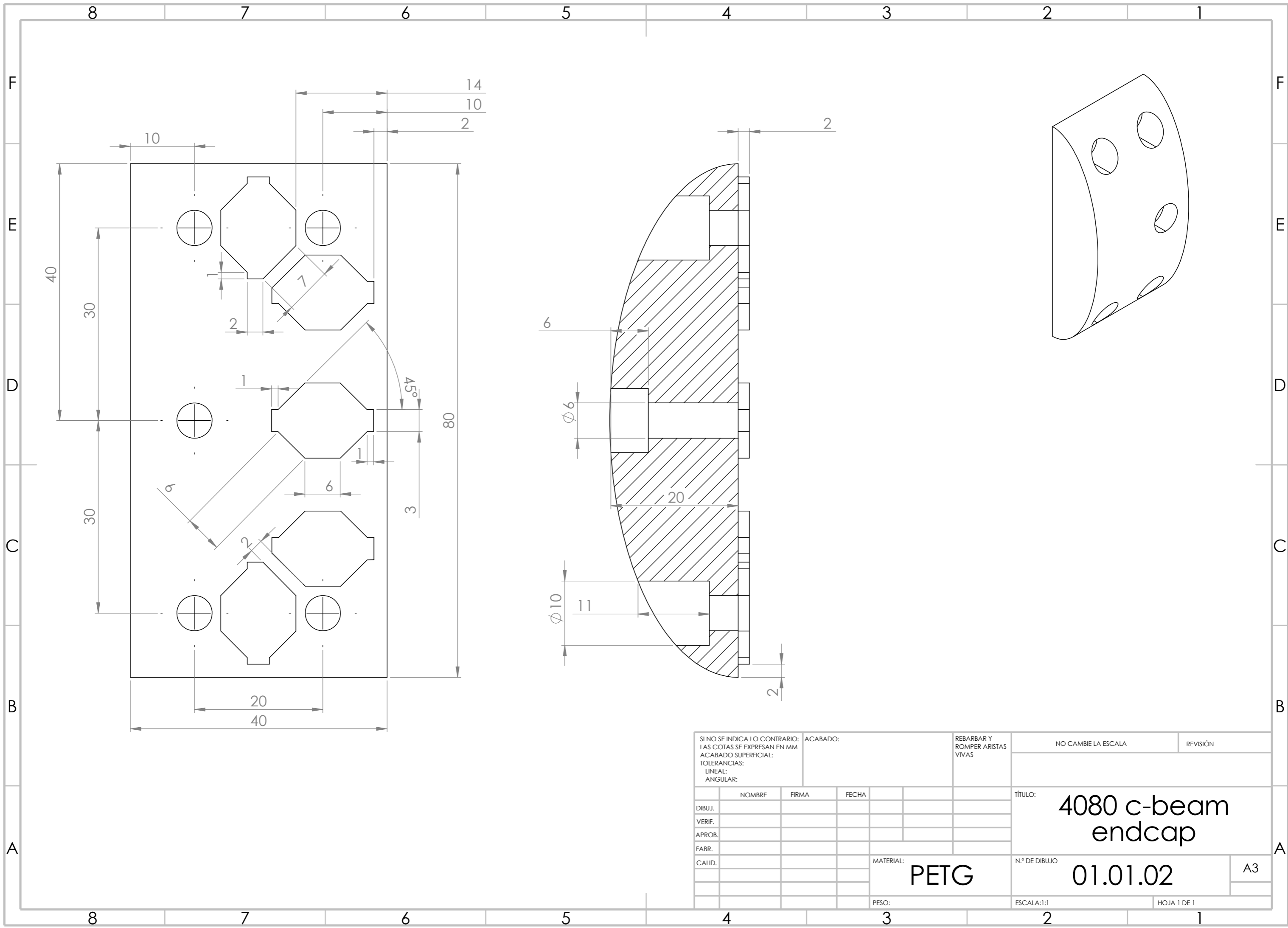


Ilustración D.3 Optimización topológica de la pieza *Stepper Mount Right*

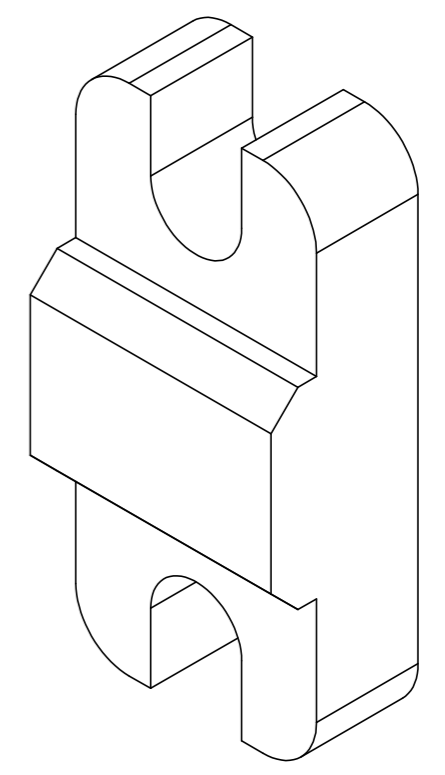
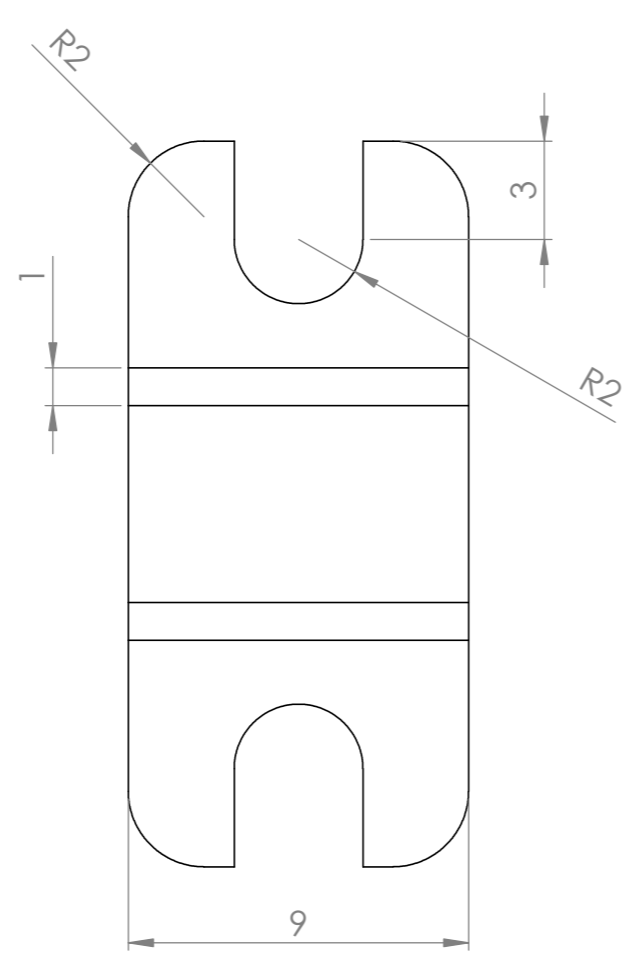
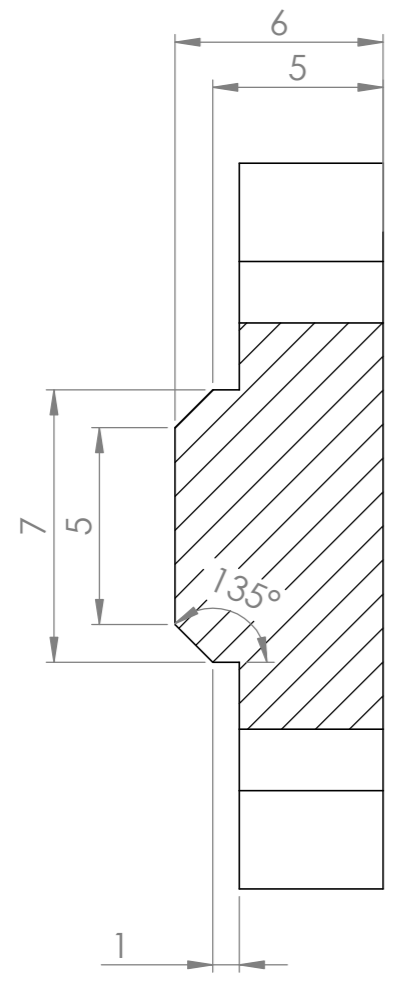
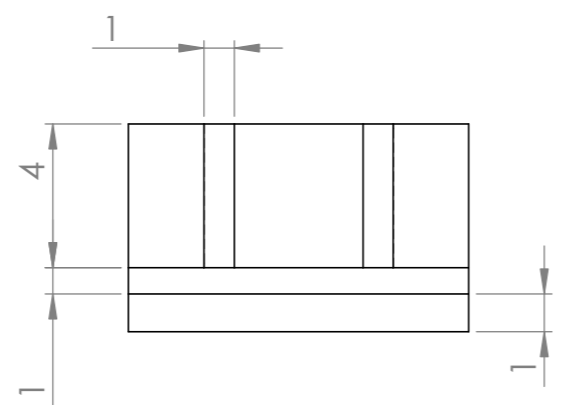
ANEXO E. PLANOS DE LAS PIEZAS A IMPRIMIR



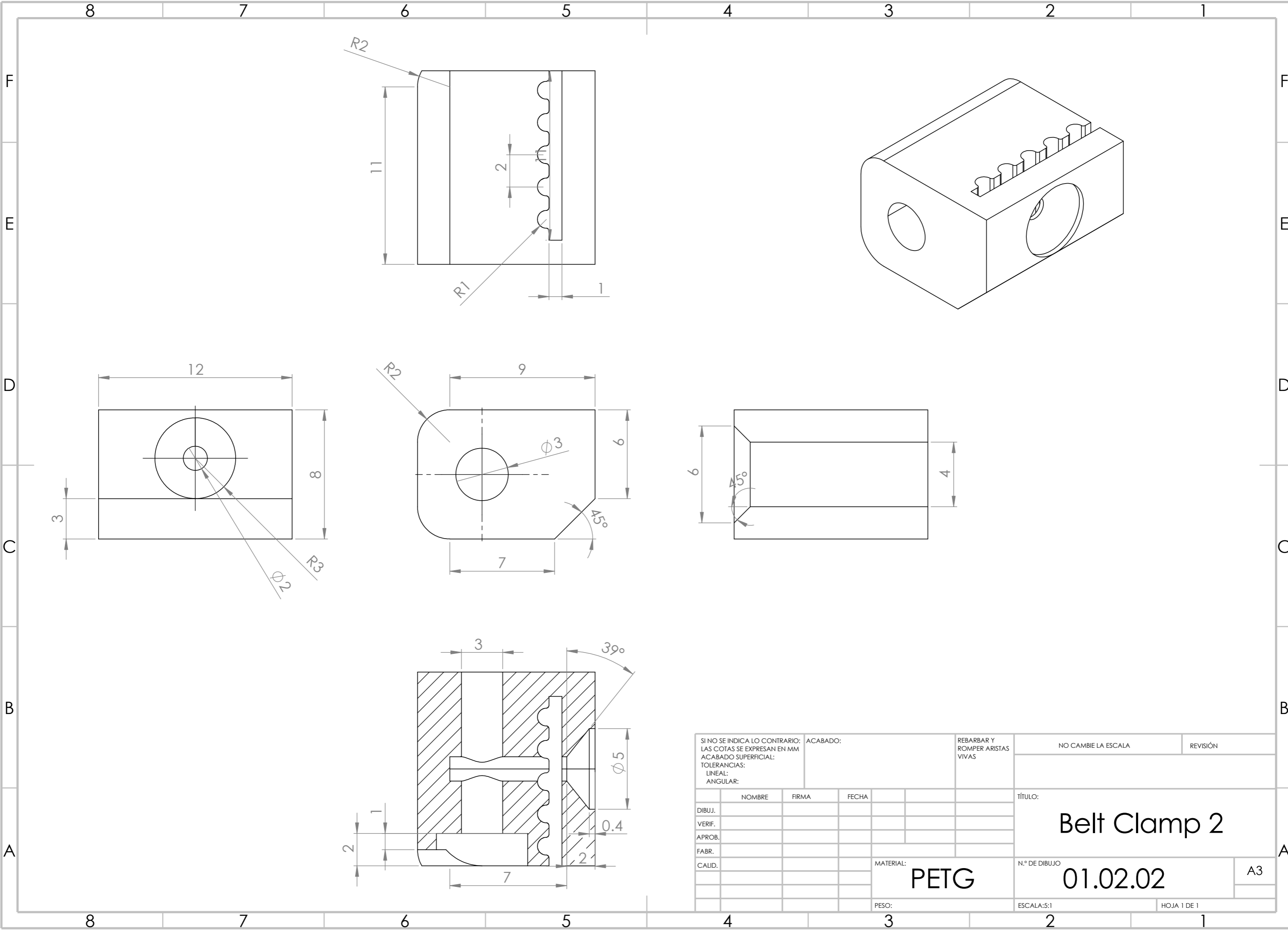
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA		TÍTULO: 4080 c-beam endcap wider	
VERIF.					N.º DE DIBUJO	A3
APROB.					01.01.01	
FABR.				MATERIAL:	PETG	
CALID.				PESO:	ESCALA:1:1	HOJA 1 DE 1



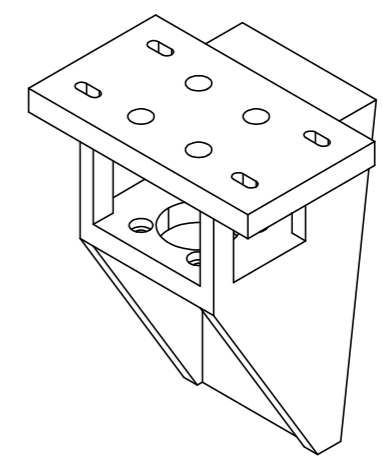
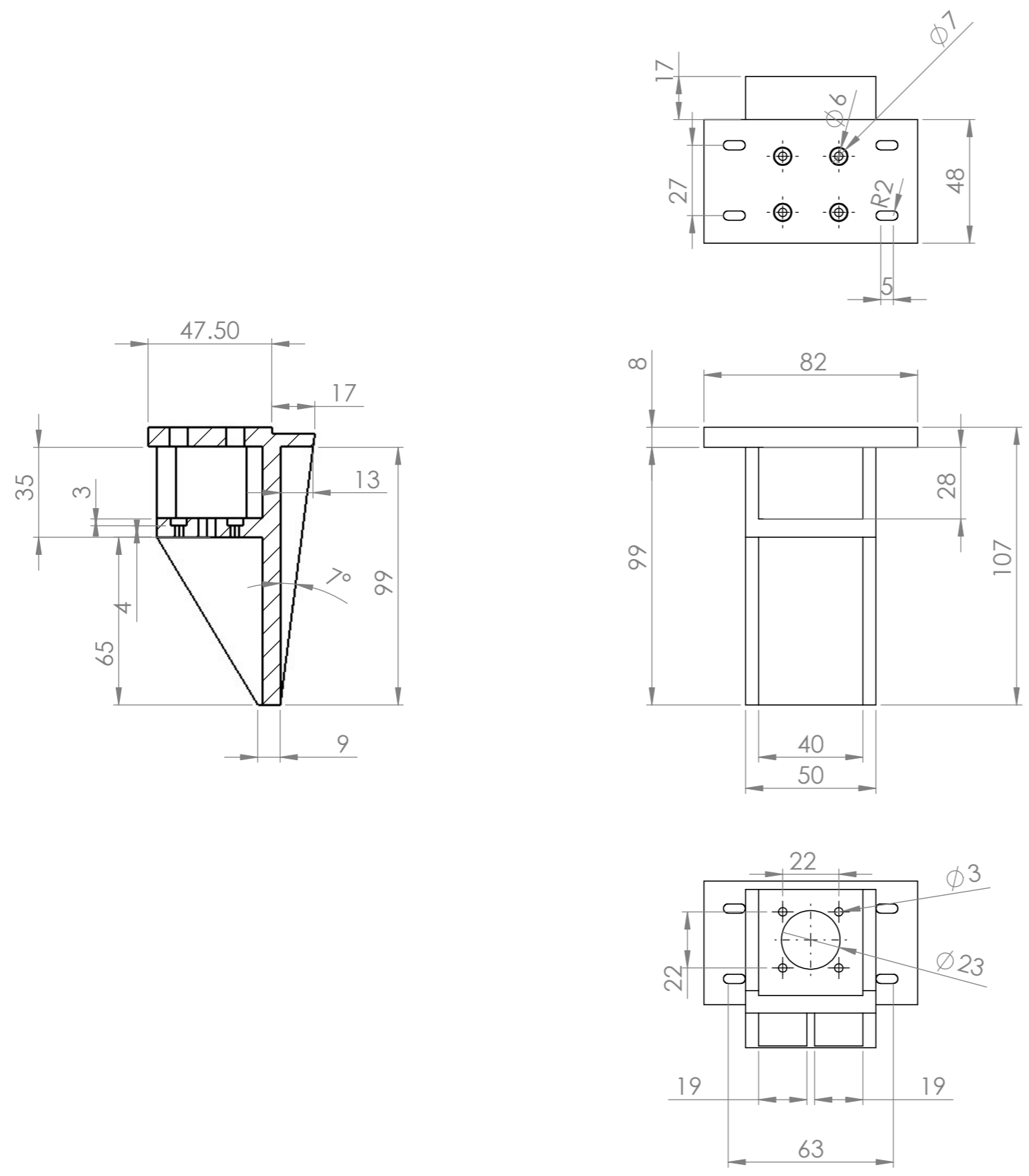
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO: 4080 c-beam endcap	
VERIF.						N.º DE DIBUJO	A3
APROB.						01.01.02	
FABR.					MATERIAL: PETG	ESCALA:1:1	HOJA 1 DE 1
CALID.					PESO:		



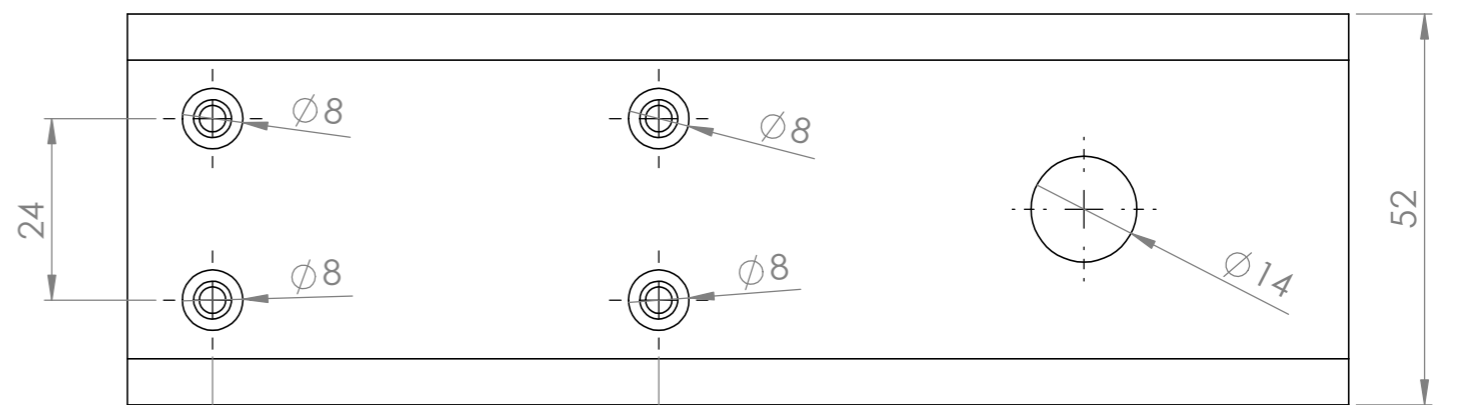
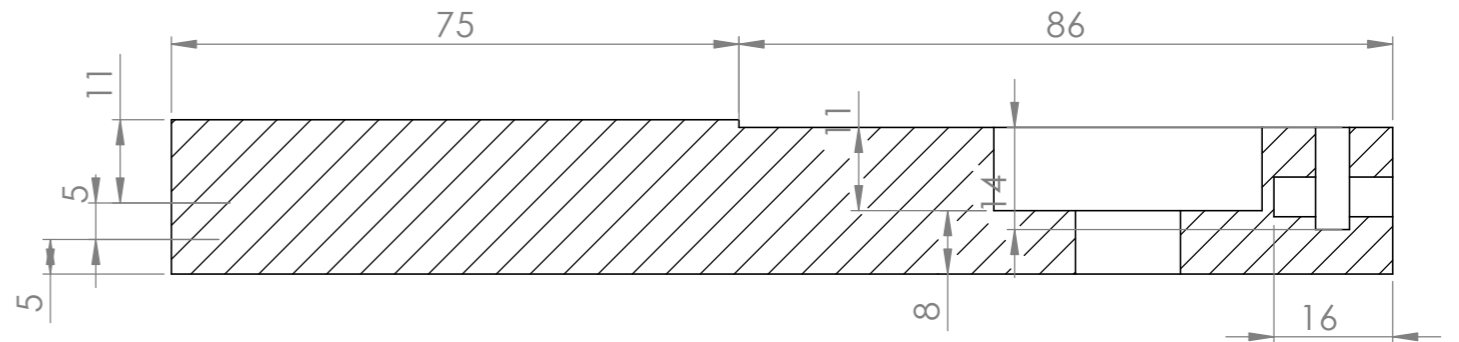
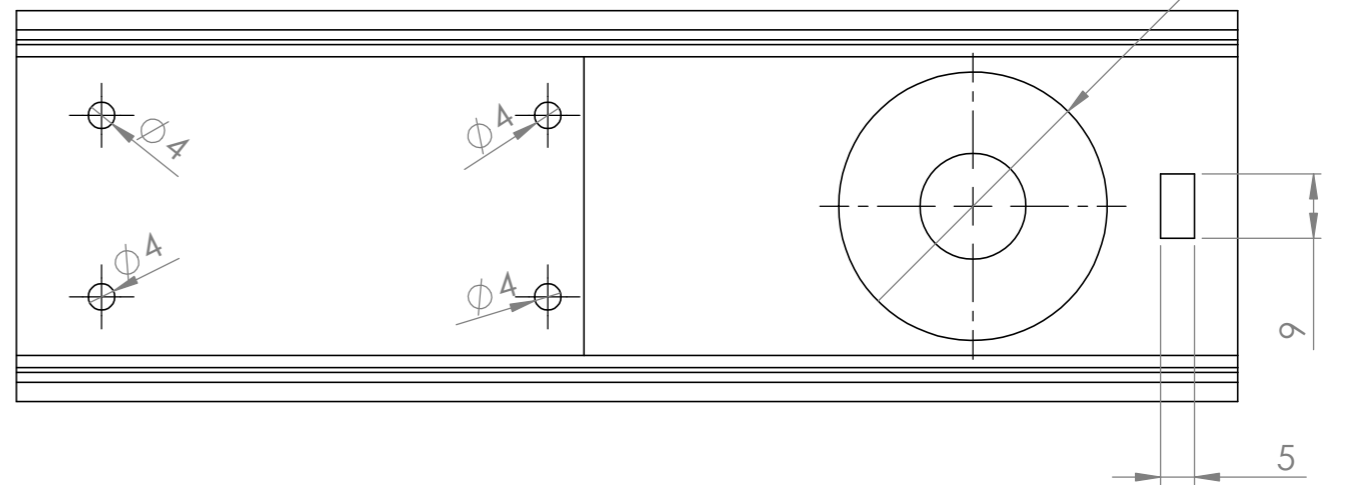
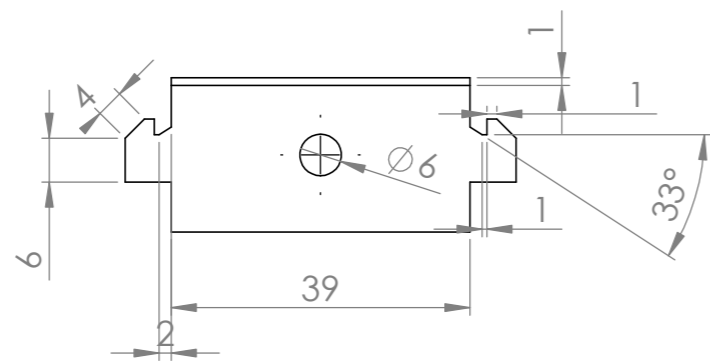
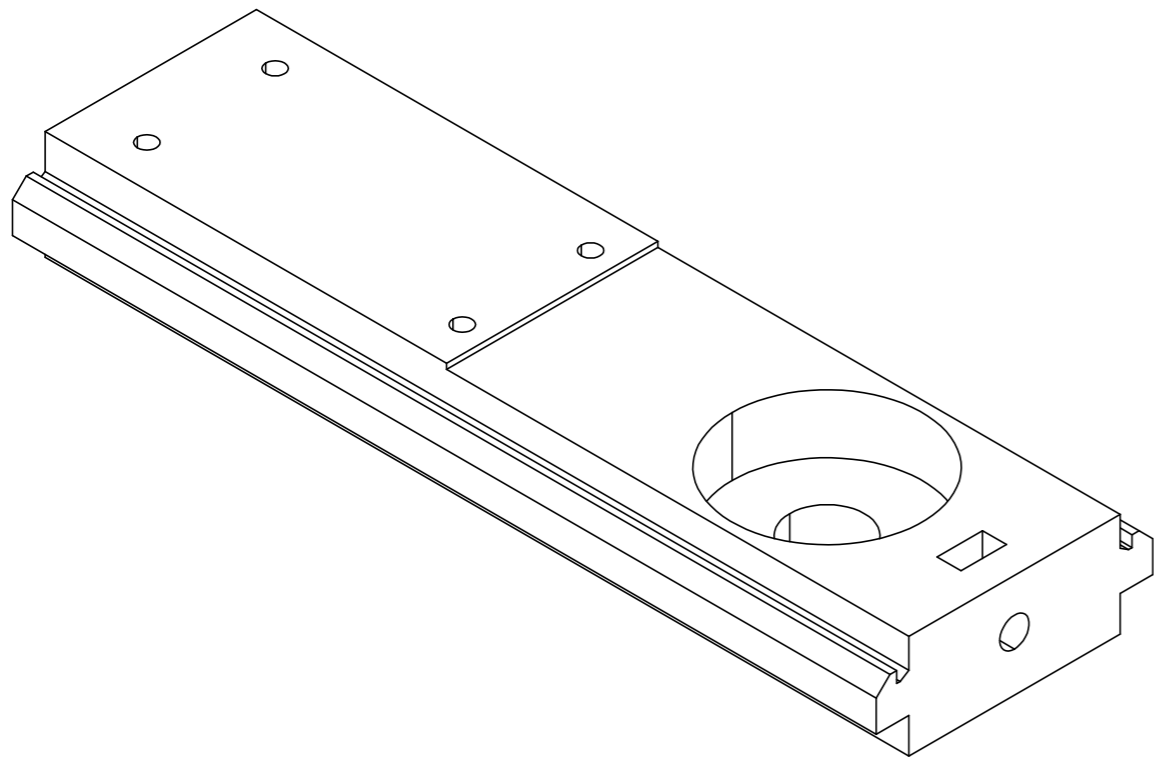
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
DIBUJ.		NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:	
VERIF.								Belt clamp	
APROB.									
FABR.								N.º DE DIBUJO	
CALID.						MATERIAL:		01.02.01	
						PESO:		A3	
						ESCALA:5:1		HOJA 1 DE 1	
						PETG			



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
ACABADO SUPERFICIAL:									
TOLERANCIAS:									
LINEAL:									
ANGULAR:									
						TÍTULO:			
						Belt Clamp 2			
						N.º DE DIBUJO		A3	
						01.02.02			
						MATERIAL:		ESCALA:5:1	
						PETG		HOJA 1 DE 1	
						PESO:			



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.		NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: Belt stepper mount
VERIF.					N.º DE DIBUJO 01.03.01
APROB.					A3
FABR.					
CALID.		MATERIAL: PETG			ESCALA:1:2
		PESO:			HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

ACABADO:
 REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA
 REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.			
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALID.			

TÍTULO:
Belt stepper mount Pt2

N.º DE DIBUJO: **01.03.02**

ESCALA: 1:1

HOJA 1 DE 1

MATERIAL: **PETG**

A3

PESO:

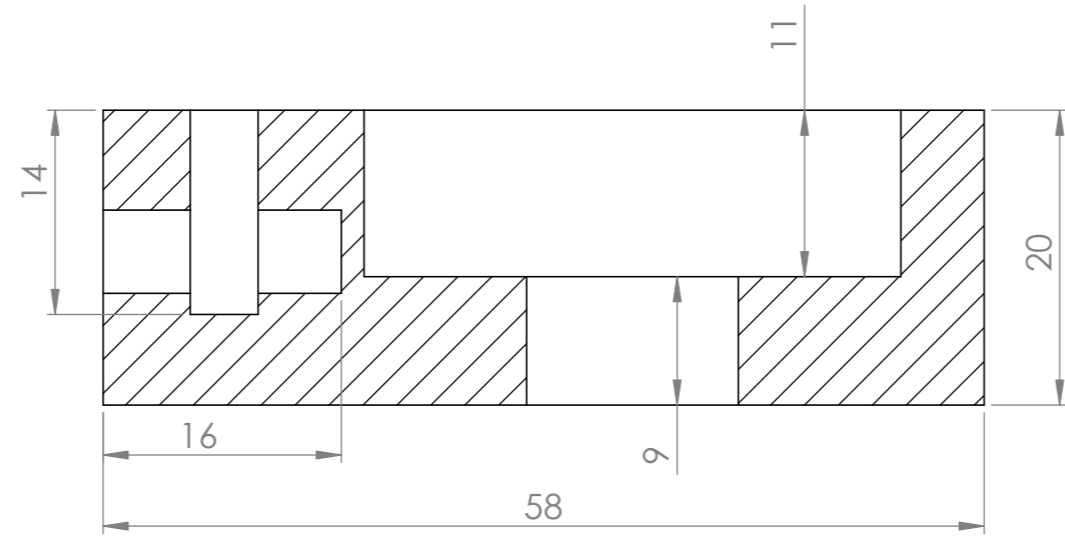
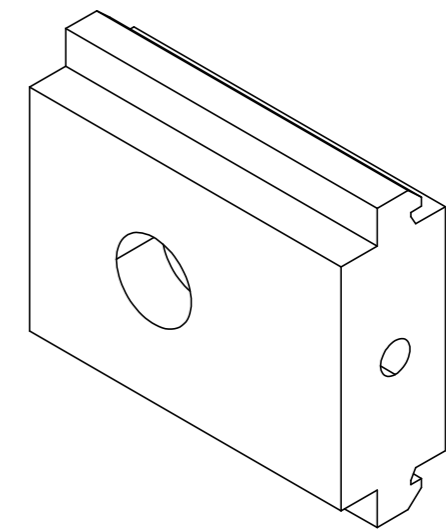
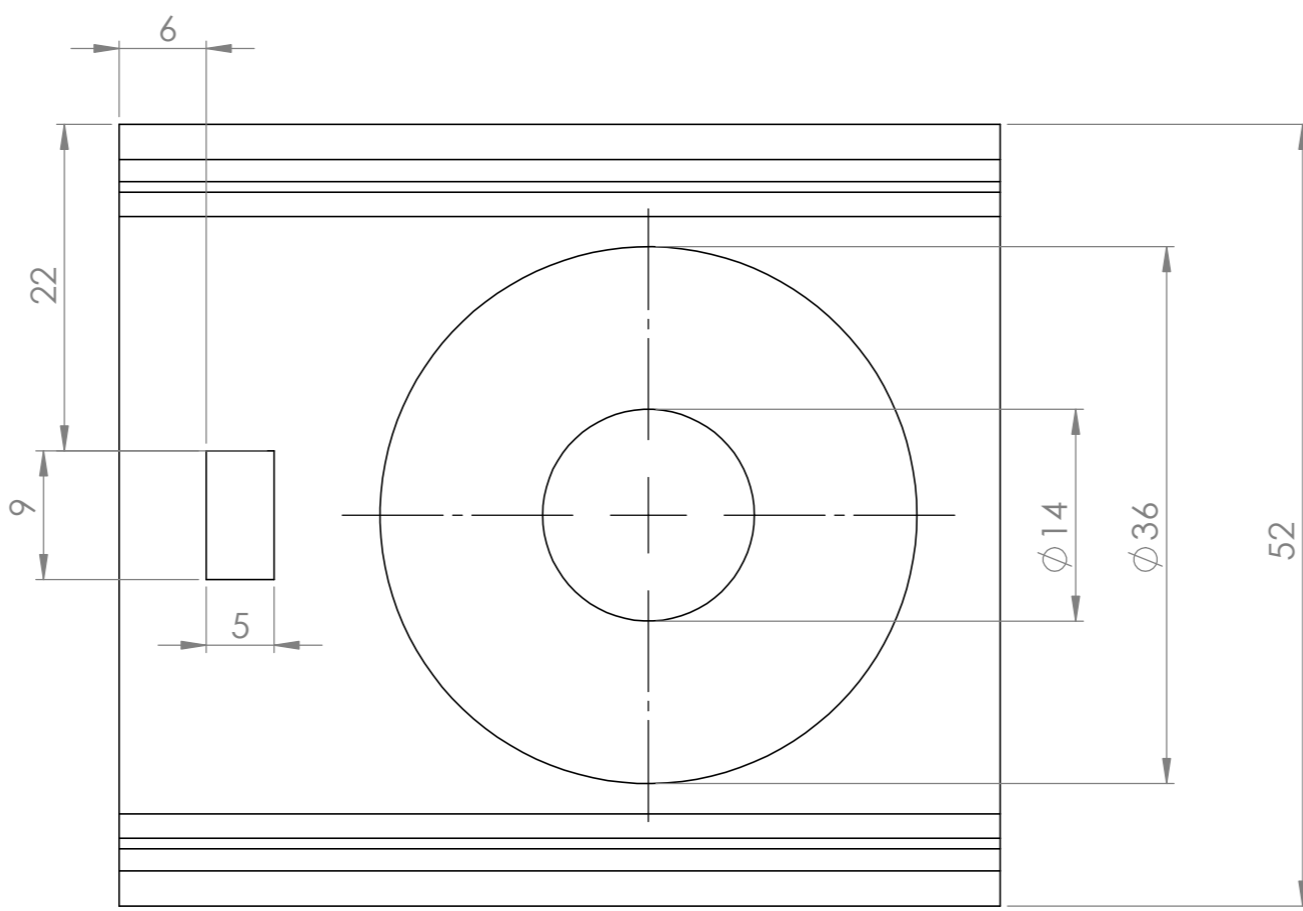
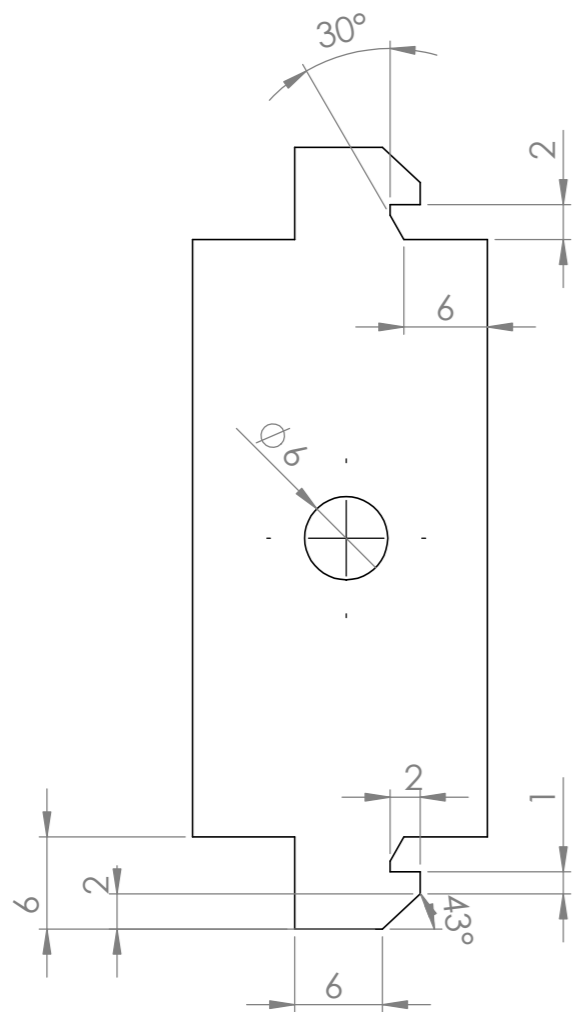
ESCALA: 1:1

HOJA 1 DE 1

8 7 6 5 4 3 2 1

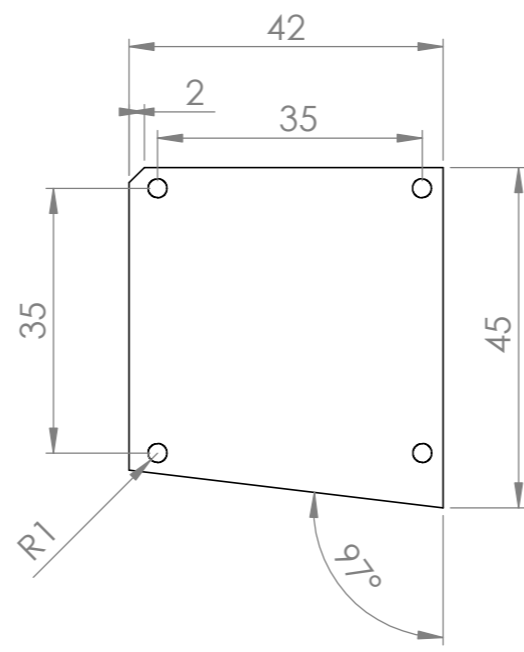
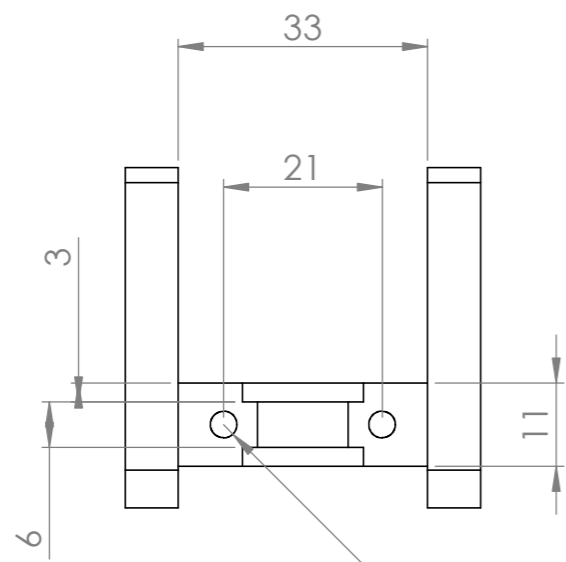
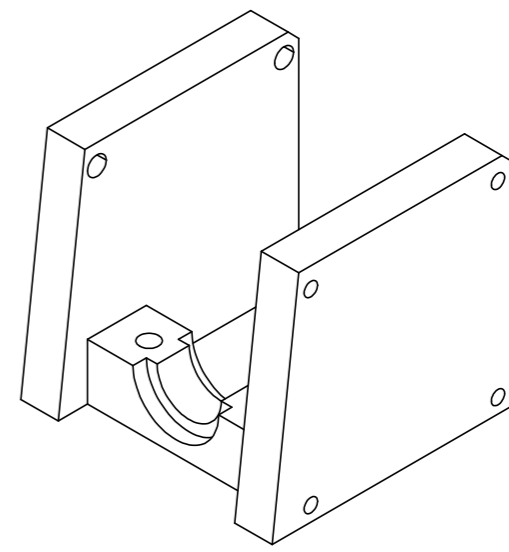
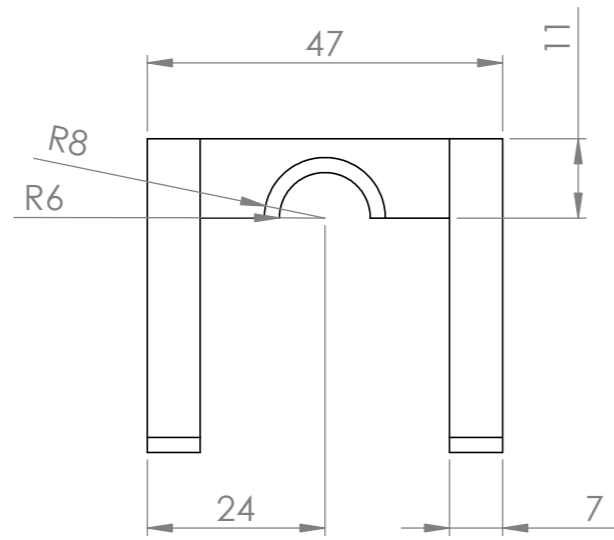
F
E
D
C
B
A

F
E
D
C
B
A



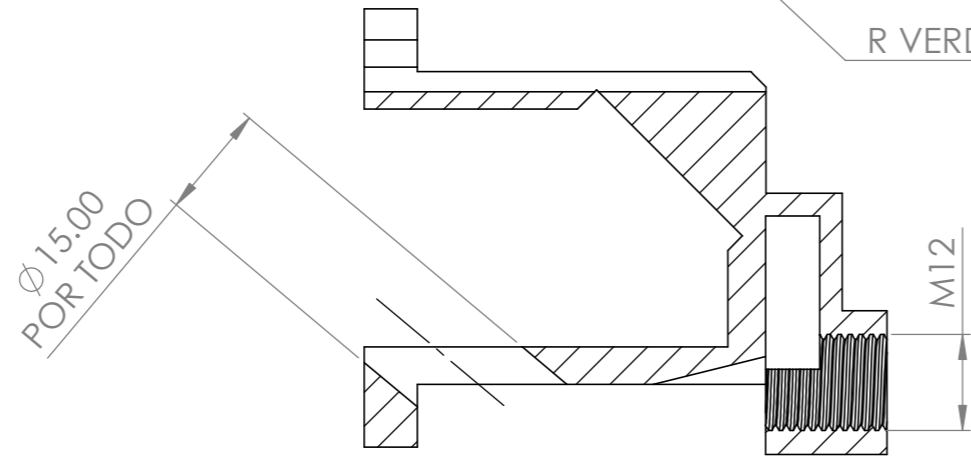
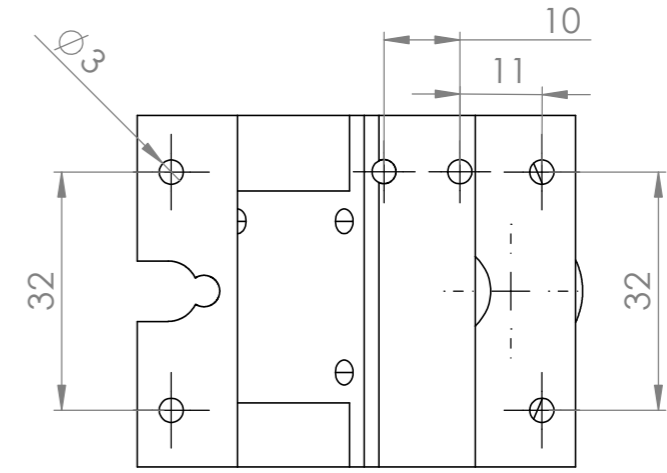
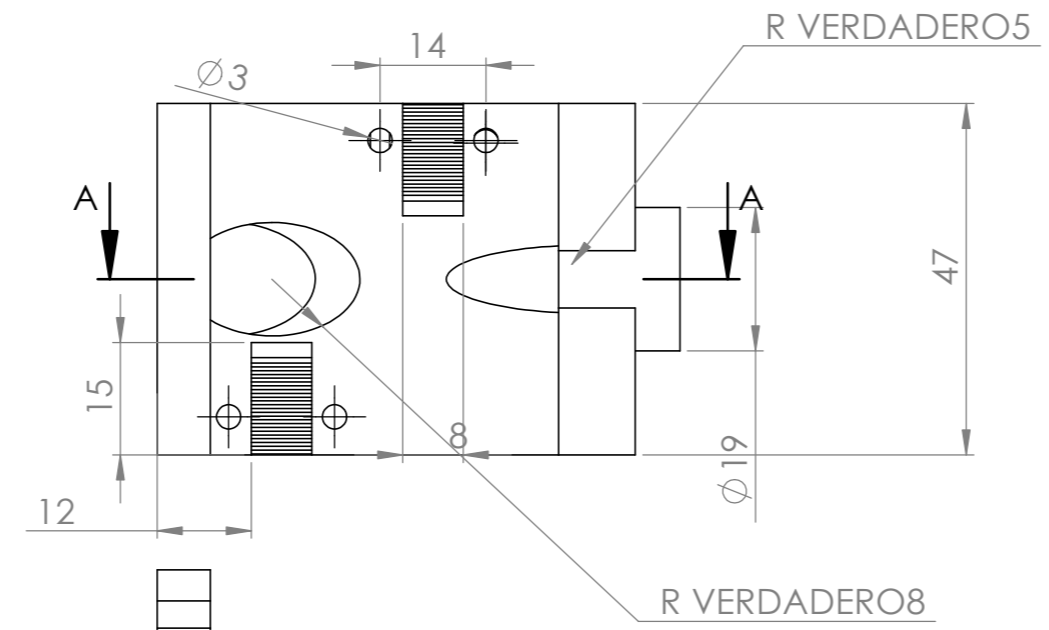
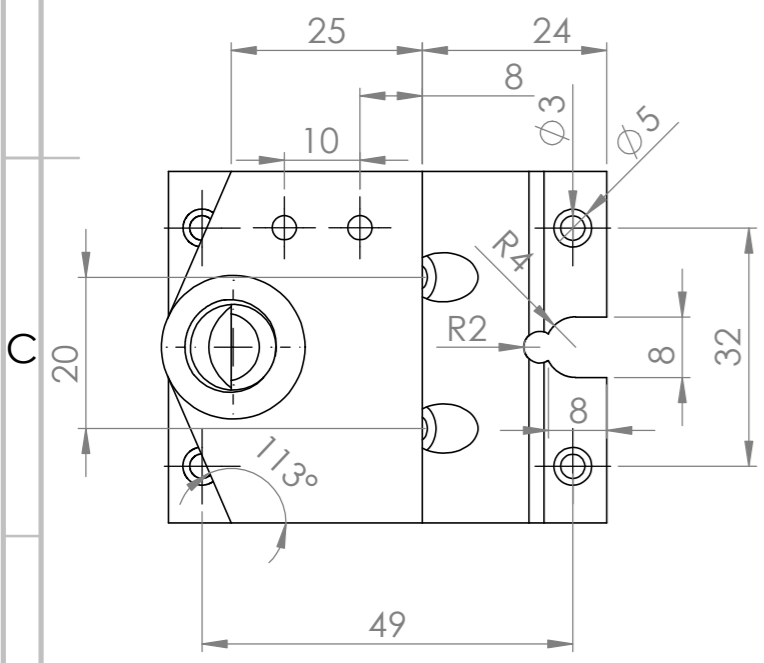
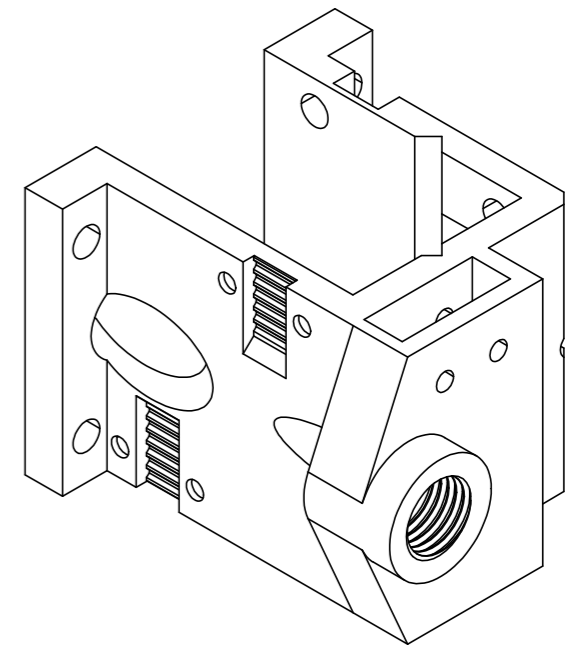
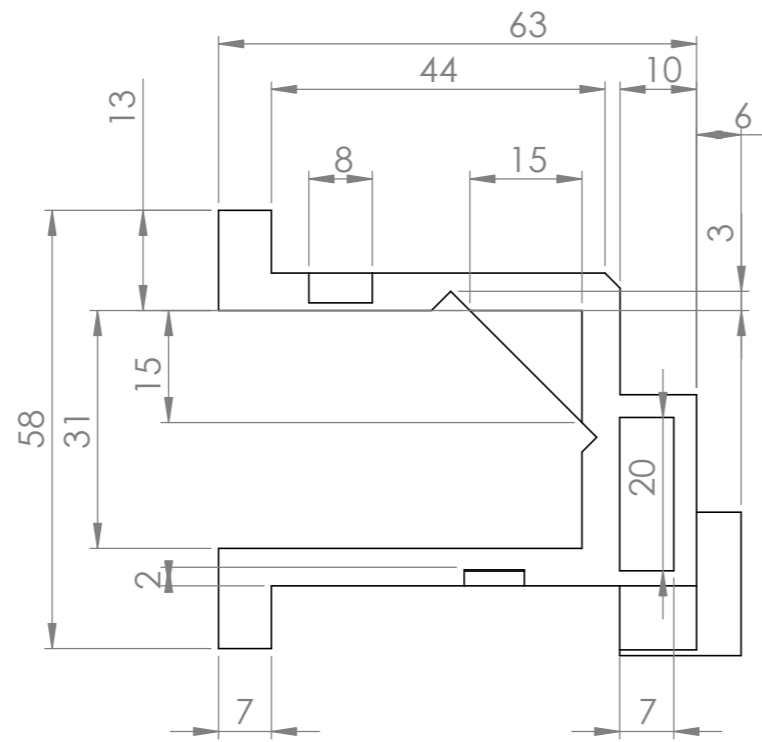
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO: Pulley Bearing Mount	
VERIF.						N.º DE DIBUJO	A3
APROB.						01.03.03	
FABR.					MATERIAL: PETG	ESCALA:2:1	HOJA 1 DE 1
CALID.					PESO:		

8 7 6 5 4 3 2 1



R2 POR TODO

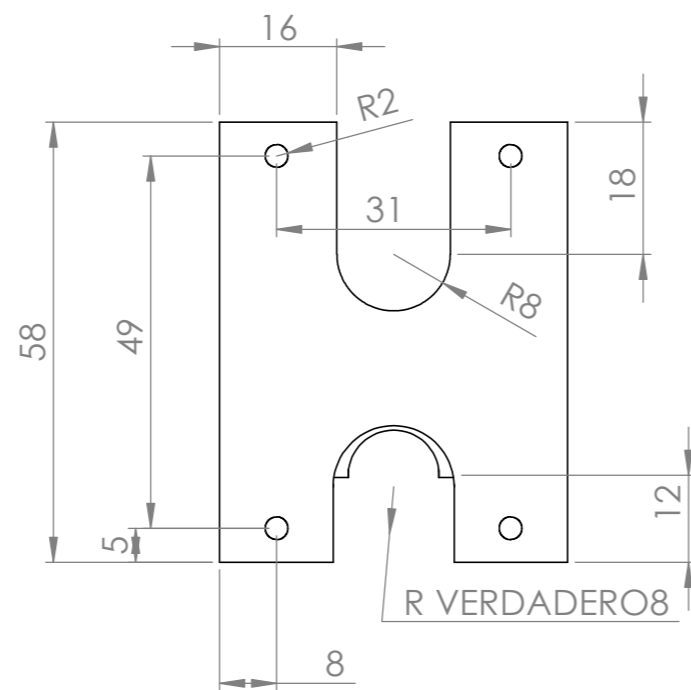
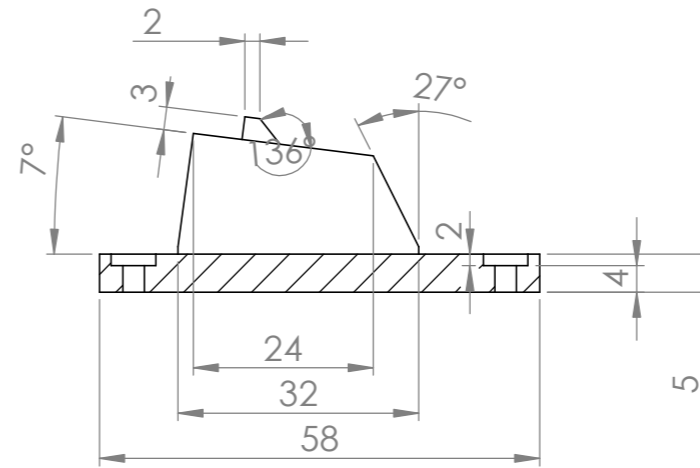
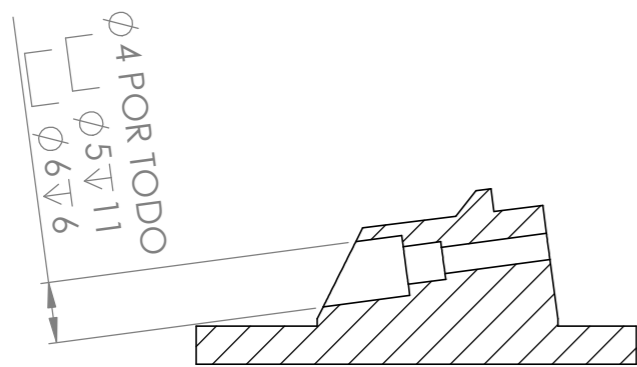
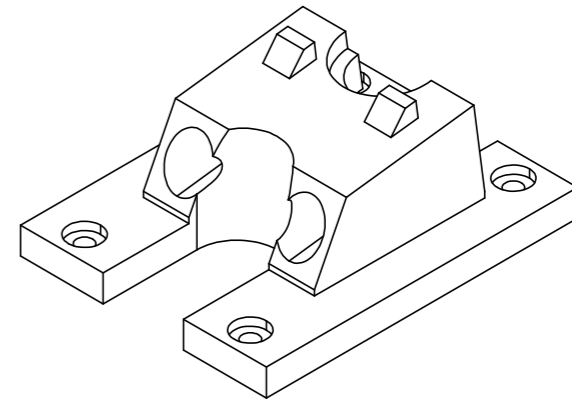
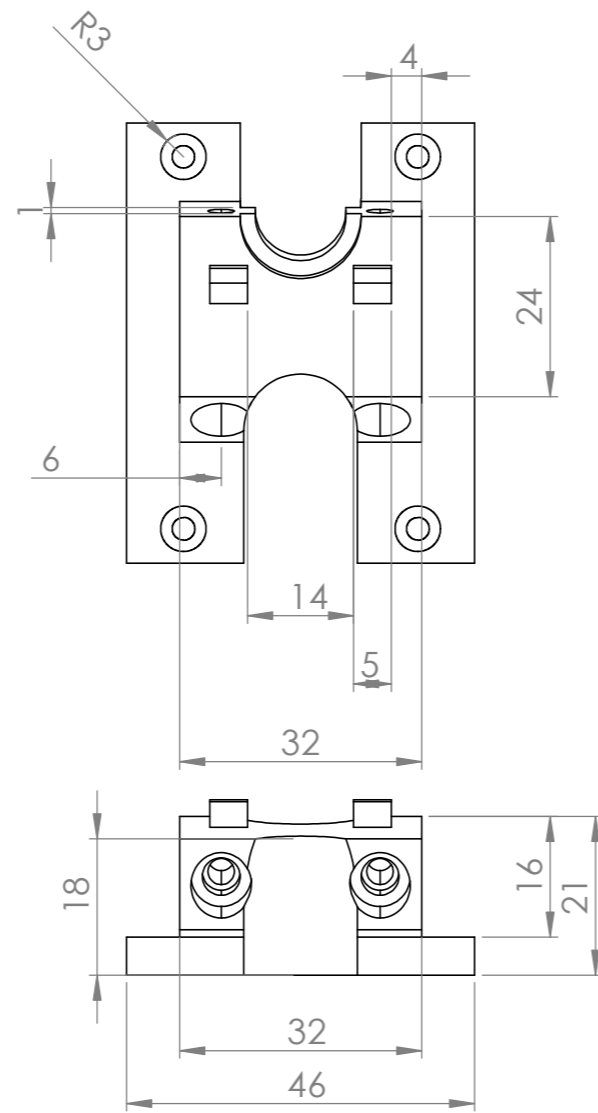
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
DIBUJ.		NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:	
VERIF.								HotEnd Clamp And Cooling Fan Mount	
APROB.								N.º DE DIBUJO	
FABR.								01.04.01	
CALID.						MATERIAL:		A3	
						PETG			
						PESO:		ESCALA:1:1	
								HOJA 1 DE 1	



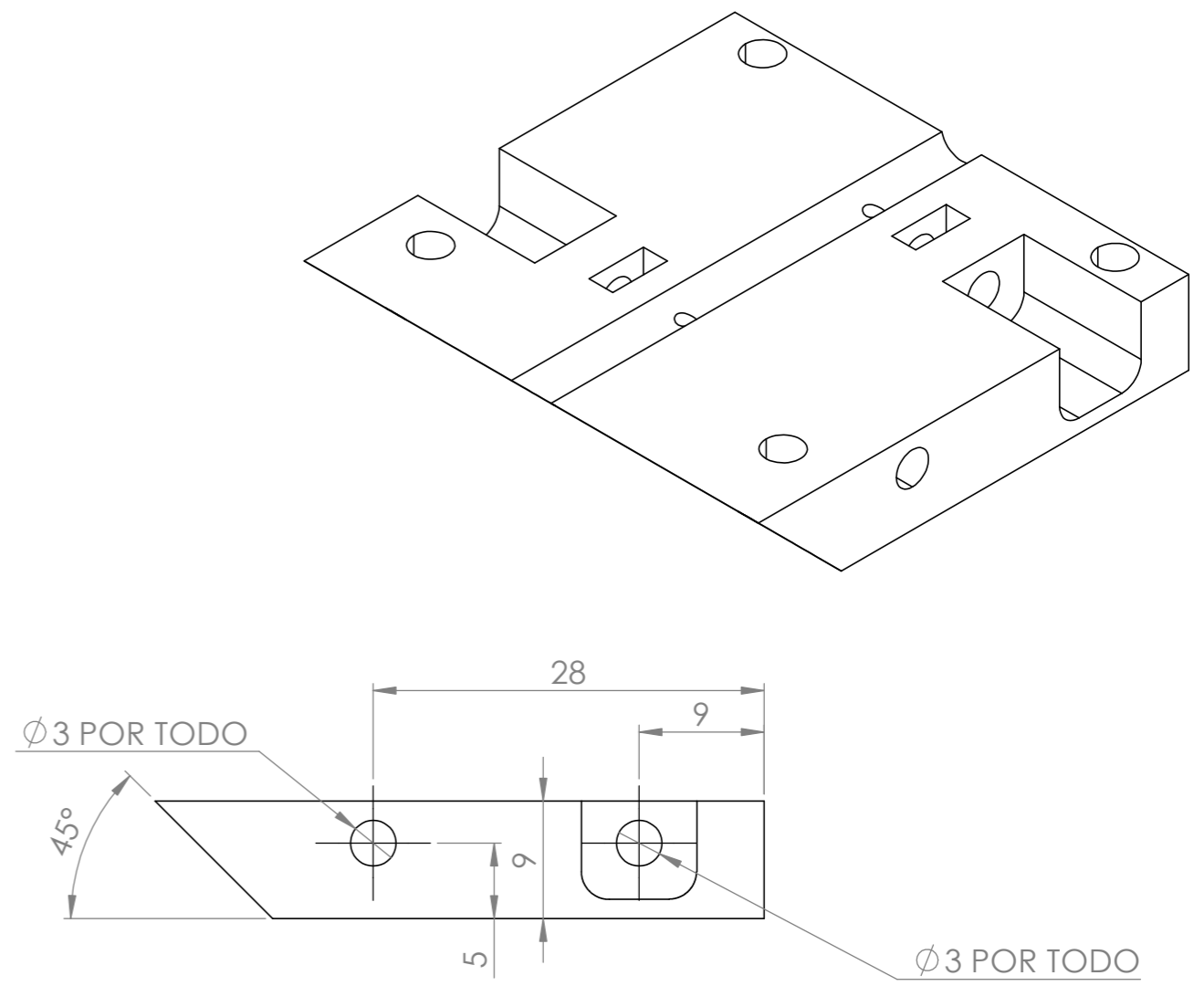
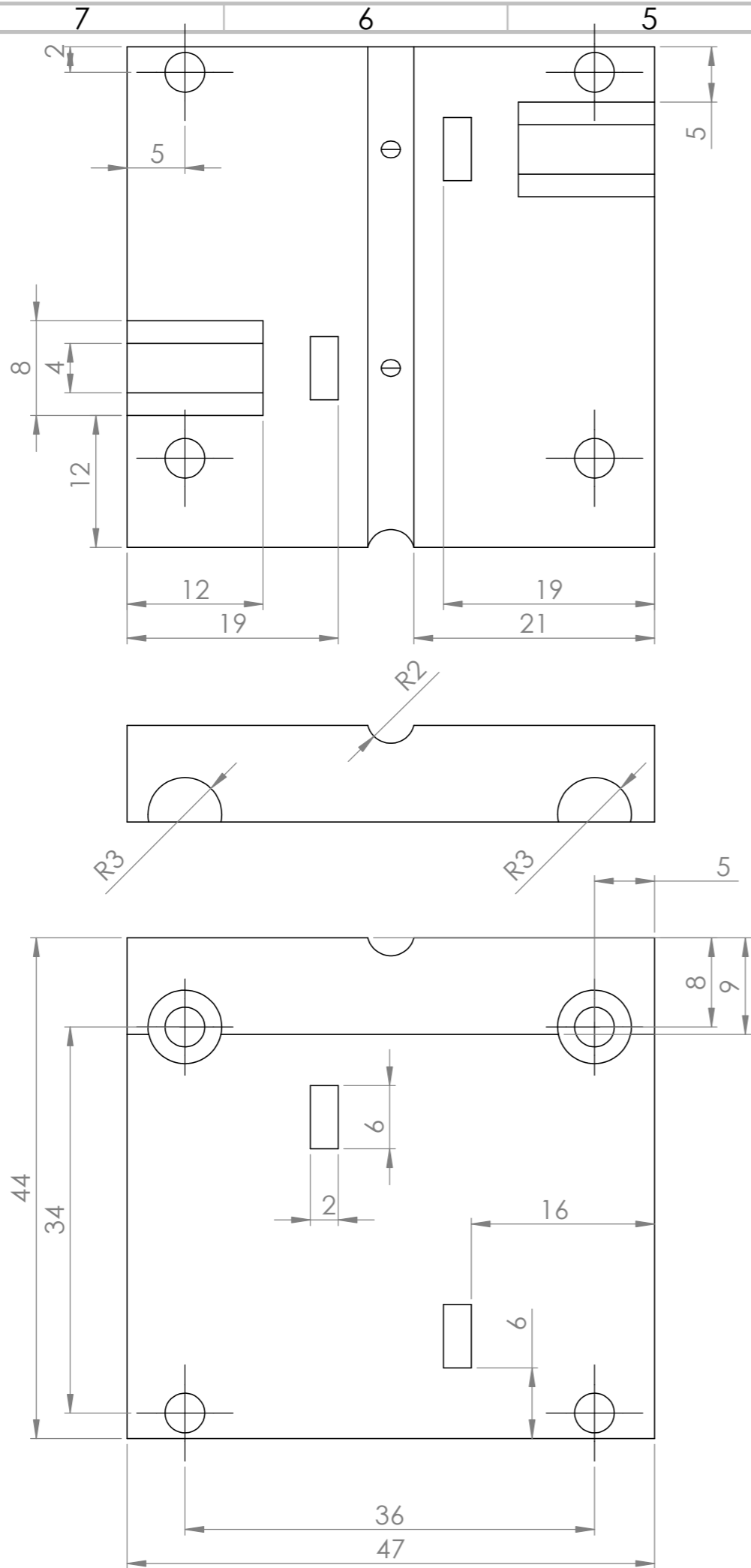
SECCIÓN A-A

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.				TÍTULO: Hotend Carriage		
VERIF.				N.º DE DIBUJO 01.04.02		
APROB.				MATERIAL: PETG		
FABR.				PESO:		
CALID.				ESCALA:1:1		
						HOJA 1 DE 1

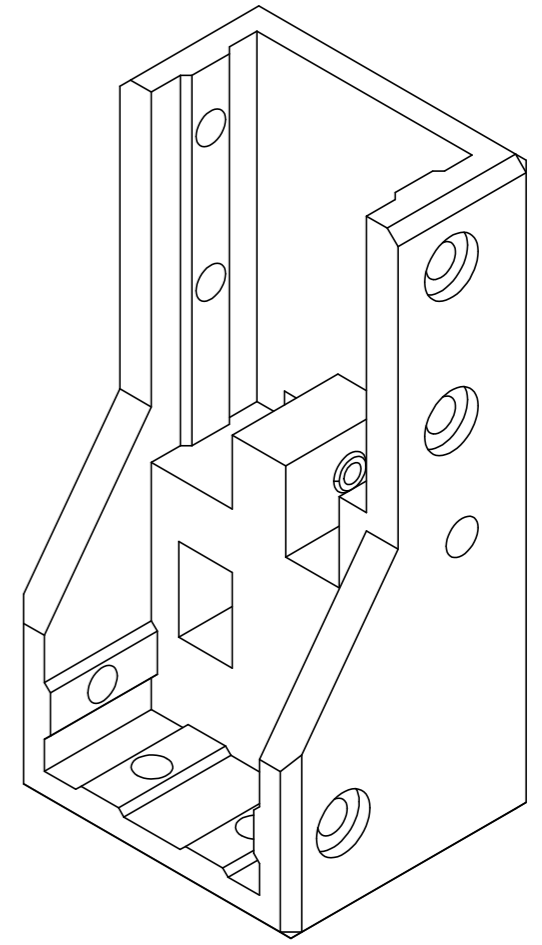
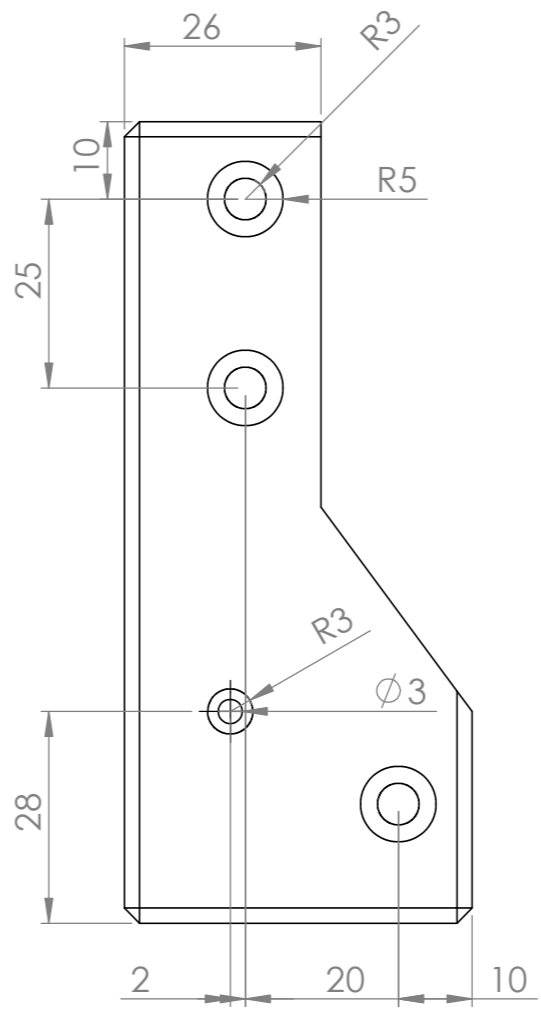
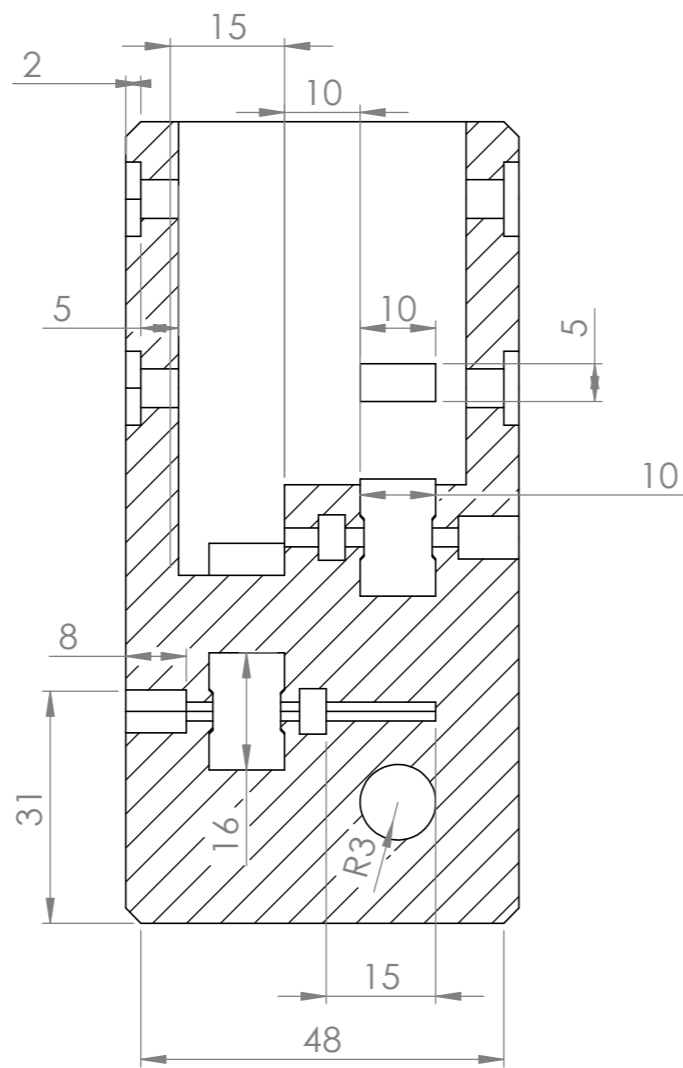
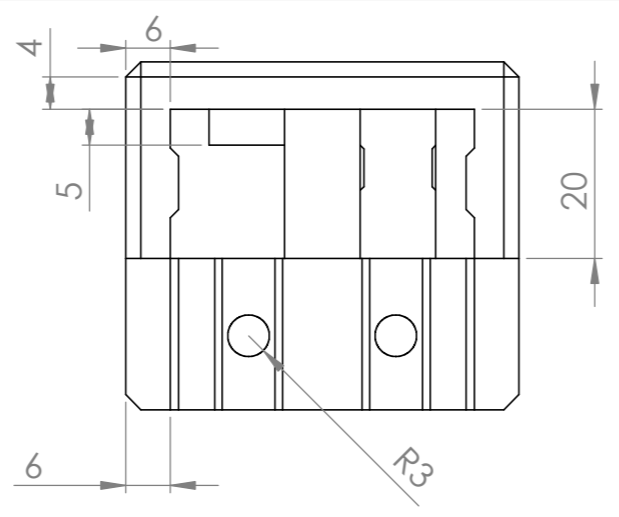
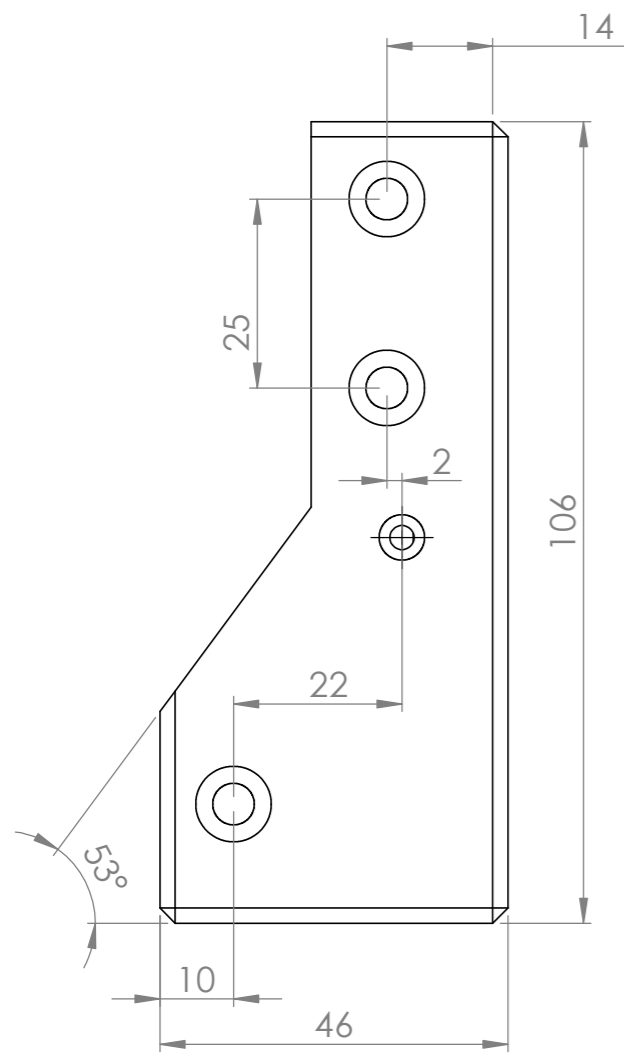
A3



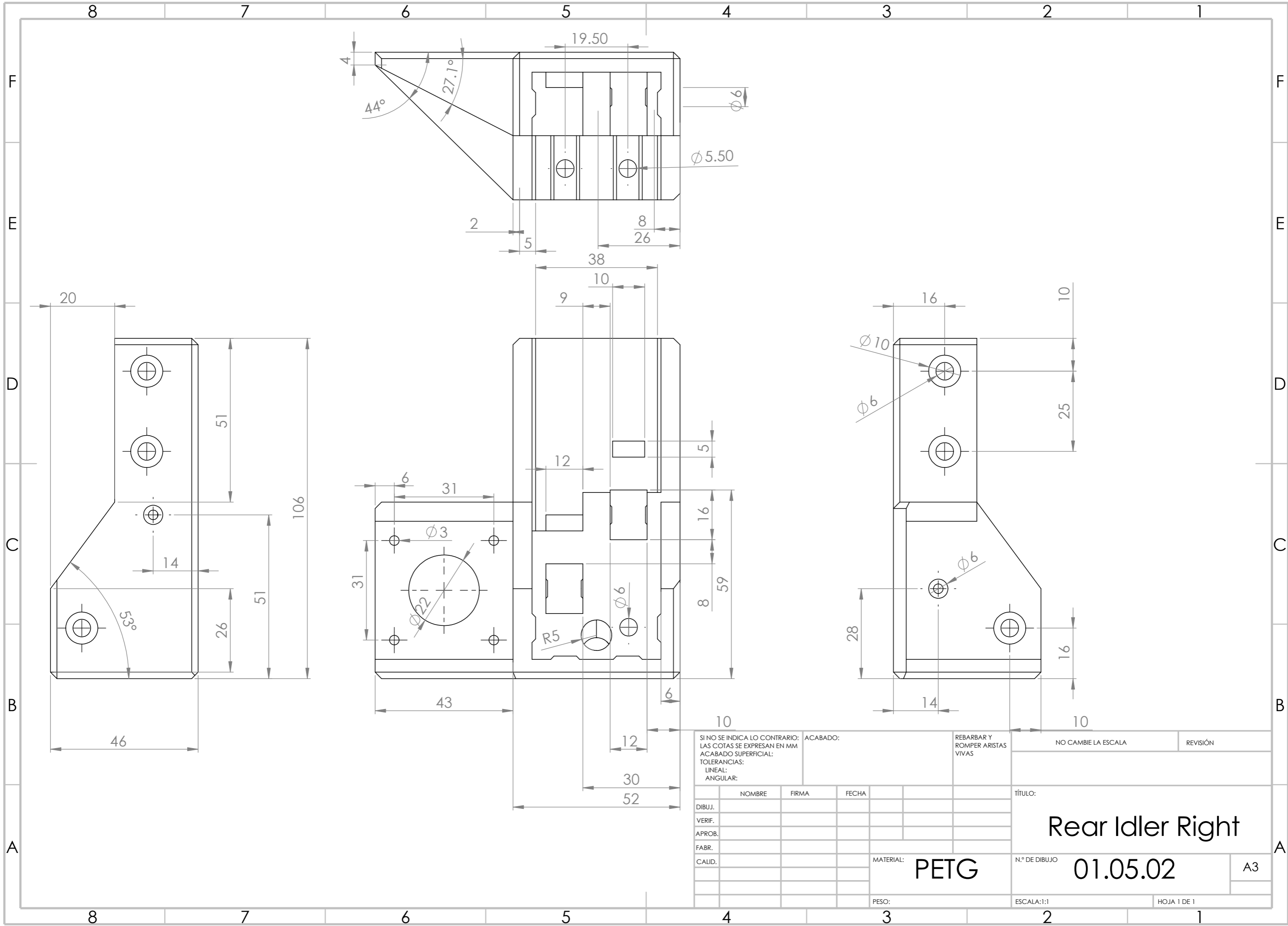
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
					TÍTULO: HotEnd Mount	
					N.º DE DIBUJO 01.04.03	
					MATERIAL: PETG	
					ESCALA:2:1	
					HOJA 1 DE 1	
DIBUJ.			NOMBRE			FIRMA
VERIF.			FECHA			
APROB.						
FABR.						
CALID.						
						A3



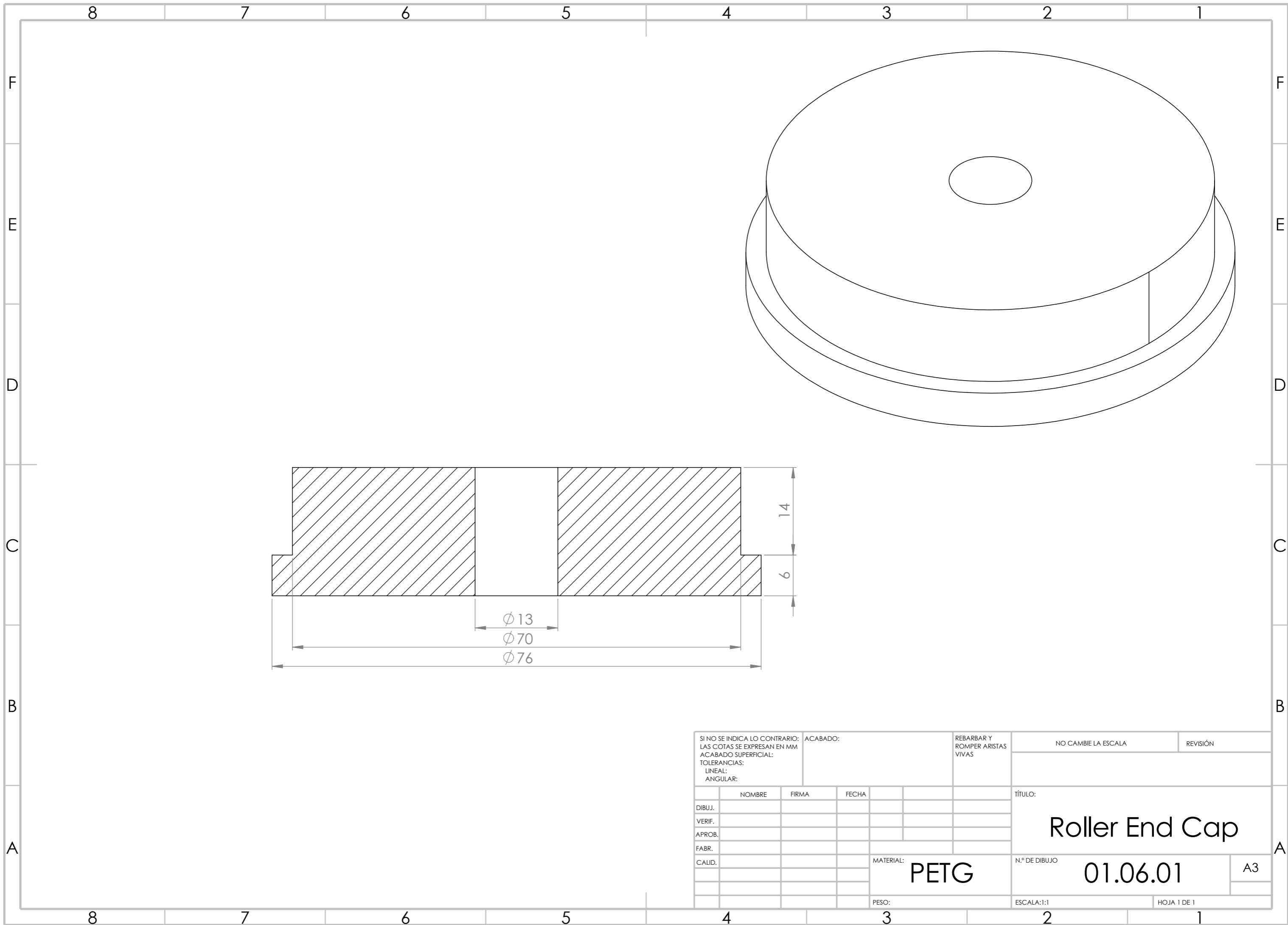
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
DIBUJ.		FIRMA		FECHA		TÍTULO:		N.º DE DIBUJO	
VERIF.						Tensioner mount bracket		A3	
APROB.								01.04.05	
FABR.						MATERIAL:		ESCALA:2:1	
CALID.						PESO:		HOJA 1 DE 1	
						PETG			



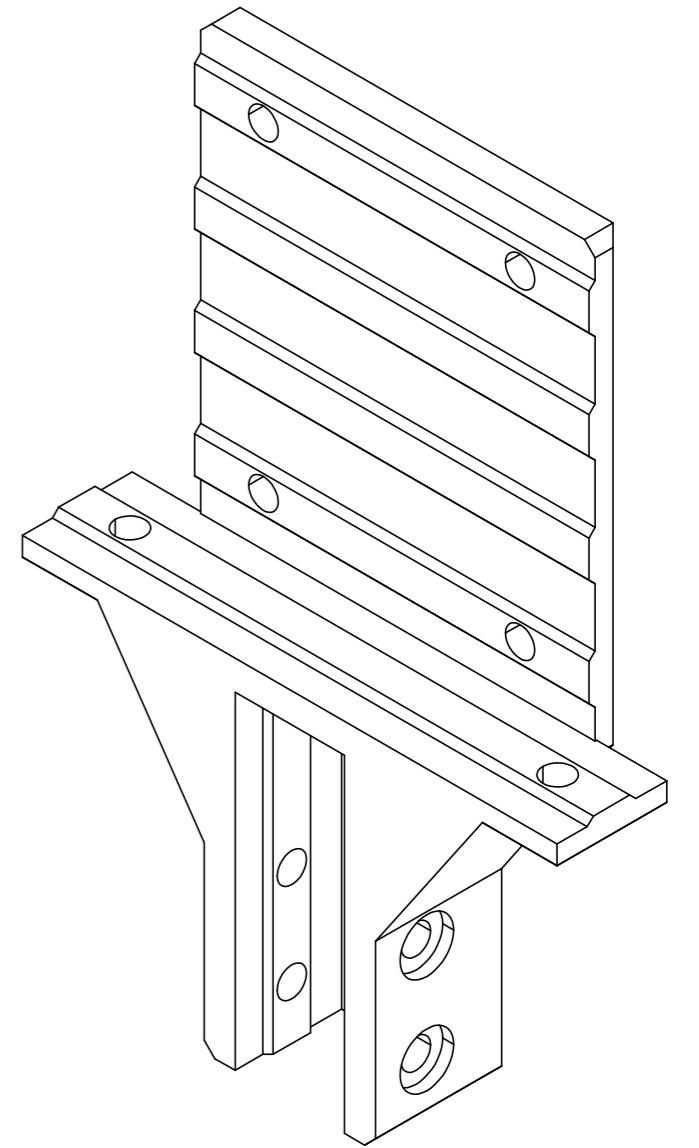
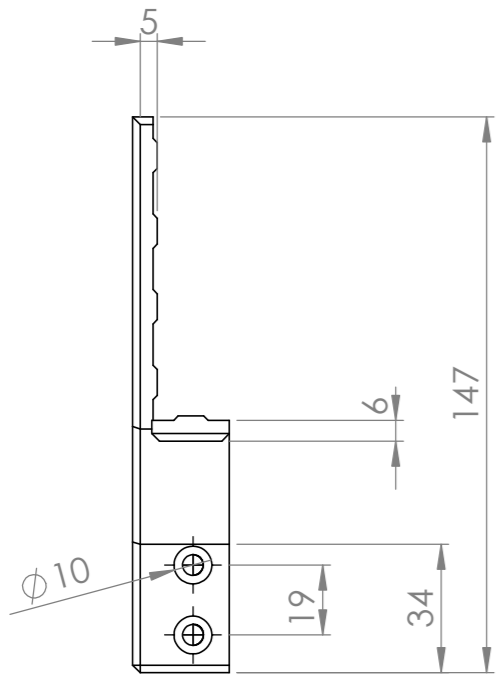
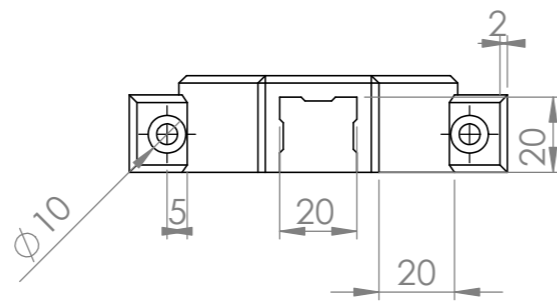
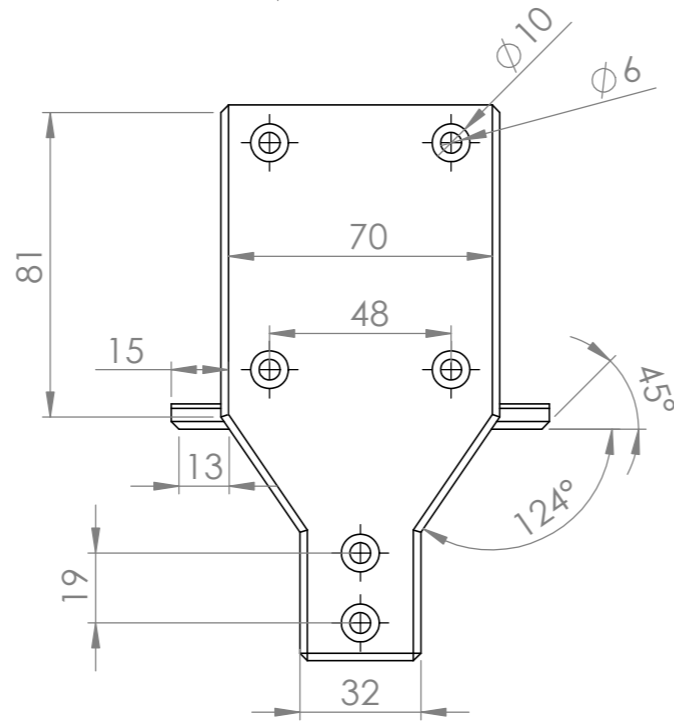
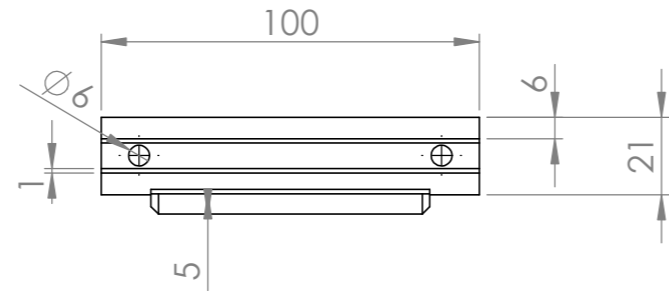
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
				TÍTULO: Rear Idler left		
				MATERIAL: PETG	N.º DE DIBUJO 01.05.01	A3
				PESO:	ESCALA:1:1	HOJA 1 DE 1



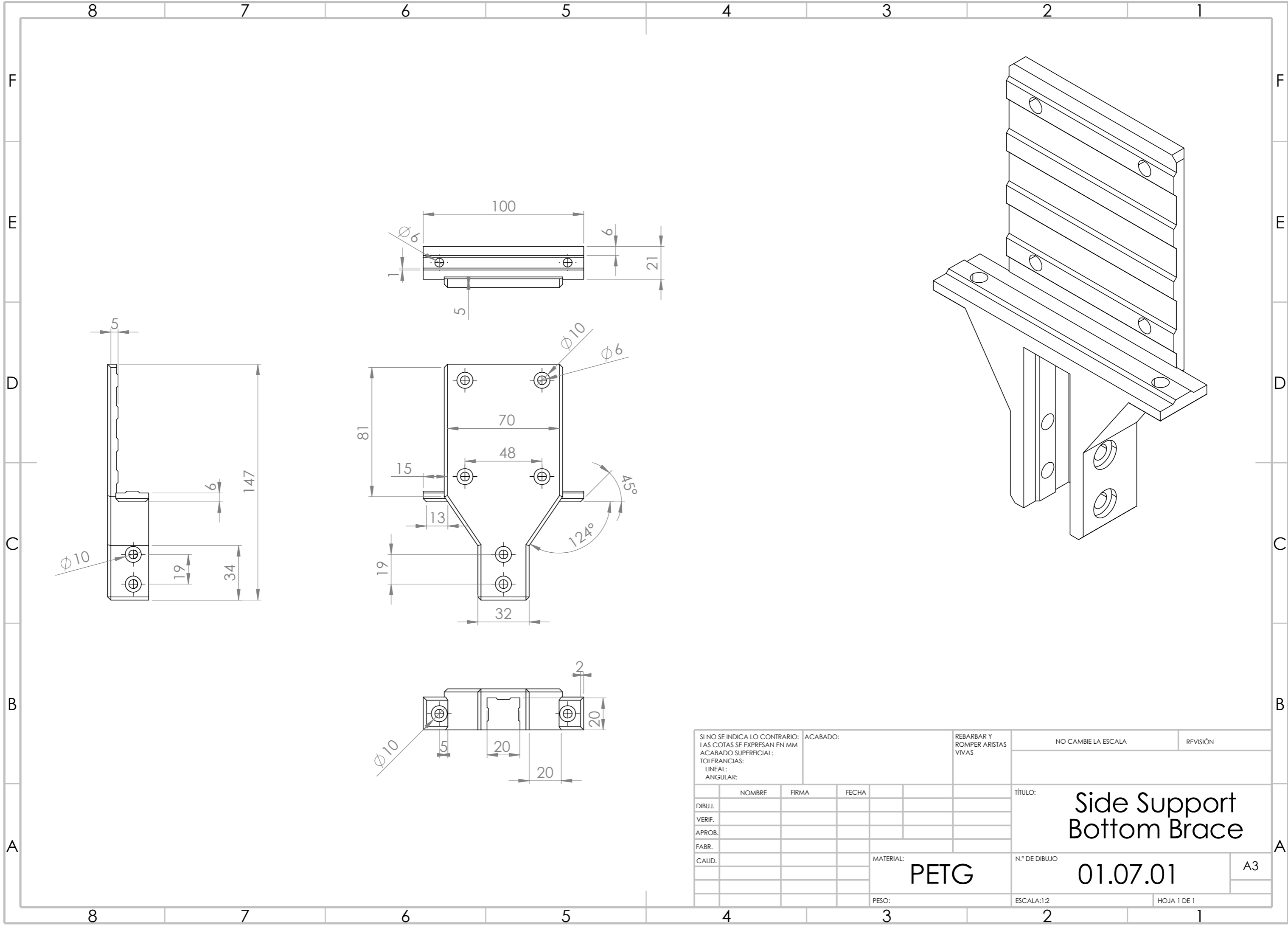
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
NOMBRE				FIRMA	FECHA	TÍTULO:
DIBUJ.						Rear Idler Right
VERIF.						
APROB.						
FABR.						
CALID.						
MATERIAL:				PETG		N.º DE DIBUJO
PESO:				ESCALA:1:1		01.05.02
HOJA 1 DE 1						A3

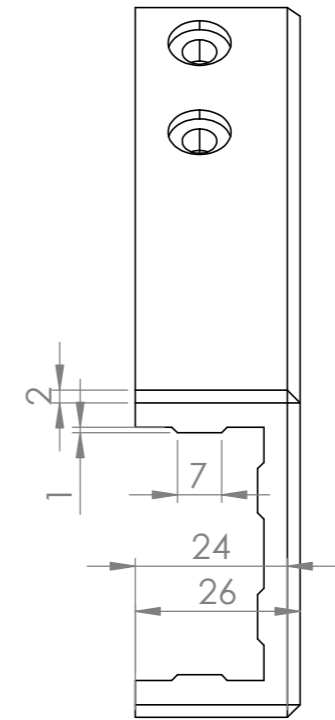
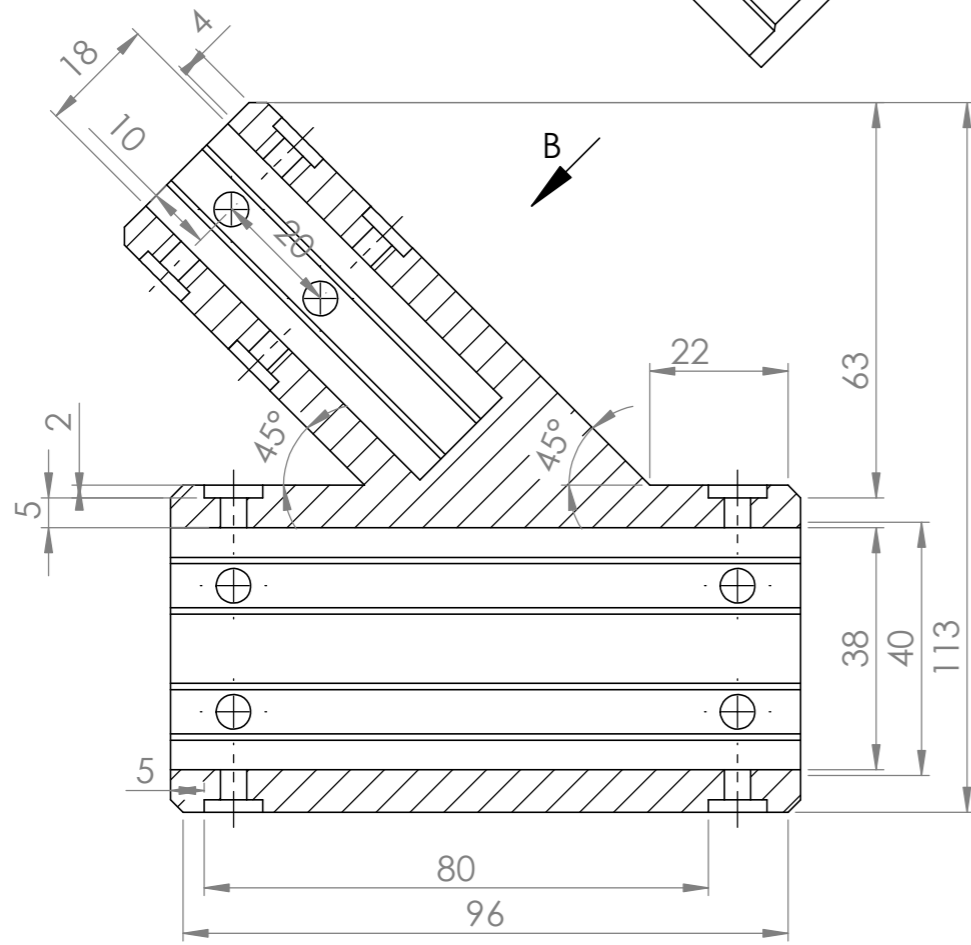
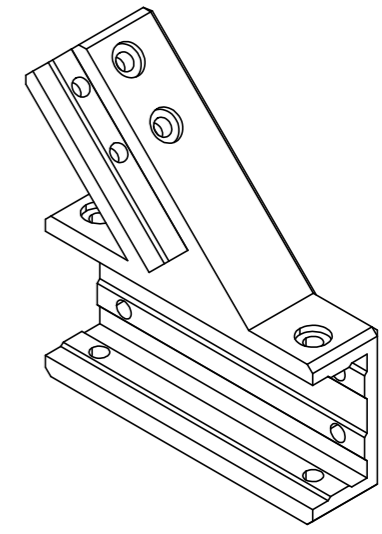
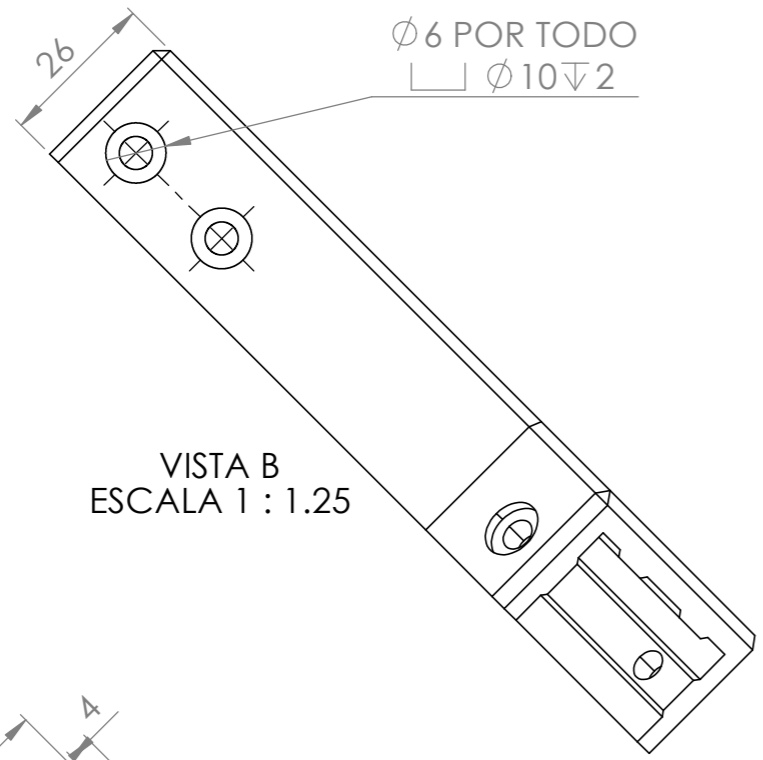


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN			
					TÍTULO:							
					Roller End Cap							
					MATERIAL:			N.º DE DIBUJO			A3	
					PETG			01.06.01				
					PESO:		ESCALA:1:1			HOJA 1 DE 1		

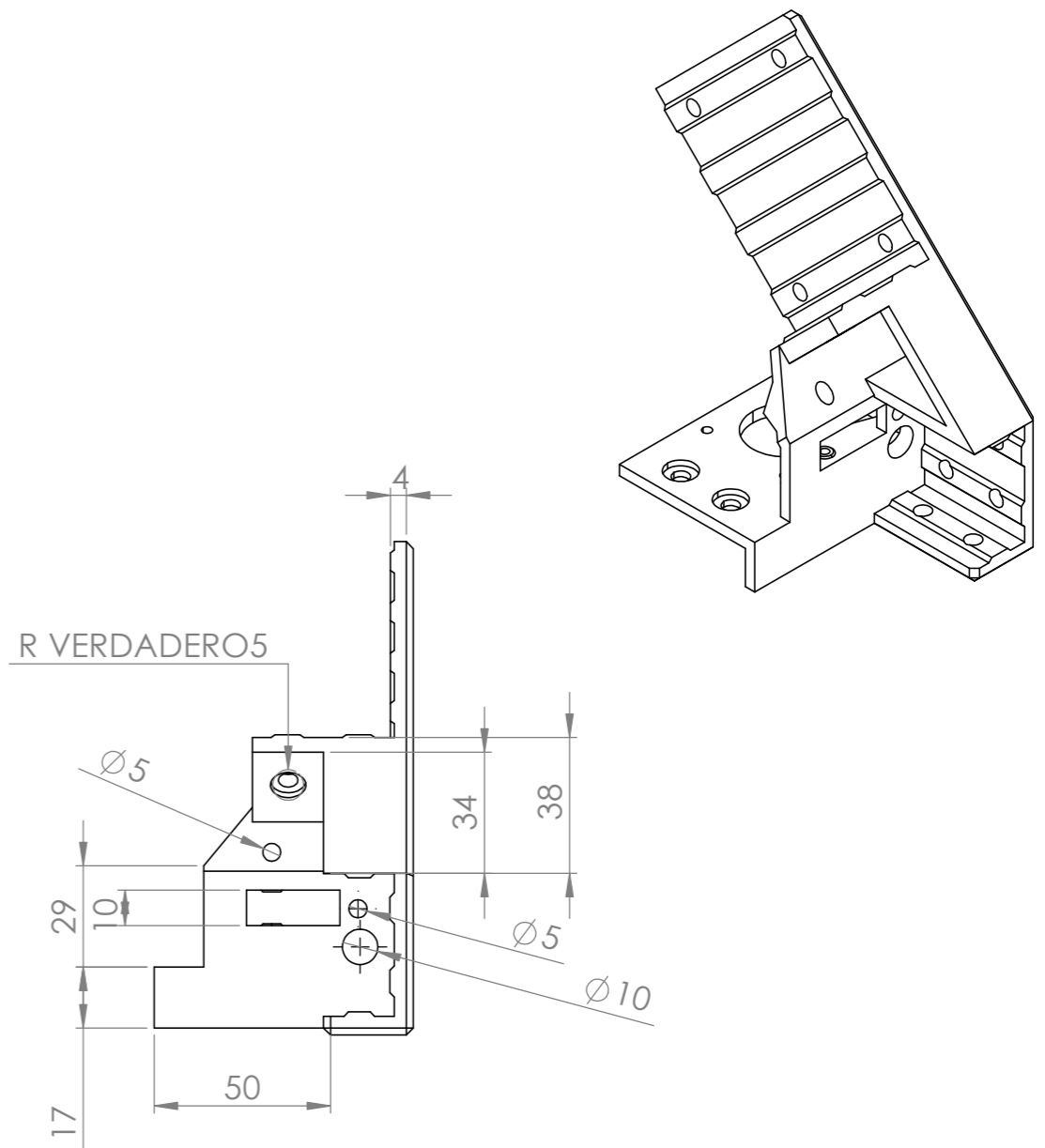
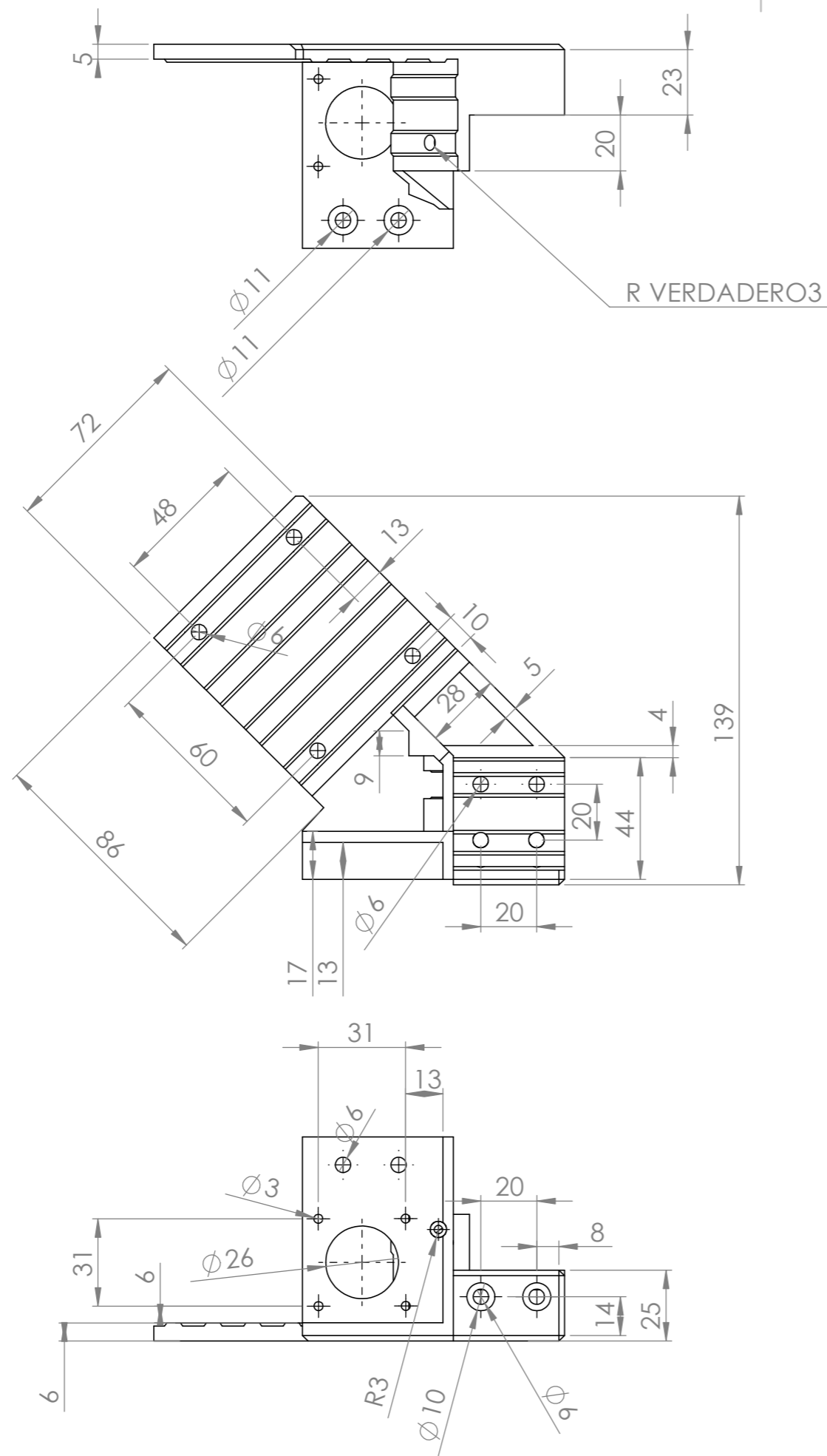


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
DIBUJ.		FIRMA		FECHA		TÍTULO:		Side Support Bottom Brace	
VERIF.						N.º DE DIBUJO		01.07.01	
APROB.						MATERIAL:		PETG	
FABR.						PESO:		ESCALA:1:2	
CALID.								HOJA 1 DE 1	

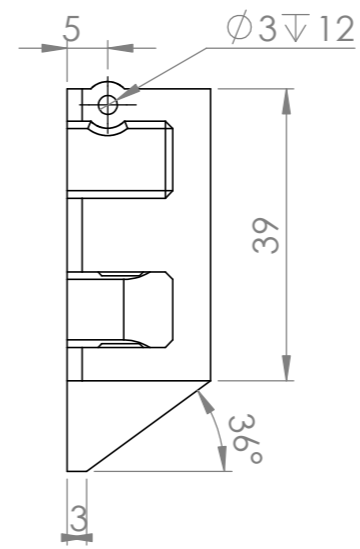
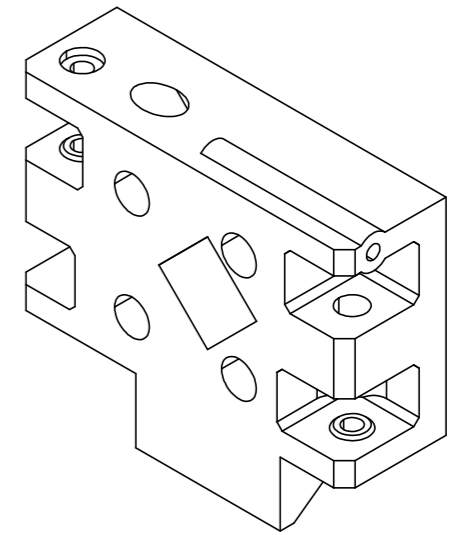
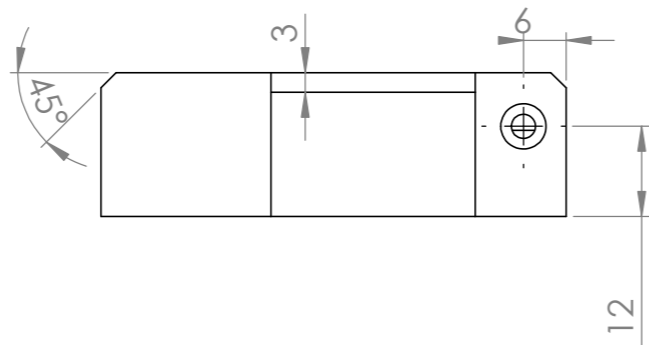
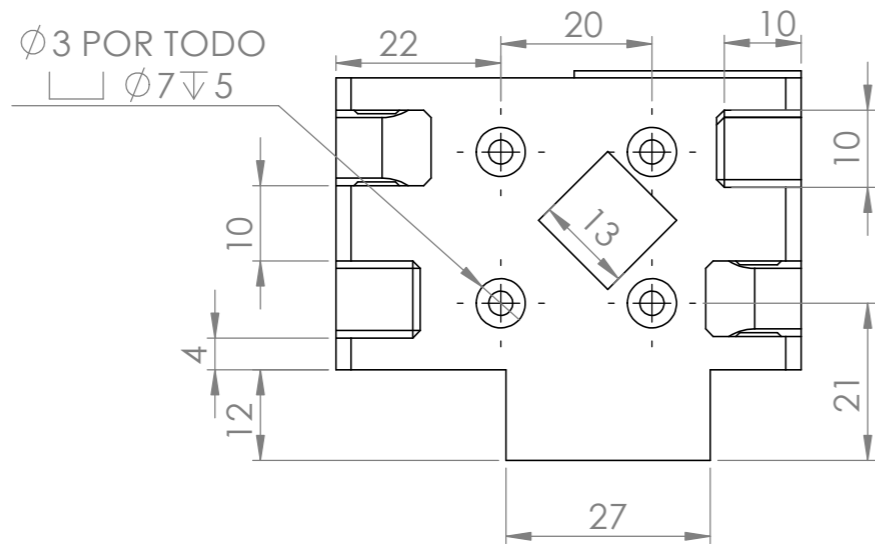
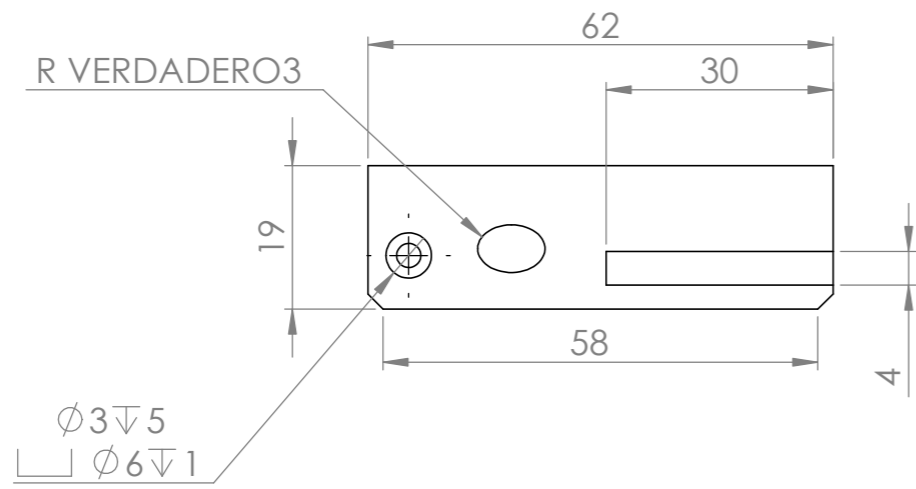




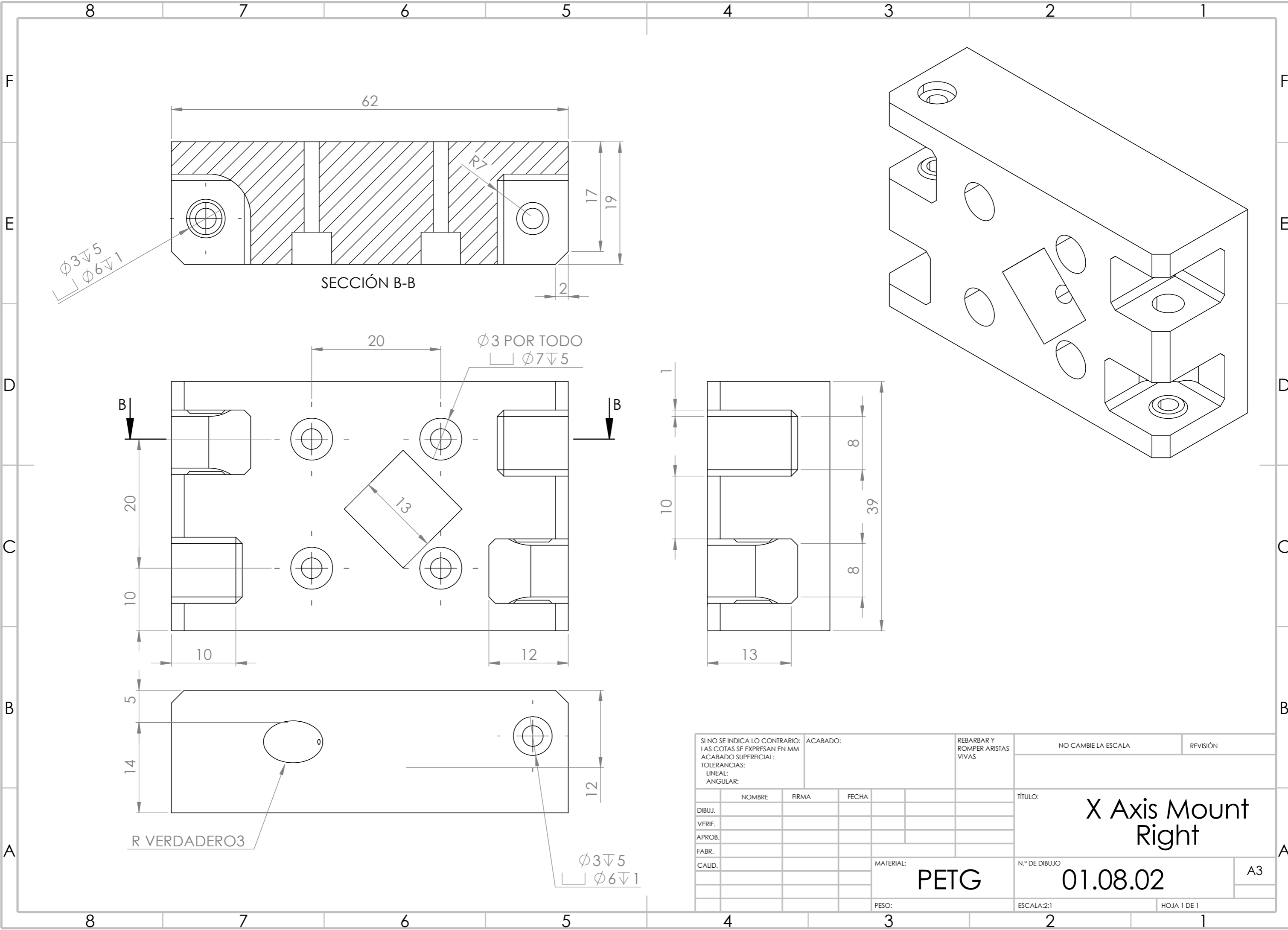
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO: Side Support Top Brace	
DIBUJ.					N.º DE DIBUJO	A3
VERIF.					ESCALA:1:1	
APROB.						
FABR.						
CALID.				MATERIAL: PETG		
				PESO:		HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: Stepper Mount Right	
VERIF.				N.º DE DIBUJO	A3
APROB.				ESCALA:1:2	HOJA 1 DE 1
FABR.				MATERIAL:	PETG
CALID.				PESO:	



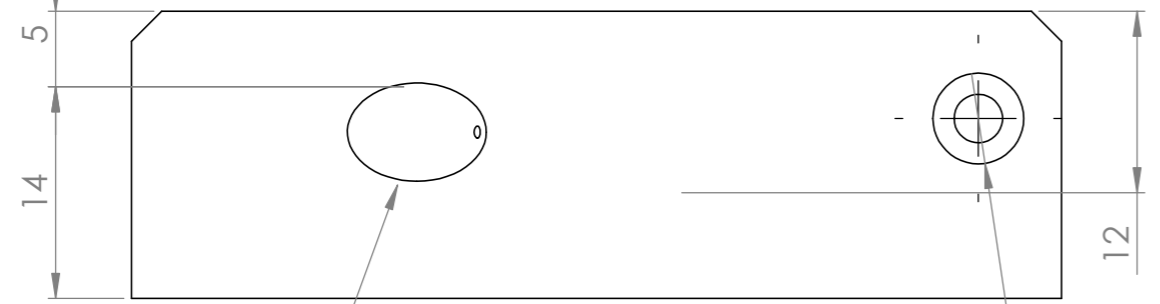
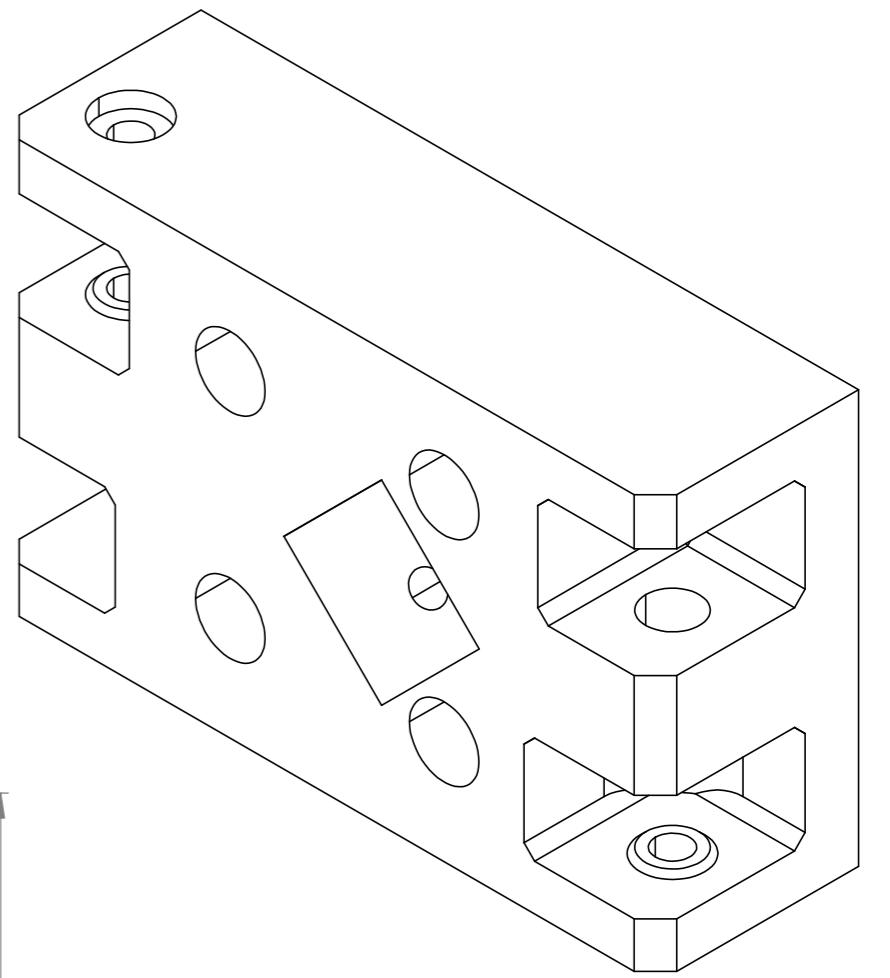
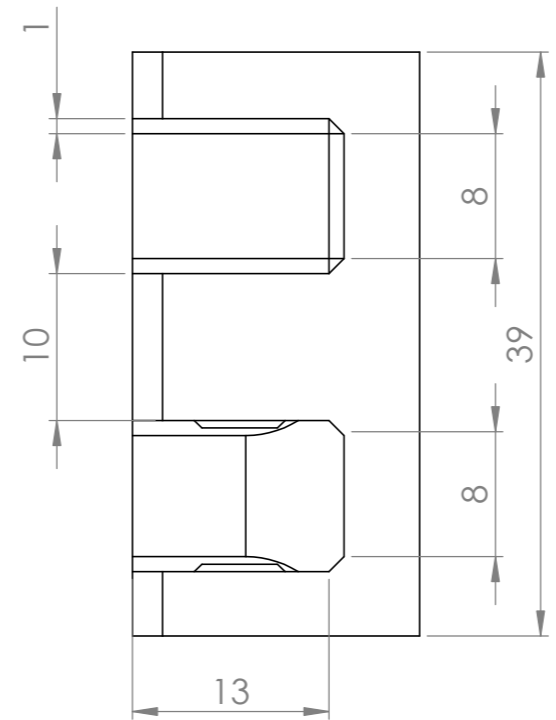
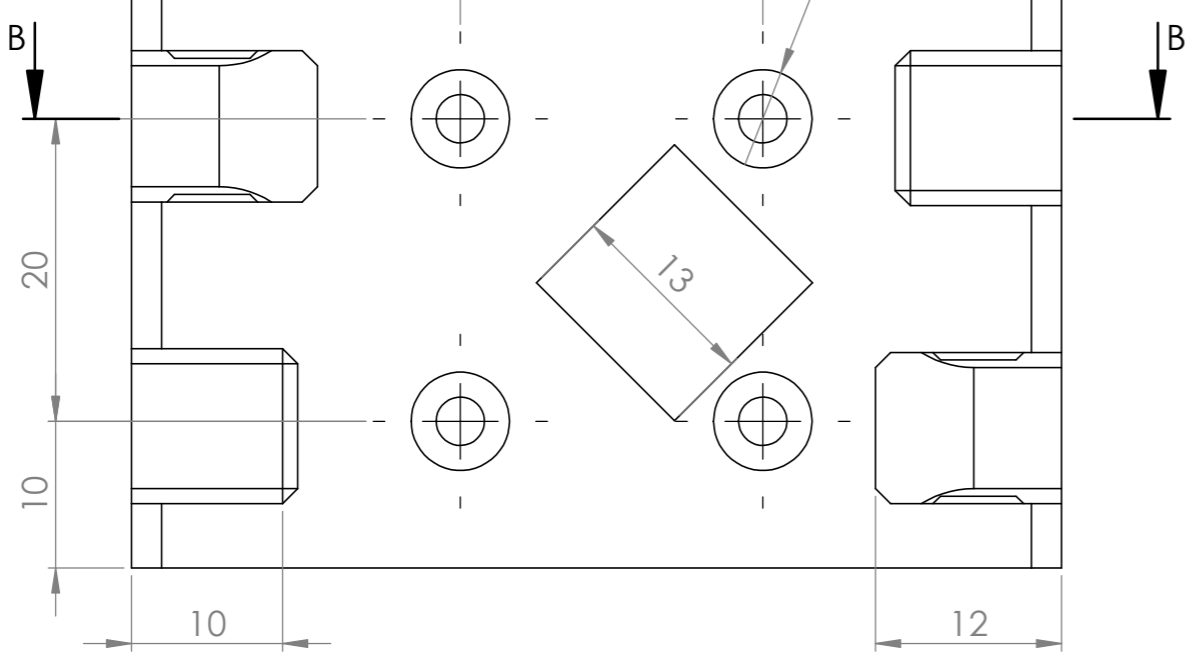
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN		
						TÍTULO: X-axis Mount Left					
						MATERIAL: PETG					
						N.º DE DIBUJO 01.08.01					
						ESCALA: 2:1					
						HOJA 1 DE 1					
DIBUJ.		FIRMA		FECHA		NOMBRE		VERIF.		A3	
APROB.											
FABR.											
CALID.											



$\phi 3 \nabla 5$
 $\phi 6 \nabla 1$

SECCIÓN B-B

$\phi 3$ POR TODO
 $\phi 7 \nabla 5$



R VERDADERO 3

$\phi 3 \nabla 5$
 $\phi 6 \nabla 1$

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO: X Axis Mount Right	
VERIF.						N.º DE DIBUJO 01.08.02	
APROB.						A3	
FABR.					MATERIAL: PETG	ESCALA:2:1	
CALID.					PESO:	HOJA 1 DE 1	

ANEXO F. FACTORY ACCEPTANCE TEST



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

**FACTORY ACCEPTANCE TEST (FAT)
IMPRESORA 3D COREXY DE EJE INFINITO**

REF: **QP-Belt3DP-FAT**

PAG. 1 de 9

ELABORADO POR	NOMBRE	FECHA	FIRMA

REVISADO POR	NOMBRE	FECHA	FIRMA

MODIFICACIONES

FECHA	Nº REVISION	MOTIVO



**FACTORY ACCEPTANCE TEST (FAT)
IMPRESORA 3D COREXY DE EJE INFINITO**

REF: **QP-Belt3DP-FAT**

PAG. 2 de 9

Test 1: Comprobacion de la interfaz de control de la impresora

Objetivo:

Comprobar que desde la interfaz web de control se puede realizar las siguientes

1. Movimiento de los ejes.
2. Precalentamiento del extrusor.
3. Desplazamiento del filamento.
4. Enviar e imprimir G-Codes.

Metodologia

A traves de la interfaz web se va ejecutando las diferentes acciones que se listan a continuacion para verificar el correcto funcionamiento de la comunicaci3n con la impresora.

1. Movimiento de los ejes 100 mm.
2. Precalentamiento del extrusor a 100°C.
3. Desplazamiento del filamento.
4. Enviar e imprimir G-Codes.

Nota:

La operaciones de desplazamiento de filamento se debera hacer con PLA y una temperatura en el extrusor de entre 185°C y 205°C

Criterio de aceptacion

C/NC/NA

- 1 La operaci3n de mover funciona y el eje se desplaza en la direcci3n correcta
- 2 El hotend se calienta y el termistor nos indica 100°C
- 3 El motor del extrusor desplaza el filamento en la direcci3n correcta.
- 4 La impresora recibe e imprime el G-Code enviado.

Comentarios

Resultados

Conforme

No Conforme

Completado por

Firma

Fecha

Revisado por

Firma

Fecha



**FACTORY ACCEPTANCE TEST (FAT)
IMPRESORA 3D COREXY DE EJE INFINITO**

REF: **QP-Belt3DP-FAT**

PAG. 3 de 9

Test 2: Comprobacion del numero de pasos del motor de extrusion.

Objetivo:

Comprobar que la cantidad de filamento extruido sea correcta.

Metodologia

Insertar en el bowden filamento.

Marcar al ras de la salida del bowden con un rotulador, extraer el filamento y desde la marca medir 10 cm, volver a marcar e insertar.

Desde el software de control de la impresora, solicitar la extrusion de 10 cm.

Medir la cantidad de filamento extruido desde la primera marca hasta la salida del bowden

En caso de que $L \neq 10\text{cm}$, mediante el comando **M503**, encontrar el valor de pasos que va acompañado del comando **M92 (E0)**.

Calcular el numero de pasos mediante la ecuacion

$$E_n = E_0 * \left(\frac{100}{L} \right)$$

Enviar a la impresora con el comando **M92 E###.#** y guardar con el comando **M500**.

Comprobar con el comando M503 que el valor sea correcto.

Criterio de aceptacion

C/NC/NA

1|La longitud extruida es 10 cm.

Comentarios

Resultados

Conforme

No Conforme

Completado por

Firma

Fecha

Revisado por

Firma

Fecha



**FACTORY ACCEPTANCE TEST (FAT)
IMPRESORA 3D COREXY DE EJE INFINITO**

REF: **QP-Belt3DP-FAT**

PAG. 4 de 9

Test 3: Comprobacion del numero de pasos los motores del CoreXY

Objetivo:

Comprobar que el desplazamiento del cabezal sea el correcto.

Metodologia

Imprimir un cubo de 100x100x100 mm el cual giraremos 45° sobre el eje Z.
Una vez impreso, mediremos los lados marcados en la siguiente imagen.



Si el lado rojo es mas grande que el amarillo, habra que ajustar las correas del motor derecho. Si ocurre lo contrario, habra que ajustar las del lado izquierdo.
Para mayor precision, se calcula el numero de pasos real siguiendo los pasos 5-8 del test 1.
Enviar a la impresora con el comando **M92 X###.# Y###.#** siendo ambos iguales.
Guardar con el comando **M500** y comprobar con **M503**.

Criterio de aceptacion

C/NC/NA

1 | La longitud de ambos lados es 100

Comentarios

Resultados

Conforme

No Conforme

Completado por

Firma

Fecha

Revisado por

Firma

Fecha



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

**FACTORY ACCEPTANCE TEST (FAT)
IMPRESORA 3D COREXY DE EJE INFINITO**

REF: **QP-Belt3DP-FAT**

PAG. 5 de 9

Test 4: Comprobacion del angulo de 45° del plano XY

Objetivo:

Comprobar que el plano XY se encuentra a 45°

Metodologia

- Posicionar un medidor de angulos magnetico digital sobre el perfil 4080C.
- Calibrar el 0°.
- Situar en uno de los perfiles 4020 y comprobar el angulo.
- Si este es diferente a $45 \pm 0,2$ aflojar los tornillos del soporte vertical y ajustar su posicion.
- Repetir para el segundo perfil 4020.

Criterio de aceptacion

C/NC/NA

1 | El angulo medido en ambos es de $45 \pm 0,2$

Comentarios

Resultados

Conforme

No Conforme

Completado por

Firma

Fecha

Revisado por

Firma

Fecha



**FACTORY ACCEPTANCE TEST (FAT)
IMPRESORA 3D COREXY DE EJE INFINITO**

REF: **QP-Belt3DP-FAT**

PAG. 6 de 9

Test 5: Comprobacion de la secuencia de impresión.

Objetivo:

Comprobar que la secuencia de impresión se lleva a cabo de forma satisfactoria

Metodologia

Mediante el panel de control del aplicativo web, enviar un archivo G-Code a la impresora.

Comprobar que la impresora realiza la siguiente secuencia:

1. Movimiento del cabezal de impresión hasta hacer homing (0,0,0).
2. Calentamiento del hotend hasta la temperatura de impresión.
3. *Priming* del hotend en el exterior de la cama de impresión.
4. Inicio de la impresión dentro de la cinta de impresión.

Criterio de aceptacion

C/NC/NA

1 | La secuencia de impresión funciona correctamente.

Comentarios

Resultados

Conforme

No Conforme

Completado por

Firma

Fecha

Revisado por

Firma

Fecha



**FACTORY ACCEPTANCE TEST (FAT)
IMPRESORA 3D COREXY DE EJE INFINITO**

REF: **QP-Belt3DP-FAT**

PAG. 7 de 9

Test 6: Comprobacion del numero de pasos del motor de la cinta.

Objetivo:

Comprobar que la distancia recorrida por la cinta sea la correcta.

Metodologia

- Mandar a imprimir una pieza de 10x600x10 mm
- Una vez finalizada, mandar via software web que la cama se desplace 100 mm.
- Mandar a imprimir la pieza del paso 1.
- Medir la distancia entre la primera y la segunda pieza.
- En caso de que la distancia entre ellas sea $L \neq 100\text{mm}$ ajustaremos los pasos del motor

$$E_n = E_0 * \left(\frac{100}{L} \right)$$

Enviar a la impresora con el comando **M92 Z###.#** y guardar con el comando **M500**.

Comprobar con el comando M503 que el valor sea correcto.

Criterio de aceptacion

C/NC/NA

1 | La longitud desplazada es de 100mm

Comentarios

Resultados

Conforme

No Conforme

Completado por

Firma

Fecha

Revisado por

Firma

Fecha

INFORME FINAL DEL PROTOCOLO FAT

1	Comprobacion de la interfaz de control de la impresora	Conforme
		No Conforme
		NA
2	Comprobacion del numero de pasos del motor de extrusion.	Conforme
		No Conforme
		NA
3	Comprobacion del numero de pasos los motores del CoreXY	Conforme
		No Conforme
		NA
4	Comprobacion del angulo de 45° del plano XY	Conforme
		No Conforme
		NA
5	Comprobacion de la secuencia de impresión.	Conforme
		No Conforme
		NA
6	Comprobacion del numero de pasos del motor de la cinta.	Conforme
		No Conforme
		NA

Resultados

Conforme
Pendiente de acciones correctivas
No conforme

Completado por	Nombre	Fecha	Firma
Aprobado por	Nombre	Fecha	Firma



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

**FACTORY ACCEPTANCE TEST (FAT)
IMPRESORA 3D COREXY DE EJE INFINITO**

REF: **QP-Belt3DP-FAT**

PAG. 9 de 9

INFORME FINAL DEL PROTOCOLO FAT

Comentarios:

Resultados

- Conforme
- Pendiente de acciones correctivas
- No conforme

Completado por	Nombre	Fecha	Firma
Aprobado por	Nombre	Fecha	Firma

Bibliografía

- [1] *100,000+ 3D Print Files & Models. Guaranteed | MyMiniFactory.* URL <https://www.myminifactory.com/>. - recuperado 2020-06-09
- [2] *3ders.org - Zesty Nimble: lightweight direct drive 3D printer extruder for under \$85 | 3D Printer News & 3D Printing News.* URL <https://www.3ders.org/articles/20161022-zesty-nimble-lightweight-direct-drive-3d-printer-extruder.html>. - recuperado 2020-06-08
- [3] *Competitors explore how to create a perfect 3D printed heat sink - 3D Printing Industry.* URL <https://3dprintingindustry.com/news/competitors-explore-how-to-create-a-perfect-3d-printed-heat-sink-159633/>. - recuperado 2020-06-08
- [4] *Direct Drive, Bowden, Remote Motor, the differences... - SpiderBot by Qualup.* URL <http://www.spiderbot.eu/direct-drive-bowden-remote-motor-the-differences/?lang=en>. - recuperado 2020-06-08
- [5] *Home page.* URL <https://blackbelt-3d.com/>. - recuperado 2020-06-08
- [6] *Nema 17 Bipolar 0.9deg 36Ncm (51oz.in) 0.9A 5.4V 42x42x40mm ...* URL [https://www.omc-stepperonline.com/nema-17-bipolar-0-9deg-36ncm-51oz-in-0-9a-5-4v-42x42x40mm-4-wires.html?search=nema 17 bipolar 0.9deg 36ncm %2851oz.in.%29 0.9a 5.4v 42x42x40mm 4 wires](https://www.omc-stepperonline.com/nema-17-bipolar-0-9deg-36ncm-51oz-in-0-9a-5-4v-42x42x40mm-4-wires.html?search=nema%2017%20bipolar%200.9deg%2036ncm%2051oz.in.%200.9a%205.4v%2042x42x40mm%204%20wires). - recuperado 2020-06-19
- [7] *Nema 17 Stepper Motor Bipolar L=38mm w/ Gear Ratio 5:1 Planetary ...* URL [https://www.omc-stepperonline.com/nema-17-stepper-motor-bipolar-l38mm-w-gear-raio-51-planetary-gearbox-17hs15-1684s-pg5.html?search=nema 17 stepper motor bipolar l%3D38mm w/ gear ratio 5%3A1 planetary gearbox](https://www.omc-stepperonline.com/nema-17-stepper-motor-bipolar-l38mm-w-gear-raio-51-planetary-gearbox-17hs15-1684s-pg5.html?search=nema%2017%20stepper%20motor%20bipolar%20l38mm%20w%20gear%20ratio%205%3A1%20planetary%20gearbox). - recuperado 2020-06-18
- [8] *Optimización topológica: Paso a paso de cómo hacer tu propio estudio.* URL <https://blogs.solidworks.com/solidworkslatamysp/solidworks-blog/simulacion/paso-a-paso-haz-tu-propio-estudio-de-topologia/>. - recuperado 2020-06-08
- [9] PODROUŽEK, JAN ; MARCON, MARCO ; NINČEVIĆ, KREŠIMIR ; WAN-WENDNER, ROMAN: Bio-Inspired 3D Infill Patterns for Additive Manufacturing and Structural Applications. En: *Materials* vol. 12, MDPI AG (2019), Nr. 3, p. 499
- [10] *Powerbelt3D Features & 3D Printer Specs - Powerbelt3D.* URL <https://powerbelt3d.com/powerbelt3d-features/>. - recuperado 2020-06-08
- [11] *Risks and rewards: 3D printing health hazards.* URL <http://techgenix.com/3d-printing-health-hazards/>. - recuperado 2020-06-18
- [12] *RRF Config Tool.* URL <https://configtool.reprapfirmware.org/Start>. - recuperado 2020-06-08
- [13] *Situs Belanja Online Robotika dan Perabot Rumah Kantor Katalog Harga Terbaru 2020 Mudah dan Aman.* URL <http://klinikrobot.com/home/31-belajar-mekanik/47-motor-speed-and-torque-ratio.html>. - recuperado 2020-06-08
- [14] *Sliding – 3D (FFF technology) « Robotfactory.* URL http://lnx.robotfactory.it/en/sliding-3d_en/. - recuperado 2020-06-08
- [15] *The Complete History of 3D Printing: From 1980 to 2020 | 3DSourced.* URL https://3dsourced.com/guides/history-of-3d-printing/#Part_1_1980_-_1995,_Inception_early_innovations_in_3D_printing. - recuperado 2020-06-08
- [16] *Thingiverse - Digital Designs for Physical Objects.* URL <https://www.thingiverse.com/>. - recuperado 2020-06-09

