



UNIVERSIDAD JAIME I

**ESCUELA SUPERIOR DE TECNOLOGÍA I CIENCIAS
EXPERIMENTALES**

Grado en Ingeniería Mecánica

Diseño de una máquina impresora 3D de bajo coste para uso en el hogar o pequeños laboratorios

TRABAJO FINAL DE GRADO

AUTOR: Vicente Trilles Barreda

TUTOR: Antonio Pérez González

Índice

1. Objeto, alcance y justificación	4
2. Antecedentes	6
2.1. ¿Que es una impresora 3D?	6
2.2. Evolución histórica de la impresión 3D	7
2.3. Funcionamiento.....	11
2.4. Técnicas de Prototipado rápido.....	11
2.4.1. Modelado por deposición fundida (FDM).....	12
2.4.2. Fabricación por haz de electrones (EBF ³).....	13
2.4.3. Sinterizado de metal por láser (DMLS)	14
2.4.4. Fusión por haz de electrones (EBM).....	15
2.4.5. Sinterizado selectivo por calor (SHS)	15
2.4.6. Sinterizado selectivo por láser (SLS)	16
2.4.7. Proyección aglutinante (DSPC).....	17
2.4.8. Laminado de capas (LOM).....	18
2.4.9. Estereolitografía (SLA)	19
2.4.10 Fotopolimerización ultravioleta (SGC)	19
2.5 Resolución y precios de las tecnologías.....	20
2.6. Materiales.....	23
3. Diseño conceptual y preliminar de la máquina	26
3.1 Definición metodológica de objetivos/requisitos.....	26
3.2 Metodologías diseño conceptual.....	29
3.3 Propuesta conceptual de soluciones y justificación de la selección.....	30
3.3.1 Soportar y dar rigidez.....	30
3.3.2 almacenar material	39
3.3.3 Dispensar material.....	40

4.3.4 fundir MATERIAL	45
4.3.6 Solidificar el material	61
4.3.7 control	66
4.3.8 Interfaz de usuario	79
4.3.9 Obtener trayectorias a partir de un archivo en código G.....	80
5. MEMORIA DESCRIPTIVA	84
5.1. Desarrollo de la solución definitiva	84
5.1.1 Estructura general de la máquina	84
5.1.2 Descripción subconjunto estructura o bancada	85
5.1.3 Descripción subconjunto que proporciona el movimiento al cabezal de extrusión	93
5.1.4 Descripción del subconjunto base de deposición	101
5.1.5 Descripción subconjunto carcasa	107
6. Viabilidad técnica y económica	112
7. Conclusiones	113
8. Bibliografía	114

1. OBJETO, ALCANCE Y JUSTIFICACIÓN

El objetivo del Proyecto Fin de Grado consiste en diseñar una máquina impresora 3D de bajo coste para uso en el hogar o pequeños laboratorios, que permita la fabricación propia de prótesis de mano diseñadas pensando en la fabricación y montaje local, utilizando diseños distribuidos libremente por sus autores. Las características que la impresora debe cumplir son las siguientes:

- Minimizar el consumo eléctrico.
- Debido a su utilización en el ámbito doméstico, la máquina debe ser estéticamente agradable.
- Minimizar el ruido durante su funcionamiento.
- Minimizar olores.
- Facilidad de uso.
- Máquina segura para el usuario.
- Fiabilidad alta.
- Fácil reparación de componentes.
- Fácil limpieza de la máquina.
- Precio asequible del equipo.
- Minimizar el tiempo de fabricación.
- Peso ligero.
- Obtener piezas con una buena resolución.
- La posibilidad de fabricar piezas con una resistencia aceptable.

El desarrollo del proyecto que se presenta en este documento comienza con una primera fase de estudio dedicada a la búsqueda de información sobre las diferentes tecnologías de impresión 3D existentes en el mercado. Para todas ellas se analizan y valoran aspectos decisivos como los materiales que emplean, la resolución que pueden alcanzar y el precio de los diferentes sistemas, en función de la técnica que utilizan para la impresión. Todo ello se contempla con el fin de seleccionar la tecnología que mejor se adapte a los objetivos que se pretenden alcanzar.

En una segunda fase, se *aborda* el diseño conceptual de la máquina, donde se plantearía las diferentes alternativas conceptuales para el diseño de la impresora, analizando las distintas configuraciones y componentes y comentando las ventajas y desventajas de las opciones que se dispongan en cada caso. Finalmente se realiza la selección de las diferentes alternativas y se toman las pertinentes decisiones en cuanto a diseño.

En base al diseño conceptual se realiza el diseño de detalle completo de la máquina. Dicho diseño se desarrolla mediante el empleo de la herramienta SolidWorks®, a través de la cual se realizarán los cálculos y las simulaciones de esfuerzos. En la fase de diseño de detalle se contemplan los criterios para establecer las dimensiones y características que deben tener las piezas que se están diseñando.

Durante la fase de diseño se contemplan todos los aspectos necesarios para que la máquina sea segura y funcione con los fungibles habituales para este tipo de impresoras.

Uno de los motivos que dio lugar a la decisión de desarrollar este proyecto fue satisfacer la necesidad de fabricar una prótesis de mano a un precio reducido, pudiendo cualquier persona descargar los modelos 3D de las piezas que componen la prótesis y construirla.

Actualmente los modelos de prótesis de mano multidedo existentes se comercializan por parte de grandes empresas con un coste muy elevado y una funcionalidad limitada. Esto hace que su uso sea muy restringido. Por otra parte, las prótesis para niños deben ir modificándose con la edad, por el crecimiento, lo que hace que con los costes actuales resulte prácticamente inasumible. Una forma de extender el uso de estos modelos y de favorecer la investigación sobre su diseño óptimo es abaratar los costes de diseño y fabricación. Actualmente existen ya diversos diseñadores que han puesto a disposición en internet modelos de prótesis diseñados a partir de piezas fabricadas con impresoras 3D. Esto permitiría que los pacientes con insuficientes recursos y de países en vías de desarrollo puedan fabricar su propia prótesis.

La ejecución de este proyecto supone la integración y desarrollo de los contenidos formativos recibidos, capacidades, competencias y habilidades obtenidas durante el periodo de formación impartida en el Grado de Ingeniería Mecánica. Durante la etapa de diseño se ha aprovechado los métodos de cálculo de reacciones y esfuerzos impartidos en la asignatura de Mecánica de máquinas y mecanismos, así como el uso de los conocimientos adquiridos en cuanto a análisis de mecanismos vistos en el estudio de Teoría de máquinas y mecanismos. Por otra parte cabe destacar la aplicación de los conocimientos adquiridos en Dinámica de Máquinas y Vibraciones y Proyecto de Máquinas, para la organización de las distintas fases del proyecto y la realización de las simulaciones mediante el método de elementos finitos.

Igualmente se ha requerido emplear todos los conocimientos referidos al manejo de software de diseño asistido por ordenador, SolidWorks®, impartidos en las asignaturas de Proyecto de Máquinas e Ingeniería Gráfica. Por consiguiente, existe una relación directa entre el proyecto y el itinerario de intensificación, máquinas, realizado por el autor.

2. ANTECEDENTES

2.1. ¿QUE ES UNA IMPRESORA 3D?

La impresora 3D podría definirse como la tecnología que permite la construcción de objetos tridimensionales a partir de modelos digitales. El concepto es similar a la concepción de imprimir un texto, dónde un archivo es enviado desde un ordenador a la impresora y ésta realiza su función. Las principales diferencias entre ambas concepciones serían los materiales de fabricación utilizados y las dimensiones de trabajo de la máquina.

Las tecnologías de impresión 3D se basan en los procesos de "manufactura aditiva", la creación de un objeto mediante el depósito de material capa por capa. En este orden de ideas, la sección transversal es impresa en un plano en 2 dimensiones y mediante la adición de capas sucesivas en la coordenada Z, se obtiene un producto en tres dimensiones.

Una de las ventajas principales de este proceso reside en la capacidad de crear casi cualquier tipo de contorno en las diferentes piezas, con formas complejas que serían difíciles de obtener con técnicas de fabricación tradicionales. También destaca la capacidad de obtener un objeto físico, totalmente listo para su uso o función, sin necesidad de pasar por otros procesos intermedios. Por este motivo, a pesar de no reducir el tiempo de fabricación, se reduce en cantidades significativas el tiempo de preparación y acabado de la pieza.

Mediante este proceso de fabricación se obtiene una mayor flexibilidad a la hora de fabricar piezas complejas y abarata costes indirectos relacionados con moldes, herramientas y material sobrante. A priori este proceso sería más barato que otras técnicas de producción, debido a las ventajas anteriormente explicadas, pero solo sería rentable para la producción de pequeñas series o de piezas unitarias, debido al tiempo de fabricación que requiere.

Por estos motivos, la impresión 3D se emplea para realizar prototipos de nuevos productos antes de producirlos en serie con otro sistema de producción. Pero también puede ser utilizada para realizar piezas únicas o componentes que deben adaptarse al entorno para el que se diseñan, como la fabricación de elementos de prótesis o piezas de arte.

Existen diferentes tecnologías y procesos para la creación de objetos sólidos en función del material elegido y la forma que se pretenda alcanzar, pero todos elaboran los objetos mediante la deposición de material capa por capa. Los materiales que pueden ser empleados para la impresión pueden ser muy distintos, varían desde diferentes plásticos y metales hasta

cerámicas, hormigón, arcillas, elementos orgánicos como alimentos por citar algunos. Todas las tecnologías y materiales se analizarán dentro de su correspondiente sección.

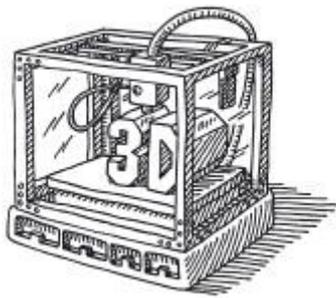


Figura 1: Ilustración impresora 3D

2.2. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA IMPRESIÓN 3D

Como sucede en la mayor parte de las tecnologías modernas, como es el caso de la informática, los primeros dispositivos en salir al mercado son grandes, caros y con significativas restricciones. Pero con el paso del tiempo la tecnología evoluciona, reduciendo sus dimensiones, aumentando su fiabilidad y reduciendo su coste. Con la tecnología de impresión 3D ocurre algo similar.

El origen del concepto de impresión 3D surge a finales de la década de los 80, concretamente en 1976, cuando se inventó la impresora de inyección de tinta. Sin embargo, no fue hasta 1984 cuando se engendró la primera impresora 3D, donde Charles Hull, años más tarde el co-fundador de 3D Systems, inventa la estereolitografía (SLA), un proceso de fabricación que permite crear un objeto tridimensional a partir de datos digitales. Esta tecnología fue usada para crear un modelo 3D a partir de una imagen y permitió a los usuarios realizar pruebas de diseño antes de explorar otros procesos de fabricación con mejores prestaciones.

En 1987, en EE. UU se patenta la impresión 3D por Sinterizado Laser Selectivo (SLS), un proceso cuyo principio de funcionamiento se basa en la fundición de un polvo metálico mediante un láser sobre el substrato. Esta patente fue concedida en 1989 y posteriormente fue adquirida por la empresa DTM Inc, que luego fue comprada por 3D Systems.

Varios años más tarde, entre 1989 y 1990, Scott Crump, fundador a su vez de Stratasys un año más tarde, desarrolló la técnica de Fused Deposition Modeling (FDM), que consistía en la

creación de objetos tridimensionales mediante la superposición de capas de material fundido que posteriormente solidificaba con la forma deseada. Con el tiempo esta metodología de permitió una mayor expansión de la impresión 3D, disminuyendo los costes y permitiendo a un mayor número de personas acceder a esta tecnología.

A lo largo de la década de los noventa se mejoran gran parte de estas tecnologías a nivel industrial y aparecen otros proyectos equivalentes para aplicaciones de prototipado.

Durante estos años, dos jóvenes estudiantes del MIT patentan la “Impresión Tridimensional” (Three Dimensional Printing 3DP), diseñando un modelo de impresión 3D por inyección manipulando una vieja impresora tradicional. Se trata de un método similar al empleado por una impresora de inyección de tinta estándar, pero siendo capaz de realizarlo en las tres coordenadas del espacio.

Al año siguiente fundaron su propia empresa, Z Corporation, hasta ser adquiridos en 2012 por 3DSystems, uno de sus máximos rivales del sector.

La impresión 3D se popularizó en muchos campos de aplicación, como los biomédicos, donde se realizaron varios hitos en la historia de la medicina. En 1999 los científicos del Instituto de Wake Forest de Medicina Regenerativa aumentaron el tamaño de una vejiga urinaria utilizando un recubrimiento sintético a partir de las células del paciente. La tecnología utilizada abrió las puertas al desarrollo de otras estrategias para la sustitución de órganos, el cual pasaba por la impresión de los mismos. Debido a que los órganos están fabricados con células propias del paciente, el riesgo de rechazo por parte del cuerpo es prácticamente nulo.

Tras este primer acercamiento entre el mundo de la medicina y la impresión 3D, proliferaron muchos más casos exitosos. En 2002 los científicos del Instituto de Wake Forest de Medicina Regenerativa diseñan un riñón en miniatura completamente funcional y con la capacidad de filtrar sangre y producir orina diluida en un animal.

Ante los altos precios de las impresoras 3D, surge la necesidad de desarrollar una impresora 3D accesible a todo el mundo, una máquina viable económicamente. En 2005 el Dr. Bowyer, de la Universidad de Bath, Inglaterra, funda RepRap y desarrolla la primera impresora 3D con capacidad de imprimir casi la totalidad de las piezas que la componen.

El proyecto RepRap es una iniciativa creada con el propósito de crear una máquina de prototipado rápido libre que sea capaz de replicarse a sí misma y poder fabricar objetos físicos a partir de modelos generados por ordenador. Asimismo, la filosofía del proyecto RepRap es

Open Source, es decir, los diseños y desarrollos de la comunidad se cuelgan en distintas páginas web, donde los usuarios pueden comentar, estudiar, copiar, distribuir y mejorar los diseños y códigos fuente que la comunidad realiza. Todo ello se materializa en el año 2008, cuando lanzan al mercado el modelo Darwin, la primera impresora 3D con capacidad de imprimir la mayoría de sus propios componentes, permitiendo a los usuarios que ya tienen una, hacer más impresoras para sus amigos o incluso reparar componentes de la suya.

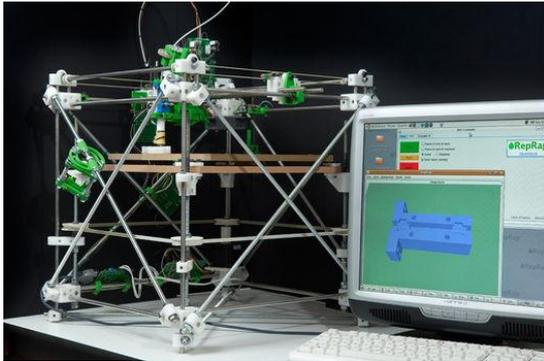


Figura 2: Impresora Darwin Reprap

En el mismo año, Shapeways lanzaba un sitio web para ofrecer un nuevo servicio de co-creación entre la comunidad. El usuario diseña su propio modelo tridimensional o bien escoge uno de los diseños creados por algún miembro de la comunidad, elige el material de impresión con el que quiere su producto y ordena su pedido.

También en 2008, se utiliza la primera pierna protésica impresa en 3D con todos los componentes, rodilla, pie, etc, impresa en una misma estructura y sin ningún tipo de montaje.



Figura 3: Pierna protésica impresa en 3D

Basándose en los mismos fundamentos que RepRap, nace en 2009 la impresora Makerbot diseñada por Makerbot Industries. La Makerbot establece un hito en la impresión 3D, ya que puede autorreplicarse y además puede ser ensamblada por cualquier persona con unas

habilidades básicas. Supuso un éxito de ventas, vendiendo miles de impresoras, en gran parte por su precio y por otra parte, por la comunidad que arrastraba consigo.



Figura 4: Makerbot Replicator

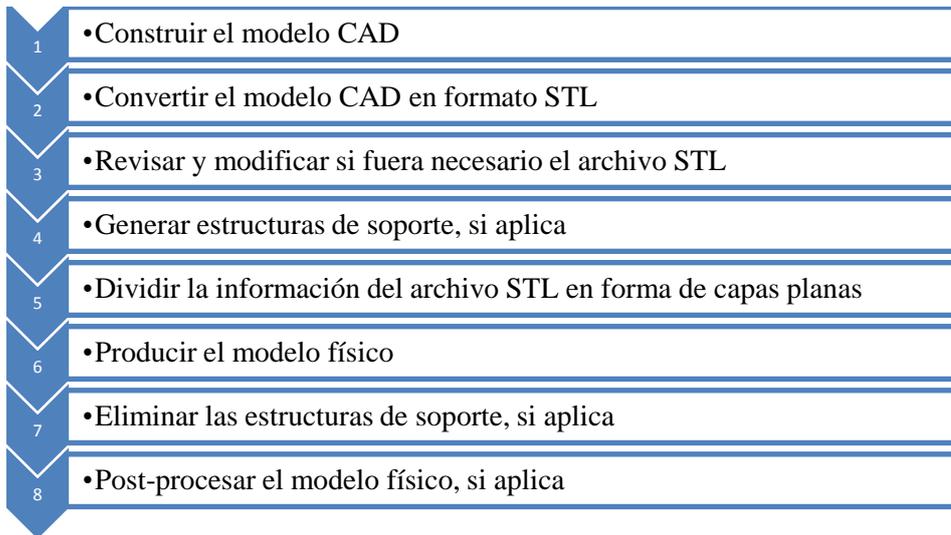
En los últimos años se han seguido produciendo productos a través de esta tipología de fabricación, destacando la primera bio-impresora 3D para generar vasos sanguíneos, el primer avión impreso en 3D, la fabricación de modelos a escala real de vehículos y funcionales, avances en el sector de la joyería, y numerosas prótesis en el ámbito de la medicina.

Por último destacar la aparición de la tecnología "Continuous Liquid Interface Production" (CLIP) este mismo año 2015. Esta tecnología ha sido desarrollada por la empresa 3D Carbon y pretende revolucionar el mercado de las impresoras 3D, prometiendo tiempos de fabricación en magnitud de pocos minutos, cuando el resto de tecnologías requieren de horas.

Todas estas tecnologías se analizarán en detalle dentro de este capítulo, en la sección 2.4.

2.3. FUNCIONAMIENTO

Seguidamente se detallará el proceso de prototipado de una pieza tangible desde la fase de preparación del modelo hasta la de fabricación del prototipo. El proyecto a desarrollar se centrará en el última fase de las que mencionaremos a continuación.



En la siguiente figura se puede observar de forma gráfica los pasos anteriormente enunciados:

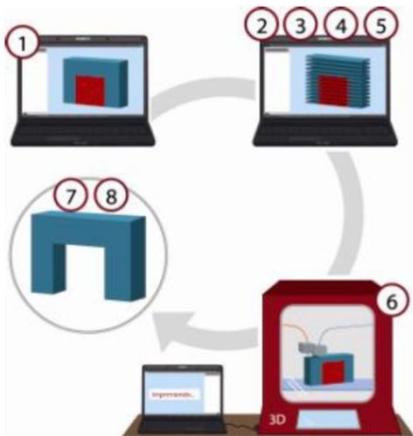


Figura 5: Esquema del proceso de fabricación de una pieza impresa 3D

2.4. TÉCNICAS DE PROTOTIPADO RÁPIDO

Tipo	Tecnologías
Extrusión	Modelado por deposición fundida (FDM)
Hilado	Fabricación por haz de electrones (EBF3)
Granulado	Sinterizado de metal por láser (DMLS) Fusión por haz de electrones (EBM) Sinterizado selectivo por calor (SHS) Sinterizado selectivo por láser (SLS) Proyección aglutinante (DSPC)
Laminado	Laminado de capas (LOM)
Fotoquímicos	Estereolitografía (SLA) Fotopolimerización ultravioleta (SGC)

Tabla 1: Clasificación de los diferentes métodos de impresión existentes en la actualidad.

2.4.1. MODELADO POR DEPOSICIÓN FUNDIDA (FDM)

La tecnología FDM (Fused Deposition Modeling) consiste en la deposición de capas de plástico fundido sobre otras capas para ir elaborando la pieza. Un filamento de material, habitualmente ABS o PLA, emerge de una bobina, se hace pasar por un extrusor a una temperatura superior a la de transición vítrea del material, y es extruido a través de una boquilla. De esta manera, una capa se realiza por la deposición del hilo fundido del material. Este depósito se solidifica, ya que entra en contacto con el soporte o una capa ya realizada. La forma de la capa se realiza gracias al desplazamiento en el plano de la boquilla. Una vez finalizada la trayectoria el extrusor o la sujeción de la pieza se desplaza en el eje vertical, realizando la siguiente capa. El proceso se repite sucesivamente hasta finalizar la fabricación de la pieza.

Para imprimir objetos con formas geoméricamente complicadas se requiere de estructuras de soporte, con el objetivo de mantener la integridad del objeto y que éste no se mueva durante el proceso de impresión. Las estructuras de soporte se generan en el software de la máquina de forma automática o de forma manual si lo requiere. Habitualmente se fabrican con el mismo material de la pieza. Posteriormente en el proceso de postprocesado, el usuario

elimina el material de soporte y realiza un pulido en aquellas zonas donde se encontraban los apoyos.

Algunos modelos poseen un doble extrusor que permite imprimir con dos materiales, el material de la pieza a construir y otro material que se utiliza para generar los soportes, cuya eliminación agiliza el proceso y mejora el acabado de la pieza, ya que permite eliminar los apoyos mediante agua o detergente.

En la siguiente figura podemos ver el esquema de proceso:

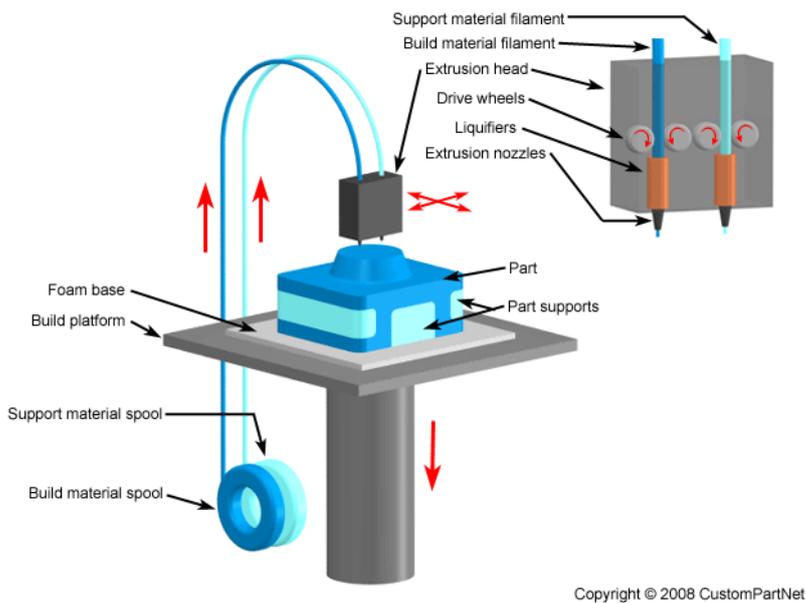


Figura 6: Proceso FDM

2.4.2. FABRICACIÓN POR HAZ DE ELECTRONES (EBF³)

Esta técnica es desarrollada por la NASA y se basa en la utilización de un haz de electrones para realizar las sucesivas capas que forman la pieza.

El procedimiento EBF³ (Electron Beam Freeform Fabrication) se realiza en una cámara de vacío donde un haz de electrones se enfoca hacia un alambre de metal, creando un baño de fusión. El metal fundido se solidifica inmediatamente, tras la aplicación del haz de electrones, contando con la resistencia estructural suficiente para mantenerse en su posición y soportar más capas. La secuencia se repite siguiendo las trayectorias de deposición establecidas y mediante la superposición de capas se forma la pieza deseada, tal como se muestra en la figura:

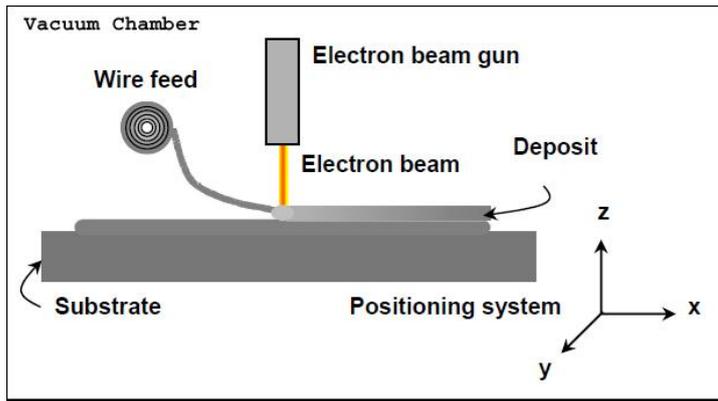


Figura 7: Técnica EBF³

2.4.3. SINTERIZADO DE METAL POR LÁSER (DMLS)

La tecnología DMLS (Direct Metal Laser Sintering) permite la fabricación de piezas complejas a partir de polvo metálico. Al igual que los métodos anteriormente mencionados, las piezas se construyen capa a capa.

El polvo se convierte en una pieza sólida mediante un proceso de sinterización selectiva mediante la aplicación de un láser que describe la geometría definida en el fichero CAD 3D. Una vez realizada la trayectoria de la capa deseada, la pieza desciende en el eje vertical a una distancia igual al espesor de la capa realizada. Posteriormente se coloca otra capa de polvo metálico y se repite el proceso de sinterización, y así sucesivamente hasta obtener la pieza deseada. El siguiente esquema representa de forma gráfica el proceso:

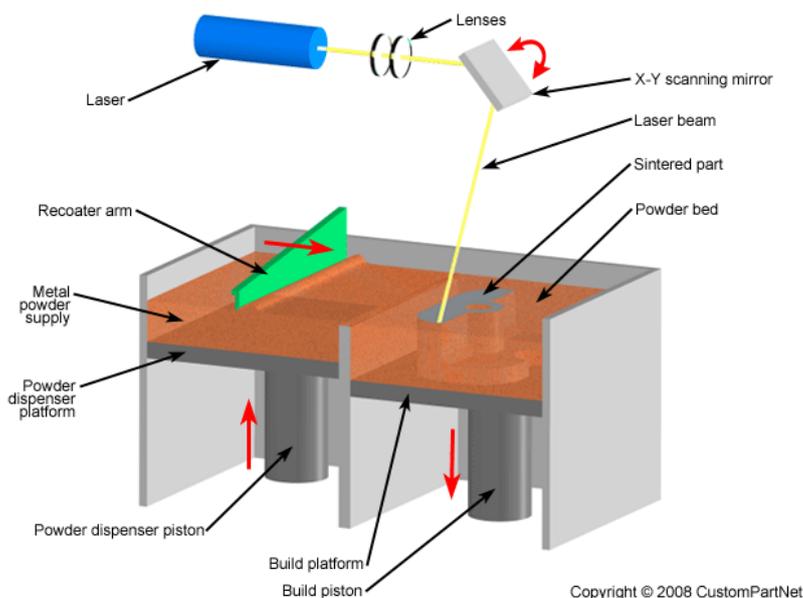


Figura 8: Técnica DLMS

2.4.4. FUSIÓN POR HAZ DE ELECTRONES (EBM)

La idea fundamental del proceso EBM (Electron Beam Melting) consiste en la construcción de piezas de metal superponiendo capas de metal en polvo, cada una de las cuales se funde mediante el uso de un haz de electrones que sigue exactamente la geometría definida por un modelo CAD 3D.

Las piezas se construyen capa a capa, en una cámara al vacío. Los electrones se emiten a través de un filamento de tungsteno y mediante bobinas, se focaliza el chorro hacia la plataforma, que contiene el metal en polvo. Se aplica el haz de electrones siguiendo la trayectoria establecida, fundiendo el metal y generando la capa. El proceso se repite sucesivamente, superponiendo capas de metal, hasta finalmente obtener la pieza deseada. En la siguiente figura se muestra de forma esquemática el proceso EBM:

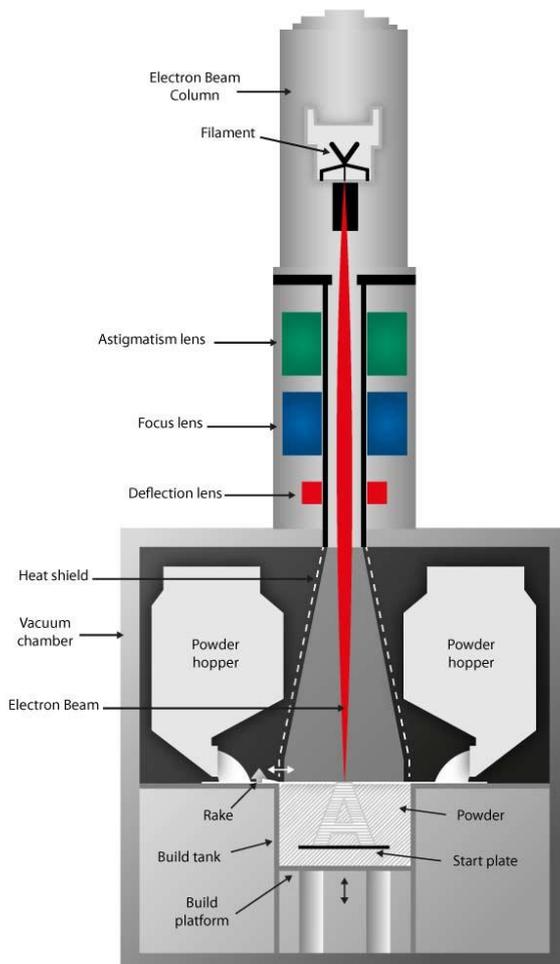


Figura 9: Técnica EBM

2.4.5. SINTERIZADO SELECTIVO POR CALOR (SHS)

La técnica SHS (Selective Heat Sintering) es un proceso de manufactura aditiva que realiza las capas mediante la fusión de polvos termoplásticos mediante la aplicación de calor, hasta formar un objeto sólido.

La sinterización se realiza mediante el uso de una cabeza de impresión térmica que aplica calor a las capas de polvo termoplástico. Cuando se termina una capa, el lecho de polvo se mueve hacia abajo, y un rodillo automatizado añade una nueva capa de material que se sinteriza para formar la próxima sección transversal del modelo. El proceso se repite de forma continuada hasta obtener la pieza deseada, como se observa en la siguiente figura:

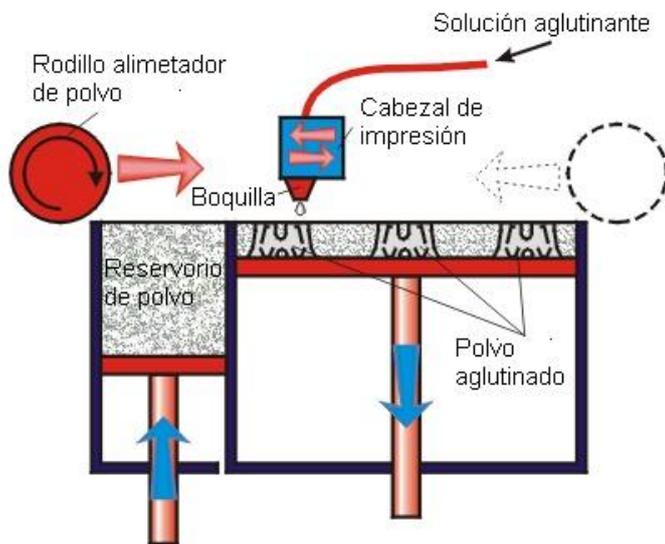


Figura 10: Técnica SHS

2.4.6. SINTERIZADO SELECTIVO POR LÁSER (SLS)

El sinterizado selectivo por láser, SLS (Selective Laser Sintering), es una técnica de adición de prototipado rápido que consiste en depositar una capa de material en polvo, de unas décimas de milímetro de espesor, en un recipiente cuya temperatura se encuentra ligeramente por debajo a la de fusión del polvo. Seguidamente un láser de CO₂ sinteriza el polvo en los puntos deseados, provocando que las partículas que entran en contacto con el láser se fusionen y solidifiquen. Se repite el proceso, produciendo unas capas sobre otras, hasta obtener el prototipo deseado. El polvo no sinterizado sirve de material de soporte y una vez finalizada la pieza, puede ser retirado y reutilizado para posteriores trabajos. A continuación se muestra el proceso de forma gráfica:

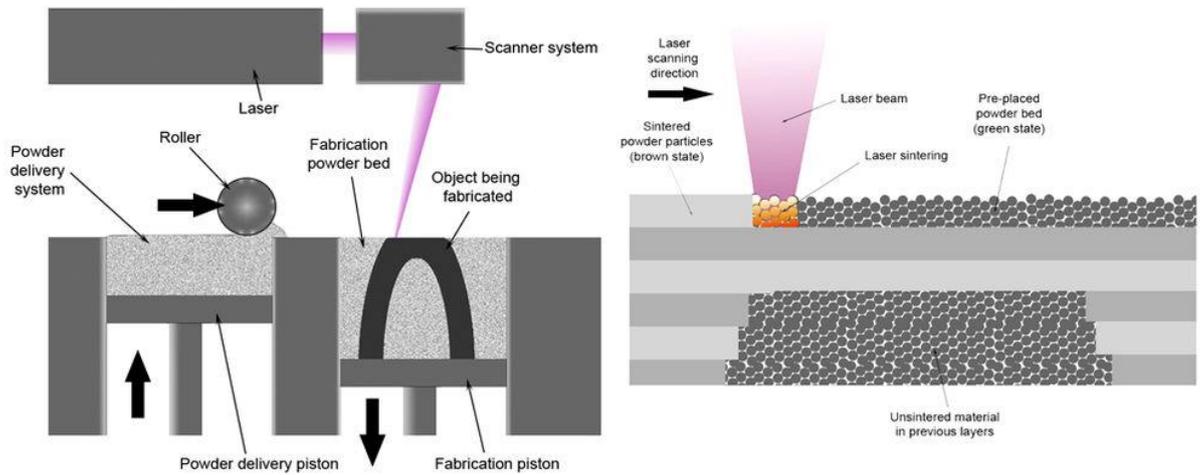


Figura 11:Técnica SLS

2.4.7. PROYECCIÓN AGLUTINANTE (DSPC)

La tecnología DSPC (Direct Shell Production Casting) trabaja mediante la deposición de material en polvo en capas y la ligazón selectiva del mismo se realiza mediante la adición de un material aglutinante a través de un boquilla que desprende pequeñas gotas.

Primeramente se deposita una capa de polvo fino a través de un mecanismo de rodillo sobre la plataforma de construcción. Seguidamente se emplea la tecnología de inyección de tinta tradicional en la impresión, un cabezal de impresión deposita el aglutinante siguiendo las trayectorias definidas para formar cada capa. Terminada una capa, se crea una nueva cuando la plataforma desciende, utilizando un pistón para realizar la acción. Seguidamente un rodillo extiende y apelmaza el polvo para que se mantenga uniforme en cada capa y así sucesivamente hasta crear la pieza, como se observa en la siguiente figura:

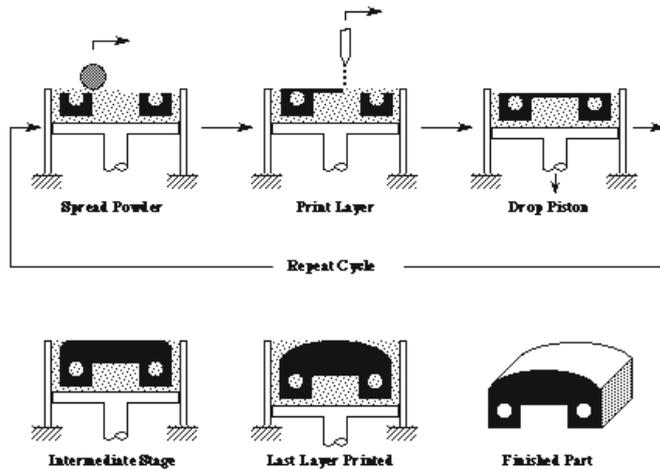
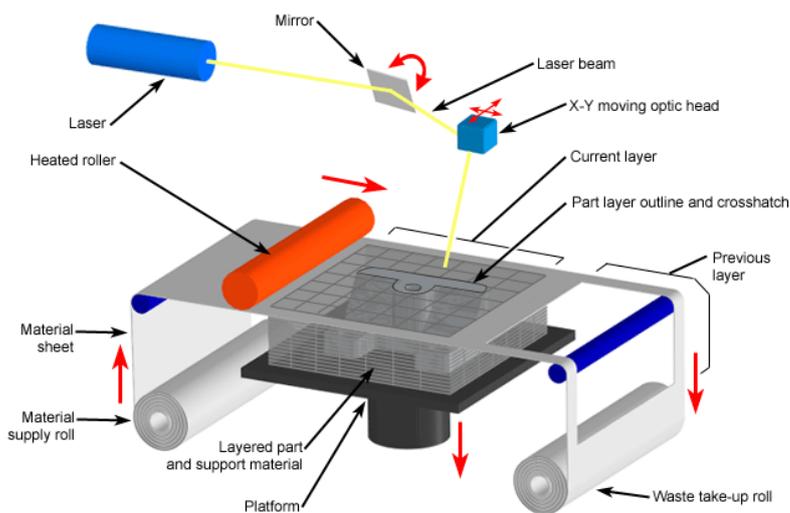


Figura 12: Técnica DSPC

2.4.8. LAMINADO DE CAPAS (LOM)

La técnica LOM (Laminated Object Manufacturing) se basa en el uso de un material laminar recubierto con adhesivo, que se corta con la forma deseada y se prensa con un rodillo caliente, quedando adherida a la hoja precedente.

Un láser corta el contorno de la pieza en cada capa. Cuando finaliza el corte de la capa, la plataforma desciende una profundidad igual al espesor de la chapa, y otra hoja se coloca en la parte superior de las capas previamente depositadas. La plataforma se eleva ligeramente y el rodillo caliente aplica presión para unir la nueva capa. El láser corta el contorno y el proceso se repite hasta que se completa la pieza, como se muestra en la siguiente figura:



Copyright © 2008 CustomPartNet

Figura 13: Técnica LOM

2.4.9. ESTEREOLITOGRAFÍA (SLA)

La metodología SLA (Stereolithography) se fundamenta en la curación y solidificación de un material fotopolimérico en estado líquido empleando un láser.

Este tipo de impresoras utilizan un haz láser computarizado que proyecta un rayo UV sobre un baño de resina fotosensible que cuando es expuesta a radiación ultravioleta solidifica. Una vez solidificada la sección, el elevador desciende a una profundidad que corresponde al espesor de la sección y, a continuación, se dibuja la siguiente sección encima de la anterior.

En la siguiente figura se ejemplifica el proceso:

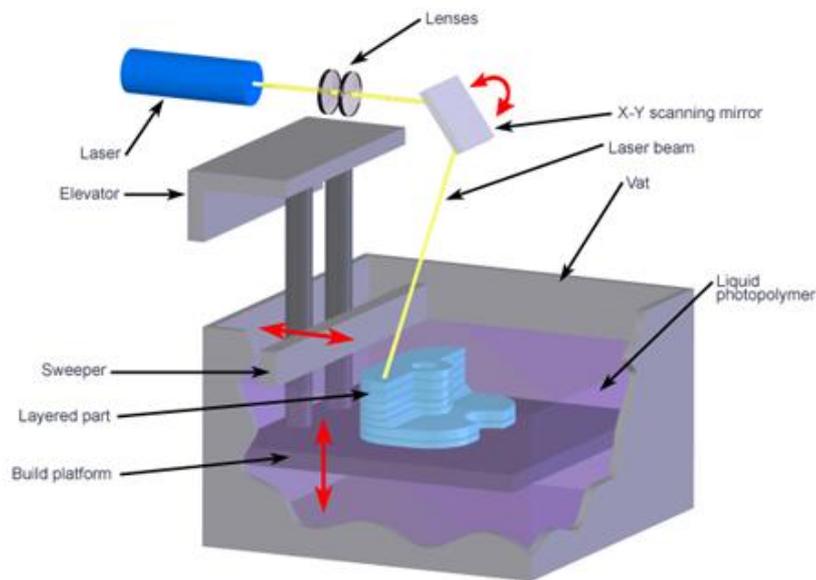


Figura 14: Técnica SLA

2.4.10 FOTOPOLIMERIZACIÓN ULTRAVIOLETA (SGC)

El proceso SGC (Solid Ground Curing) se basa en la solidificación de un fotopolímero o resina fotosensible por la irradiación ultravioleta de gran potencia sobre los puntos de la sección simultáneamente. Esta técnica utiliza un proyector para diseñar las capas de la pieza. La resina se expone a una imagen proyectada por el proyector, polimerizando el material. Una vez terminada la sección, la placa de trabajo se desplaza en la dirección transversal procediendo a la polimerización de la siguiente capa. En la figura 15 se ilustra este proceso:

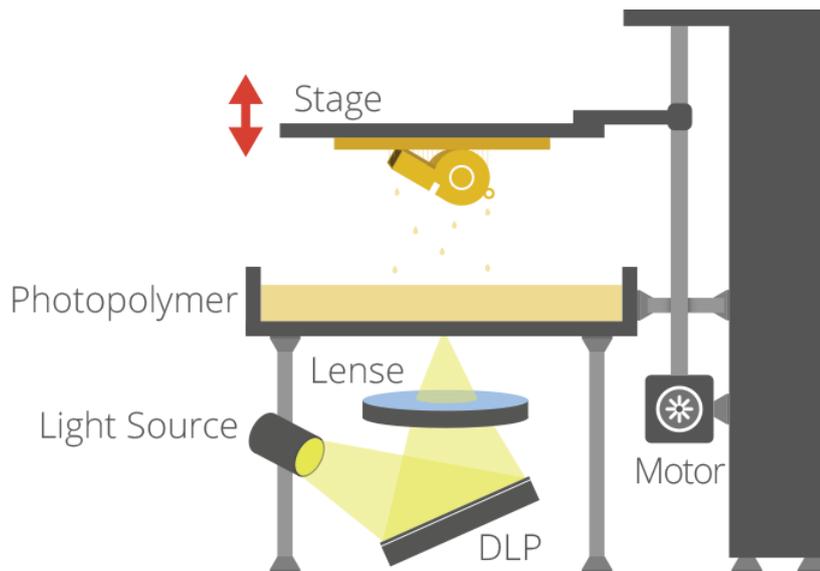


Figura 15: Técnica SGC

2.5 RESOLUCIÓN Y PRECIOS DE LAS TECNOLOGÍAS

En el actual mercado de las impresoras 3D existen tres grandes grupos de modelos para cada tecnología:

- Personales autoreplicantes *Do It Yourself*, DIY (Háztelo Tú Mismo).
- Personales de calidad media
- Profesionales de altas prestaciones

Cada uno de estos grupos presenta unas características diferentes en cuanto a calidad, precio, prestaciones, y accesibilidad.

Personales autoreplicantes DIY

En el primer grupo se encontrarían aquellas impresoras cuyos componentes pueden ser fabricados por otras impresoras 3D, basado en el movimiento RepRap. Cualquier persona puede acceder a los modelos tridimensionales de las piezas que componen la máquina e imprimirlos.

Este tipo de impresoras están diseñadas para facilitar el montaje de la misma y ser asequibles para el público.

El precio de construcción de este tipo de impresoras se encuentra cercano a los 400€, pero pueden adquirirse kits de montaje que incluyen todos los componentes de la máquina a partir de 300€ (iPrusa). [<http://www.repparts3d.com/es/kits-completos/56-kit-prusa-i3.html>]

Sin embargo este tipo de impresoras tiene menores prestaciones en comparación con los equipos comerciales, debido a las tolerancias y los materiales empleados para la fabricación de

los componentes. Además su manejo resulta engorroso, ya que su interfaz y control está orientado para usuarios avanzados y no para el público en general. No obstante, con la calibración adecuada, pueden obtenerse resultados razonables que en algunos casos son superiores a algunos modelos comerciales.

Por otra parte, la mayoría de impresoras de este tipo no presentan el Marcado CE, por que no pueden ser comercializadas y el montaje es responsabilidad del usuario.

La tecnología más usada para este tipo de impresoras es la técnica FDM, debido a su simplicidad de funcionamiento y componentes.

Personales de calidad media

Como alternativa a las impresoras 3D caseras anteriormente analizadas, existen las versiones comerciales de este tipo de máquinas. Su desventaja principal se encuentra en el precio de las máquinas, ya que es claramente superior a las impresoras caseras, en un rango de precio entre 800€ y 3000€.

Las alternativas comerciales ofrecen una excelente calidad precio en comparación a los modelos comerciales de gama superior, brindando especificaciones altas en cuanto a la resolución y velocidad de impresión. Siendo la opción idónea para las pequeñas y medianas empresas e incluso para un gran nombre de usuarios particulares.

Al estar enfocadas para un público más amplio, su experiencia de usuario resulta más intuitiva, facilitando el uso de la máquina. Igualmente, su apartado estético difiere mucho de las impresoras caseras, siendo mucho más atractivo y elegante.

Además este tipo de impresoras poseen el marcado CE, que garantiza seguridad y una calidad demostrada. Por otra parte, el soporte de la empresa que fabrica la máquina ofrece cierta garantía de funcionamiento y apoyo en caso de cualquier tipo de problema que surja.

En este grupo de impresoras se encuentran modelos con tecnología FDM, como los modelos comerciales Ultimaker 2 o Makerbot Replicator, y modelos con tecnología SLA, como el modelo Form 1+.

Profesionales de altas prestaciones

En esta categoría se encuentran aquellos modelos destinados al sector profesional. Este tipo de impresoras se caracteriza por ofrecer unas especificaciones elevadas que permiten la fabricación de piezas con una precisión y control dimensional inmejorables. Además la

empresa suministradora de la máquina garantiza el perfecto funcionamiento de la máquina y, en la mayoría de ocasiones, un software propio que avala el perfecto funcionamiento de la máquina.

Su principal inconveniente es el elevado coste de adquisición y operación del equipo, que en función de la tecnología aplicada, volumen de producción o especificaciones alcanza cifras inalcanzables para una gran parte del público. Tecnologías en pleno desarrollo como la impresión de materiales metálico (EBM o DMLS) o impresión de resinas (DSPC) alcanza cifras superiores al medio millón de euros.

Otro inconveniente se encuentra en la imposibilidad de innovar o alterar los parámetros de funcionamiento de la máquina ya que tanto los controladores como los componentes internos de la máquina son inaccesibles.

En la siguiente gráfica se plasma la situación de la jerarquía anteriormente analizada en función de la calidad y el precio de los equipos.

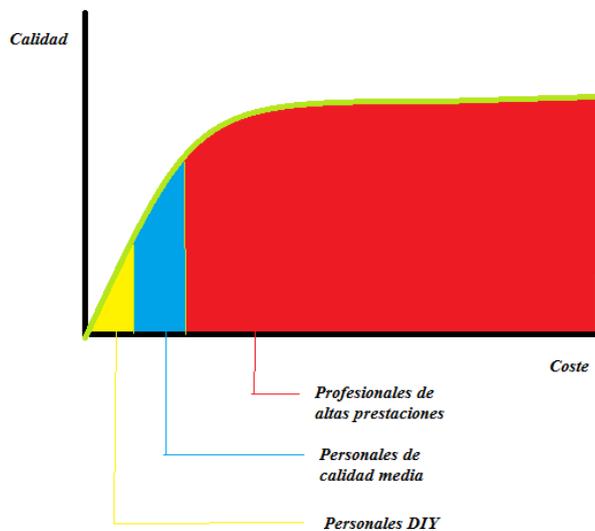


Ilustración 1: Relación calidad-precio impresoras 3D

Como puede observarse, la relación de calidad precio tiene una tendencia lineal, es decir, para obtener mayor calidad, se requiere de impresoras con mejores componentes, para obtener una mayor calidad en las piezas. Las impresoras personales DIY y las de calidad media se encuentran por debajo del codo de saturación.

Sin embargo, impresora profesionales de altas prestaciones tienden a sobrepasar el codo de saturación, ya que pretenden ofrecer la mayor calidad posible, a costa de incrementar su precio de forma gradual.

2.6. MATERIALES

En la siguiente tabla se muestra de forma detallada los materiales que se emplean en los diferentes métodos de fabricación citados en el apartado anterior:

Tecnologías	Materiales
Modelado por deposición fundida (FDM)	Termoplásticos (ABS, PLA, Laywoo, HIPS, PET, TPE, Nylon, junto con variaciones de estos materiales realizadas por distintas empresas), HDPE, metales eutécticos, materiales comestibles.
Fabricación por haz de electrones (EBF ³)	Metales y aleaciones como titanio, tungsteno, aceros, níquel y otros
Sinterizado de metal por láser (DMLS)	Casi cualquier aleación , pero se utiliza generalmente para acero inoxidable, acero para herramientas, cobalto-cromo, aluminio y titanio.
Fusión por haz de electrones (EBM)	Todos los metales no magnéticos pueden ser procesados con EBM. Se utiliza sobretodo aleaciones de Titanio: Titanio Ti6Al4V, Titanio Ti6Al4V, ELI, Titanio Grado 2, Cobalto-Cromo, ASTM F75
Sinterizado selectivo por calor (SHS)	Polvo termoplástico
Sinterizado selectivo por láser (SLS)	Termoplásticos, polvos metálicos, polvos cerámicos: Poliamida + Al, Poliamida + Fibra Vidrio, Poliamida+ Fibra de Carbono...
Proyección aglutinante (DSPC)	Resina de unión: yeso
Laminado de capas (LOM)	Papel de estraza, Poliester, Plásticos Cerámica, Materiales compuestos
Estereolitografía (SLA)	Fotopolímero
Fotopolimerización ultravioleta (SGC)	Fotopolímero

Tabla 2: Materiales empleados en los diferentes métodos de impresión existentes de la actualidad.

En el desarrollo de este apartado nos centraremos de forma detallada en los materiales de ABS y PLA, los cuales son utilizados por un porcentaje muy elevado entre los usuarios de las impresoras 3D del mercado, analizando el porqué de su uso tan diversificado y la idoneidad de uso de cada uno de ellos.

El ABS es un material compuesto por tres componentes: acrilonitrilo, butadieno y estireno. Cada uno de estos componentes aporta características diferentes a este material. El acrolonitrilo aporta rigidez, dureza, resistencia a ataques químicos, y estabilidad a altas temperaturas. El butadieno aporta tenacidad a bajas temperaturas y resistencia a impacto. Por último, el estireno aporta resistencia mecánica, dureza, rigidez y brillo.

Gracias a esta composición, se obtiene un material con una alta resistencia y dureza ante impactos, lo que lo convierte en un material perfecto para aplicaciones industriales. Además posee un punto de fusión elevado, la temperatura de extrusión de este material se encuentra entre 230°C y 260°C. Debido a estas temperaturas, la impresión debe realizarse sobre una superficie suficientemente caliente para evitar la deformación del plástico ABS cuando se deposita y se enfría, ya que una diferencia de temperatura elevada reduce la precisión en las dimensiones y la calidad de la pieza a obtener. Las temperaturas de la cama caliente durante la impresión con ABS generalmente oscila entre 90 y 100 grados Celsius, sin embargo en algunos casos es posible alcanzar los 100°C si fuera necesario.

Por otra parte, el filamento ABS permite ser pulido, lijado, taladrado, pintado y pegado con acetona o una solución de acetona/ABS, o pegamentos especializados. Al ser el ABS soluble en acetona, permite el suavizado de las piezas usando vapor de acetona, una vez impresa la pieza, como técnica de post procesado.

Al tratarse de un plástico sintético derivado del petróleo, al fundirse durante el proceso de extrusión, emite humos leves nocivos que pueden ser peligrosos para las personas con dificultades respiratorias o sensibilidades químicas. Por tanto se puede utilizar sin problemas en casa o en la oficina, pero es recomendable que durante su uso la impresora esté situada en un lugar con buena ventilación.

El material PLA (Ácido Poliláctico o Poliáctido) es un plástico biodegradable derivado del maíz, la remolacha, el trigo, la patata y otros productos ricos en almidón. Debido a su origen, este material es biodegradable, es decir, con el paso del tiempo y debido a la acción de agentes biológicos bajo condiciones ambientales naturales, el plástico pierde sus propiedades iniciales hasta su descomposición en elementos químicos simples. Además es un material reciclable, por lo que su reutilización es posible tras aplicar un proceso de reciclaje adecuado.

Debido a sus propiedades físico-químicas, presenta una temperatura de fusión entre 160°C y 230°C, en función del proveedor del material, por lo que se hace menos crítica la temperatura de la plataforma caliente sobre la cual imprimir, reduciendo el efecto de doblado durante el proceso de enfriamiento.

Por otra parte este tipo de material cuando es fundido por el extrusor no emite humos nocivos para la salud como es el caso del ABS, y su olor es menos agresivo que este último.

En cuanto a aspectos físicos, químicos y mecánicos, el PLA se puede formular para ser rígido o flexible dependiendo del proceso de fabricación seguido, por lo tanto sus propiedades mecánicas varían. Sin embargo, de forma general, el PLA es más frágil y menos resistente a altas temperaturas que el ABS. Además es resistente a la humedad y a la grasa. Tiene características de barrera del sabor y del olor. Por último destacar que estos polímeros tienden a ser estables a la luz ultravioleta, disminuyendo el efecto de decoloración de la pieza.

Propiedades Físico – Mecánicas del ABS y PLA

Nombre oficial	Acrinitrilo butadieno estireno	Ácido poliláctico
Respetuoso con el medio ambiente	NO	SÍ
Degradable	NO	SÍ
Punto de fusión	205°C	175°C
Dureza Rockwell	R105 a R110	R70 a R90
Calidad superficial	Buena	Muy buena
Tiempo de enfriamiento	Medio	Largo
Resistente al calor	105°C	110°C
Olor	Muy fuerte	Ligero olor
Absorción humedad	Sí, aproximadamente entre el 3% al 5%	Sí, pero apenas tiene importancia
Solubilidad en agua	Insoluble	Insoluble
Densidad	1,04 g/cm ³	1,23 a 1,25 g/cm ³
Alargamiento a la rotura	20%	3,8%
Temperatura transición vítrea	105°C	60°C a 65°C
Resistencia a tracción	44,81 MPa	57,8 MPa
Resistencia a flexión	75,84 MPa	55,3 MPa
Módulo de flexión	2,28 GPa	2,3 GPa

Módulo de tracción	2,21 GPa	3,3 GPa
--------------------	----------	---------

Tabla 3: Comparativa de las propiedades Físico-Mecánicas del ABS y PLA

El precio unitario de los dos materiales es bastante similar, por lo tanto, no será un factor representativo en la elección del material para la fabricación de una pieza.

En conclusión el ABS es preferible en aplicaciones donde la pieza impresa requiera unas prestaciones de resistencia superiores, cierta tenacidad o la temperatura de trabajo sea alta. Todo esto hace que el ABS sea un material perfecto para aplicaciones industriales. Por otra parte, la utilización de PLA sería más recomendable para aplicaciones más sencillas, donde no se requiera de unas propiedades elevadas.

3. DISEÑO CONCEPTUAL Y PRELIMINAR DE LA MÁQUINA

3.1 DEFINICIÓN METODOLÓGICA DE OBJETIVOS/REQUISITOS

La definición de objetivos determinados por el diseñador se pasan a convertir en especificaciones del diseño. A continuación se procede a plantear las especificaciones de la máquina en función de los diferentes aspectos de diseño.

Aspecto	Objetivo	Especificación	Condición ensayo
Rendimiento	Minimizar el consumo eléctrico	Consumo eléctrico inferior a 300W	Imprimir durante una hora y corroborar que el consumo máximo de la máquina no supera los 300W·h

Aspecto	Objetivo	Especificación	Condición ensayo
Factor humano	Estéticamente agradable.	Valoración de la estética de la máquina igual o superior al 90% en comparación con las tres máquinas más vendidas del mercado.	Ensayo de valoración del prototipo mediante la participación de 10 sujetos, quienes se encargarán de calificar la máquina a nivel estético.
	Menor ruido posible	Nivel sonoro continuo equivalente, Laeq, inferior a 50dBA a 1,5m de la impresora.	Medida del nivel sonoro equivalente en varias posiciones a 1,5m de distancia durante el uso de la máquina.
	Minimizar el olor durante el proceso de fabricación.	El olor emitido no debe ser molesto para el 90% de los usuarios, situados a 1m de la máquina durante un minuto.	Ensayo de valoración del prototipo mediante la participación de 10 sujetos, quienes se encargarán de calificar el olor tras ser expuestos durante el proceso de impresión de un componente.
	Facilidad de uso	Valoración en la sencillez de uso igual o superior a las tres máquinas más vendidas del mercado.	Ensayo de valoración del prototipo mediante la participación de 10 sujetos, quienes se encargarán de calificar si la máquina es más fácil de usar que las 3 impresoras más vendidas del mercado.
	Uso con una sola mano	El usuario debe ser capaz de realizar todo el proceso de impresión con una sola mano.	Realizar un ensayo en el cuál, todo el proceso de impresión lo realice un usuario mediante una sola mano.

Aspecto	Objetivo	Especificación	Condición ensayo
Seguridad	Diseño que maximice la vida útil de los componentes	El 90% de las máquinas sean fiables tras 100 horas de uso de la máquina.	No se rompa la máquina durante x tiempo
	Máquina segura para el usuario	Mecanismos de seguridad que paren la máquina cuando el usuario abre la máquina.	Diseño atendiendo a la especificación.

Aspecto	Objetivo	Especificación	Condición ensayo
Recursos	Precio asequible del conjunto de la máquina.	Precio de venta al público inferior a 1000€ para una producción de 1000 unidades/año.	Venta de la impresora al usuario a un precio inferior a 1000€.
	Minimizar el tiempo de fabricación	Velocidad de deposición mínima de 30mm/s y una velocidad de deposición máxima de 300 mm/s	Medir el recorrido que realiza el cabezal y el tiempo que tarda.
	Peso ligero.	Peso total de la máquina inferior a 12Kg	Pesar la máquina en una báscula.
	Maximizar la resolución de la piza	Resolución de hasta 50 micras	Comprobar el nivel de detalle de la pieza

Aspecto	Objetivo	Especificación	Condición ensayo
Fabricación	Materiales resistentes y compatibles con la tecnología seleccionada	Utilización de PLA o ABS como materiales de impresión.	Imprimir piezas mediante la utilización de PLA y ABS como material principal.

Aspecto	Objetivo	Especificación	Condición ensayo
Mantenimiento	Facilitar la limpieza de la máquina	Posibilidad de retirar la bandeja calefactable para su posterior limpieza.	Posibilidad de retirar la bandeja calefactable
	Facilitar la reparación de componentes	Poder retirar los componentes más críticos mediante un número reducido de herramientas.	Diseño atendiendo a la especificación.

3.2 METODOLOGÍAS DISEÑO CONCEPTUAL

Por medio de la metodología del diagrama funcional se pueden representar las funciones básicas de la máquina de impresión 3D que viene representada por unas entradas y unas salidas correspondientes a flujos de energía, material e información que transportará el diseño a realizar.

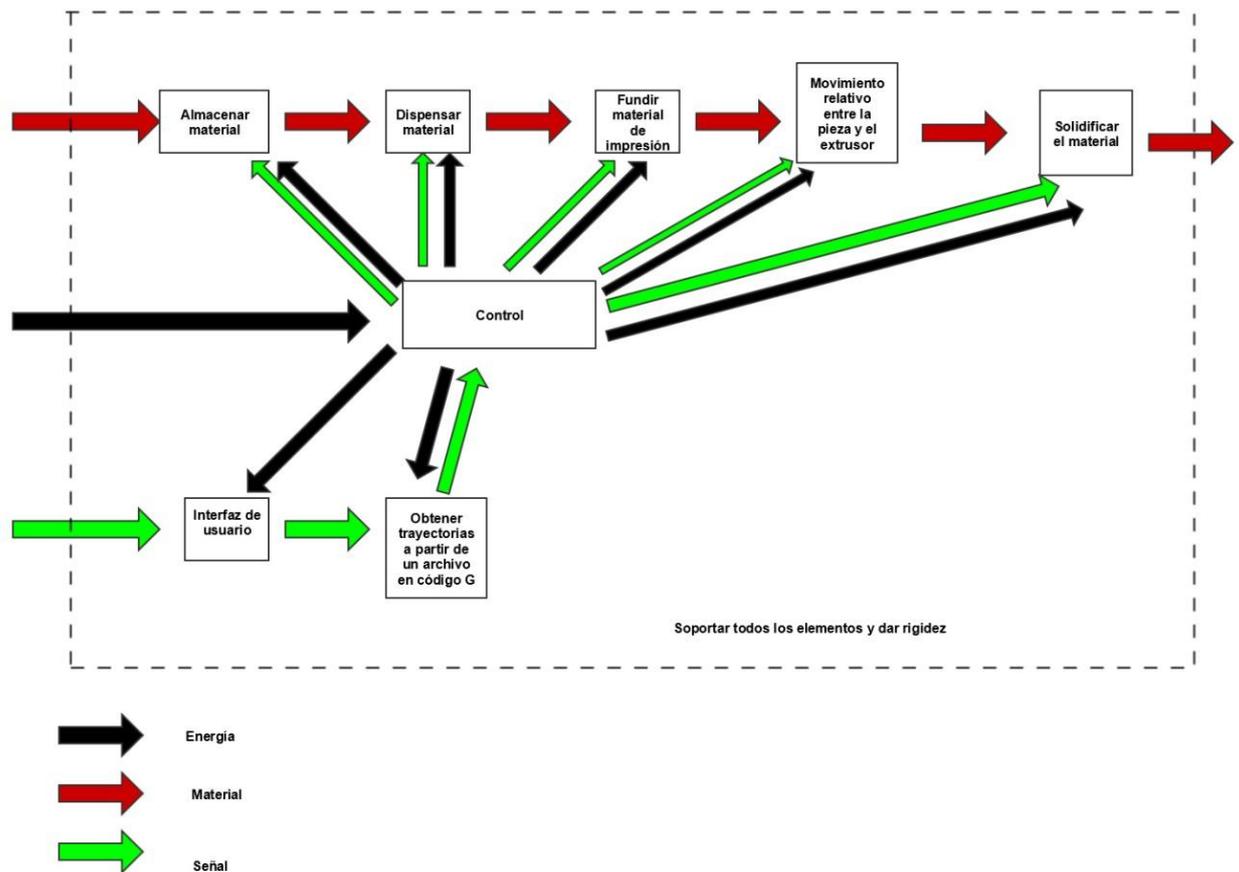


Figura 16: Diagrama funcional

Una vez definido el diagrama funcional de la máquina se establece un listado de funciones a realizar tal y como muestra la figura 16:

1. Soportar todos los elementos y dar rigidez
2. Almacenar material.
3. Dispensar material.
4. Fundir material de impresión.
5. Movimiento relativo entre la pieza y el extrusor.
6. Solidificar el material.
7. Control.
8. Interfaz de usuario.

9. Obtener trayectorias a partir de un archivo en código G.

3.3 PROPUESTA CONCEPTUAL DE SOLUCIONES Y JUSTIFICACIÓN DE LA SELECCIÓN.

En este apartado se van a proponer una serie de soluciones o propuestas de diseño para la máquina de impresión 3D en función de los objetivos y especificaciones citadas en el apartado 4.1 y en base al diagrama de funciones propuesto en el apartado anterior.

3.3.1 SOPORTAR Y DAR RIGIDEZ

3.3.1.1 CONFIGURACIÓN DE LOS EJES

El conjunto estructural de una impresora 3D es constituido por el chasis. El mismo puede consistir en elementos estructurales a lo largo de los ejes de movimiento o mediante los paneles que encierran la máquina. Además, se puede distinguir entre chasis abierto o chasis cerrado. Sin embargo, el diseño de la estructura de la impresora dependerá fundamentalmente del tipo de coordenadas a utilizar. Las principales configuraciones robóticas que podemos encontrar dependiendo de las coordenadas utilizadas son la configuración cartesiana, cilíndrica, esférica, angular y SCARA.

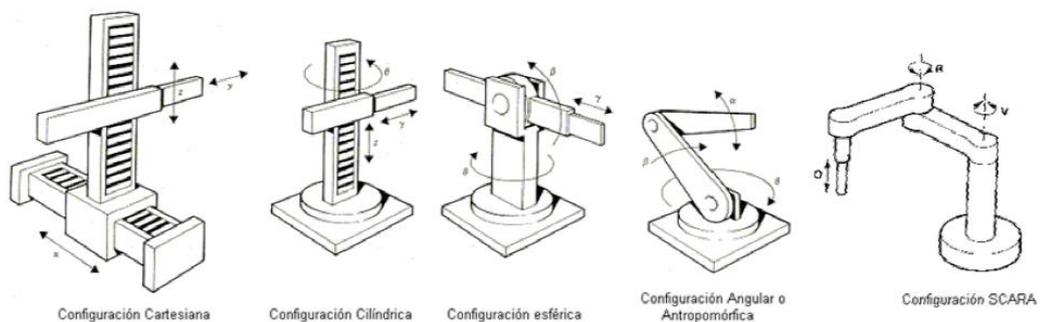


Figura 17 : Configuraciones robóticas comunes

A continuación se analiza cada uno de los tipos de configuraciones que puede presentar la impresora. Aplicadas a la estructuras de impresoras 3D existen 4 tipos de configuraciones:

- **Cartesiana:** este tipo de configuración tiene 3 grados de libertad que corresponden a los tres ejes, X, Y, Z, cuyo movimiento es lineal tal y como se muestra en la figura 18. Puede considerarse el diseño más sencillo debido a que el software y los mecanismo de la impresora son más simples.



Figura 18: Impresora 3D con configuración de ejes cartesianos

- **Delta:** como se puede ver en la figura 19, el cabezal de extrusión se encuentra colocado en el centro de la estructura, formado por tres brazos que controlan el movimiento del cabezal mediante desplazamientos verticales independientes en cada uno de los brazos, pero manteniendo siempre el cabezal paralelo a la plataforma de impresión. Las principales ventajas de este tipo de impresoras radica en poseer un diseño plegable y compacto, requiere menor número de piezas en lo referente a rodamientos y correas, permite tener una gran área de impresión. Sin embargo, esta solución no permite tener unos parámetros de resolución, velocidad y aceleración de las piezas constante, el software es más complejo que en las anteriores soluciones, la capacidad de procesamiento requerido es mayor, la complejidad en la calibración es mayor.

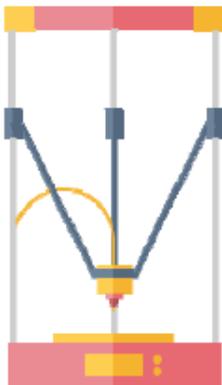


Figura 19: Impresora 3D con configuración de tipo delta

- **SCARA:** este tipo de configuración se basa en dos brazos de dos articulaciones que proporcionan el movimiento al cabezal de extrusión tal y como se representa en la figura 20. Si bien son más fáciles de construir estructuralmente, tienen el inconveniente de que es necesario compensar la altura de la superficie de impresión durante el funcionamiento debido a la flexión del brazo.

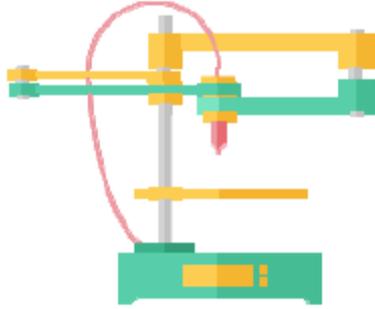


Figura 20: Impresora 3D con configuración de ejes SCARA

- **Polar:** el diseño de estas impresoras está formado por dos ejes que se mueven solidarios al cabezal de extrusión tal y como se observa en la figura 21. Esta configuración posee la ventaja de ser más fácil de construir en comparación con los mecanismos mencionados anteriormente, ya que, por ejemplo, solo requiere dos motores. Este diseño puede suponer grandes ventajas para la creación de piezas con geometrías que incluyan curvas. Sin embargo, con esta configuración se introducen errores cuando se escala a tamaños más grandes y el software requerido es más difícil de diseñar debido a los cálculos requeridos. Además, la plataforma giratoria dificulta el diseño de la "cama caliente".

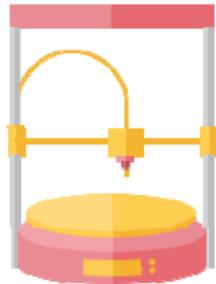


Figura 21: Impresora 3D con configuración de ejes polar

Para la selección de configuración en la que estará basada la estructura se realiza una matriz de decisión con cuatro criterios de selección. Estos son la facilidad de construir la estructura, la facilidad de diseño del software o firmware, la cantidad de motores necesarios y la rigidez que presentan las impresoras utilizando estas configuraciones. Para el análisis se utiliza como referencia la estructura cartesiana, y se compara con un +1 si la solución es mejor que ésta o con -1 en caso contrario.

Configuración	Cartesiana	Delta	SCARA	Polar
Estructura	0	-1	+1	0
Software/ Firmware	0	-1	-1	-1
Motores	0	0	0	+1
Rigidez	0	0	-1	0
TOTAL	0	-2	-1	0

Tabla 4: Matriz selección para las configuraciones estructurales

3.3.1.2 DISPOSICIÓN DE LOS EJES

Como se expone en el apartado anterior, el sistema de coordenadas seleccionado para el diseño de la estructura es la configuración cartesiana. Las diferentes alternativas para la disposición de los ejes y sistemas de transmisión se clasifican según a que elemento se le atribuya el movimiento, es decir, si el movimiento se asigna al cabezal de extrusión o a la plataforma de impresión para cada uno de los tres ejes: X, Y o Z.

Elemento Estructura / Eje	Cabezal			Plataforma		
	X	Y	Z	X	Y	Z
Tipo 1	•				•	•
Tipo 2		•		•		•
Tipo 3			•	•	•	
Tipo 4	•	•				•
Tipo 5	•		•		•	
Tipo 6		•	•	•		
Tipo 7	•	•	•			
Tipo 8				•	•	•

Tabla 5: Disposición de los ejes

Como puede observarse en la Tabla 5, se distinguen 8 tipos de estructuras diferentes, dependiendo de la dirección en cuanto al movimiento relativo de sus elementos. Para establecer esta clasificación se limita el movimiento de la plataforma de impresión a dos ejes como máximo, ya que como soporte de la pieza debe garantizar su estabilidad y fijación sobre ésta. Es por este motivo que uno de los dos movimientos corresponde al movimiento en el eje Z, evitando asignar a la plataforma el movimiento a través del eje X e Y al mismo tiempo, debido a que el movimiento más lento corresponde al eje Z. El resto de alternativas no se consideraran ya que corresponden a un intercambio entre el eje X y el eje Y, es decir, a girar la impresora 90°.

Elemento	Cabezal			Plataforma		
	X	Y	Z	X	Y	Z
Estructura/ Eje						
Tipo 1	•	•	•			
Tipo 2	•		•		•	
Tipo 3	•	•				•
Tipo 4	•				•	•

Tabla 6: Disposición ejes disponible

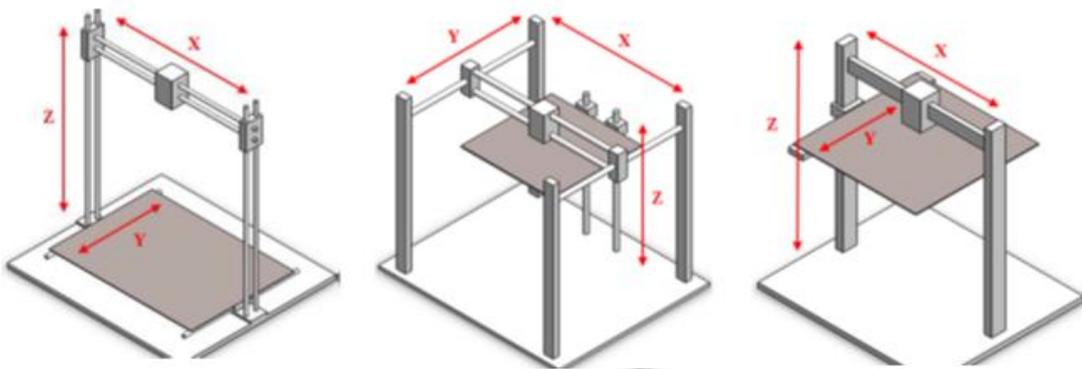


Figura 22: Disposición de ejes Tipo 2, 3 y 4

De la misma forma que anteriormente, se realiza una matriz de selección utilizando como criterio de selección los mostrados en la tabla 7 y tomando como referencia el Tipo 1, correspondientes a asignar los 3 movimientos al cabezal de extrusión.

TIPO	TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3	TIPO 4
Inercia de la plataforma	0	-1	0	-1
Número de motores	0	0	0	0
Rigidez	0	+1	+1	+1
Posibilidad de tapa	0	-1	0	-1
Facilidad de montaje	0	+1	+1	+1
Coste	0	0	0	0
Espacio envolvente	0	-1	0	-1
TOTAL	0	-1	+2	-1

Tabla 7 Matriz de selección para la disposición de los ejes

Como se justifica en la tabla anterior, el diseño de la impresora se basará en el Tipo 3: los movimientos en el eje X e Y son realizados por el cabezal y el movimiento en el eje Z, por la plataforma. Con esta solución se obtiene una mínima inercia en la plataforma de impresión y se facilita la construcción de la zona del cabezal.

3.3.1.3 CÁRCASA

La carcasa es un elemento cuya función consiste en albergar y proteger los componentes de la máquina. Durante el diseño de la misma, se tiene en cuenta la seguridad del usuario, evitando la posibilidad de contacto voluntario con las piezas y los componentes internos de la máquina.

Además es un elemento que otorga rigidez a la máquina, y sirve para minimizar el ruido que emite la máquina durante su funcionamiento, así como para contener los olores que se generan cuando el extrusor funde el material de impresión.

Los aspectos anteriormente descritos toman mayor importancia debido al público al que va destinado, ya que se trata de una máquina que debe ser usada en el hogar o pequeños laboratorios. La seguridad de la máquina debe ser suficiente para que no se puedan tocar las conexiones y piezas que componen la máquina de forma involuntaria. Del mismo modo, se debe minimizar tanto como sea posible el ruido y los olores, maximizando la ergonomía de la máquina.

Por otra parte, la utilización de una carcasa evita que los componentes de la máquina estén expuestos, mejorando el aspecto estético de la máquina.

No obstante, uno de los mayores problemas cuando se utiliza una máquina de impresión 3D aditiva es el fenómeno conocido como *warping*. El material de impresión sale del extrusor a una temperatura superior a los 160 grados centígrados, colisiona con la base de deposición que se encuentra a temperatura ambiente o a una temperatura entre 60 y 100 grados centígrados si es la base calefactable. Cuando el material es depositado sobre la superficie de impresión se enfría, sufriendo una reducción de su volumen. Este fenómeno tiene mayor importancia en piezas de gran tamaño o pequeños espesores, ya que debido a la contracción del material debido a la diferencia de temperatura, suelen despegarse las esquinas de las piezas, de la base de deposición.

Con la utilización de la carcasa se obtiene un mayor control sobre la temperatura de impresión, se obtiene una mayor uniformidad de la temperatura y enfriamientos más lentos de la pieza, reduciendo las deformaciones, grietas o distorsiones en las piezas, originadas por las corrientes de aire exterior que generan gradientes de temperatura.

Por lo tanto, un diseño abierto, sin carcasa, dejaría únicamente a la máquina con la estructura y sus componentes. Al no disponer de carcasa los elementos calientes no estarían protegidos, siendo peligroso para el usuario. Además la utilización de esta característica no protege la pieza durante el proceso de fabricación ni tampoco aislaría acústicamente el proceso de fabricación de la pieza. Asimismo permitiría la ventilación de los humos nocivos y olores, siendo de mayor importancia cuando se fabrican piezas en material ABS, pudiendo afectar a los usuarios.

En lo referido a la ergonomía, la carcasa debe ser cómoda y debe estar perfectamente adecuada para el uso y manejo de la misma de una forma segura y práctica para los usuarios.

A continuación se procede a analizar los distintos materiales con los que se puede construir la carcasa. Cabe mencionar que la carcasa se puede construir en muchos otros materiales a parte de los que se analizan en este apartado. Sin embargo, las soluciones propuestas satisfacen las necesidades del proyecto, en cuanto al precio, su obtención y fabricación.

Además todas estas propuestas incluyen oberturas, con paneles de acrílico para visualizar la pieza que se va a fabricar y para obtener un espacio de fabricación totalmente cerrado.

Alternativa 1: Madera

La madera es un material estándar, ecológico, fácil de mecanizar y con un precio muy competitivo. Además debido a su estructura molecular y química posee unas buenas propiedades mecánicas en cuanto a resistencia y rigidez, pero destaca sobre el resto debido a la buena flexibilidad que posee y su capacidad de absorber eficientemente vibraciones. Asimismo, es un material más ligero que el resto de las opciones analizadas. También destaca por ser un buen aislante eléctrico, térmico y acústico.

Por otro lado, es un material frágil, una pequeña fractura puede provocar fallos irreversibles en la estructura, de la misma manera, es un material difícil de reparar. También es un material que se deteriora con el calor en el tiempo si no posee un tratamiento adecuado y es susceptible a químicos.



Figura 23: Carcasa de madera

Alternativa 2: Polimetilmetacrilato

El polimetilmetacrilato (PMMA) es un acrílico que se obtiene de la polimerización del metacrilato de metilo. Es un material que destaca por su alta resistencia al impacto, ser un excelente aislante térmico y acústico y por tener una alta transparencia, que puede ser de numerosos colores. Además resiste a la intemperie y a los rayos ultravioleta.

También destaca en su ligereza y en poseer una dureza similar al aluminio. Igualmente destaca por su gran facilidad de mecanización y moldeo. Del mismo modo, es fácil de reciclar y posee una buena estabilidad térmica.

Sin embargo, el Polimetilmetacrilato es un material frágil, difícil modificar o reparar en caso de un defecto. Además se raya fácilmente y es combustible, no se apaga al ser retirado del fuego. Pese a presentar una gran resistencia ante ataques químicos, es atacado por otros, entre ellos la acetona, ácido acético o el ácido sulfúrico, entre otros.



Figura 24: Carcasa aluminio- acrílico

Alternativa 3: Aluminio

El aluminio es el metal que más se utiliza después del acero, debido a las buenas propiedades mecánicas que tiene. Destaca por su ligereza, sobre un tercio del peso del cobre o el acero, su resistencia a la corrosión y su ductilidad.

Es un material resistente a los impactos y altamente estable. Posee una mayor rigidez que el resto de opciones analizadas. Asimismo, es un material fácil de ensamblar y puede ser conformado en frío, a diferencia del resto de opciones analizadas. Además es un buen conductor del calor y de la electricidad.

No obstante, esta solución otorga de un mayor peso a la carcasa y un precio superior, comparado con la madera o el PMMA.

Para su construcción se selecciona la misma plancha de aluminio utilizada en la estructura, también se selecciona PMMA para la puerta de la máquina, de tal manera que se pueda visualizar la pieza que se va a fabricar.



Figura 25: Carcasa metálica

Con el fin de seleccionar la mejor alternativa, se realiza una matriz de selección utilizando como criterios de selección los mostrados en la tabla 8, se toma como referencia la opción de PMMA para proceder con la comparativa.

Tipo	Polimetacrilato	Madera	Aluminio
Rigidez	0	-1	+1
Fabricación	0	+1	0
Coste	0	+1	-1
Durabilidad	0	-1	+1
Aislamiento	0	-1	-1
Total	0	-1	0

Tabla 8: Matriz de decisión para la carcasa

Tras realizar una comparativa obtenemos que la carcasa metálica y la de Polimetacrilato son muy similares. Sin embargo, en ambas opciones requerimos de paneles de acrílico y de un chasis para poder fabricar la máquina de impresión. Por lo tanto nos decantaremos por la opción de carcasa de aluminio por una razón estética, al poder obtener formas redondeadas de forma sencilla, mediante deformación plástica.

4.3.1.4 BANCADA

La bancada del diseño final de la impresora engloba aquellos elementos que soportan el resto de piezas que componen tanto los tres ejes de movimiento como los dispositivos electrónicos y la bobina. El primer factor que se ha estudiado para el diseño de la estructura es el material. Las opciones que se han considerado para el análisis son realizar una estructura metálica, de aluminio o acero, de plástico o de madera. Finalmente, el material que se utiliza para los perfiles estructurales es el aluminio. Esto es debido a que, aunque los chasis de metal son más caros y pesados, suponen un conjunto de ventajas respecto a las impresoras construidas con madera o plásticos.

La principal desventaja que suponen los chasis de madera es que estos se deforman ligeramente con el tiempo. Esta deformación dificulta la calibración y por tanto la precisión dimensional de las piezas. Actualmente también existen impresoras formadas por marcos de metacrilato. Sin embargo, el aluminio presenta una rigidez mayor en comparación con este material. Se ha considerado el aluminio mejor opción que el acero, ya que es un metal más ligero, económico y por disponibilidad, ya que existe una gran variedad de perfiles estructurales de aluminio.

4.3.2 ALMACENAR MATERIAL

El material de impresión, mediante el cual se fabricaran las piezas, es un filamento de plástico de material PLA o ABS de un espesor de 1,75mm o 3mm, en función del extrusor elegido, con unas características mecánicas y un color, determinados. El material se comercializa habitualmente en forma de bobinas, donde se encuentra el filamento enrollado. Mediante un mecanismo de accionamiento o un motor, se desenrolla la bobina y abastece material hacia una boquilla de extrusión.

Cabe destacar la tolerancia del grosor nominal del filamento marcada por el fabricante. Un diámetro más variable da como resultado una calidad inferior y un peor control dimensional de la pieza, mientras que con filamento de diámetro estable se minimiza los problemas de control dimensional y acabado.

En función del material que se va utilizar y del proveedor que suministra el producto, se encuentran diferentes tamaños de bobina.

En comparación con otras impresoras comerciales, que requieren bobinas especiales de un proveedor determinado, para este proyecto se ha determinado la utilización de bobinas comerciales estándar, ya que su obtención es mucho más sencilla y existe libertad de elección, al existir diferentes proveedores. De este modo el usuario tiene libertad de elección entre distintos proveedores y de total independencia de marcas comerciales.



Figura 26: Bobina filamento estándar junto con una bobina de filamento de la empresa 3D SYSTEMS para su modelo Cube 3

Existen una serie de parámetros a la hora de elegir una bobina que determinarán si es compatible con la impresora donde se va a colocar. Por una parte se encuentra el diámetro exterior y el ancho de la bobina, éstos están determinados por las dimensiones máximas que dispone la máquina para su colocación. Por otra parte, el diámetro del agujero, este parámetro viene influenciado por el tipo de soporte que disponga la máquina para sujetar la bobina, elemento que será analizado con detalle en el apartado de diseño al detalle.

4.3.3 DISPENSAR MATERIAL

Existen diferentes concepciones a la hora de diseñar el extrusor de una impresora 3D.

El sistema de extrusión directa es la solución de diseño más simple para satisfacer la necesidad de dispensar filamento de impresión. En este sistema, el motor de extrusión se encuentra dispuesto por encima del fundidor, a escasa distancia, tal y como se muestra en la figura 27. El filamento avanza de forma directa desde el motor de arrastre hasta la boquilla pasando por el *hot end* (calentador) previamente.

Entre las principales ventajas de este diseño destaca la escasa distancia entre el mecanismo de impulsión del filamento y el dispositivo fundidor, obteniendo una respuesta para la retracción del material de impresión muy rápida. El extrusor hace sufrir a la fibra un efecto de compresión, el cual si ésta es demasiado larga se puede multiplicar.

Además se obtiene un diseño de extrusor más compacto, albergando en un mismo el mismo conjunto el mecanismo de dispensación y fundición de filamento.

Sin embargo, el uso de este planteamiento también tiene sus inconvenientes, siendo el conjunto más pesado. La característica del peso repercute en la fuerza necesaria para realizar los movimientos, requiriendo mayor potencia de los motores para realizar la tarea. Además el conjunto dispone de mayores inercias cuando se ejecutan los desplazamientos, pudiendo afectar al control dimensional y precisión de la pieza impresa.

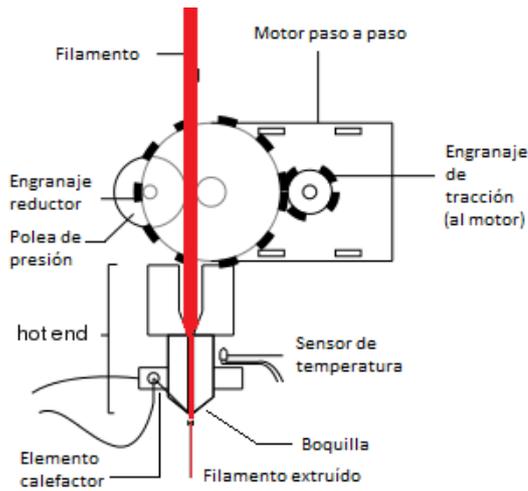


Figura 27: Extrusor directo

La figura 27 ilustra el funcionamiento de un extrusor directo habitual. Donde un motorreductor desplaza el filamento hacia el fundidor, donde se funde el material de deposición.

Por otra parte se encuentra el sistema de extrusión conocido como Bowden. Su diseño es similar a la extrusión directa en cuanto a los elementos que incorpora, pero a diferencia del sistema de extrusión directa, la disposición de los componentes varía. En este diseño, el mecanismo de extrusión y el fundidor se encuentran separados, tal y como muestra la figura 28.

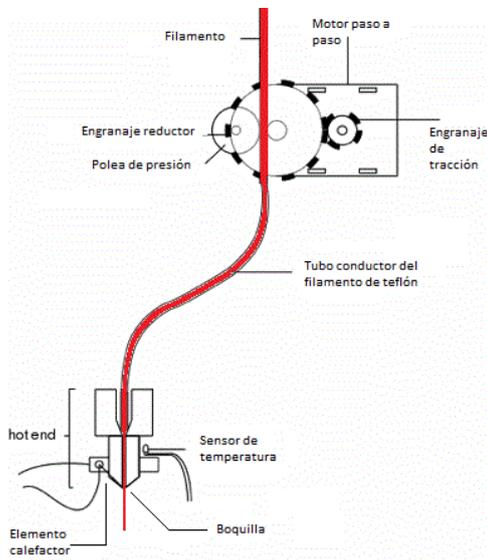


Figura 28: Extrusor Bowden

El término Bowden se refiere a la funda de los cables de freno de las bicicletas en inglés y esa es precisamente la característica principal de este sistema.

La unión entre el mecanismo de extrusión y el fundidor se realiza a través de un tubo PTFE, u otro material que tenga un bajo coeficiente de rozamiento. El tubo debe ser flexible, ya que a pesar de estar parado el extrusor, el fundidor se encuentra en continuo movimiento.

Como ventajas se puede mencionar la reducción de peso del conjunto en movimiento, al estar separado el motor de extrusión del hot end, éste último elemento es el único que se encuentra en movimiento, siguiendo las trayectorias pertinentes. Al poseer un menor peso el sistema, se requiere de menor potencia para desplazar el cabezal de deposición, mayor ahorro energético, y permitir mayores velocidades de extrusión, al disponer de una menor masa en movimiento.

Entre sus inconvenientes se podría mencionar la complejidad de montaje y la posibilidad de sufrir un retraso en la retracción de extrusión y la recuperación del filamento, debido a la distancia entre los componentes de extrusión y fundición. Además su diámetro debe estar perfectamente diseñado para evitar los siguientes problemas:

- Si el diámetro del tubo es demasiado pequeño o el plástico sufre variaciones de diámetro, el filamento podría quedarse atascado dentro y no realizar la extrusión.
- Si el diámetro del tubo es demasiado grande entonces la transmisión del movimiento no es idéntica, ya que existe cierta libertad de movimiento dentro del tubo. Este fenómeno afecta a la calidad de extrusión, quedando hilos y pequeños defectos en la pieza.

Por lo tanto, es una solución de diseño más sensible a los fallos.

En la tabla comparativa 9 se toma como referencia el sistema de extrusión directa para determinar que alternativa de diseño es más óptima.

Criterio	Extrusión directa	Extrusión Bowden
Precisión	0	+1
Precio	0	-1
Rendimiento	0	+1
Montaje	0	-1
Velocidad máxima de impresión	0	+1
Total	0	+1

Tabla 9: Matriz de decisión para el diseño del sistema de extrusión

A pesar de los inconvenientes que supone la utilización de un sistema de extrusión tipo Bowden, para las necesidades requeridas se concluye que es la solución más acertada, gracias a la posibilidad de equipar motores de menor potencia y poder extruir a mayores velocidades.

Para guiar el filamento a la boquilla, se utiliza un mecanismo de extrusión de manera remota a la boquilla donde el filamento será calentado y depositado sobre una base. Existen diferentes opciones para realizar dicha tarea, a continuación se analizan las distintas alternativas.

Alternativa 1: Sistema embolo–jeringa

Este sistema de extrusión , también conocido como *paste extruder*, consiste en un sistema de inyección que controla la cantidad de material depositado a través de la presión ejercida por el émbolo de una jeringuilla, tal y como se muestra en la figura 29. El émbolo es accionado a través de un motor lineal.

Una de las ventajas que se destaca en la utilización de este sistema es principalmente la posibilidad de imprimir una gran variedad de materiales, cualquier material que pueda fluir y que al depositarse pueda mantener la forma en las sucesivas capas será válido para la impresión, como cerámicas o materiales comestibles. Por lo tanto, mediante esta solución se pueden extrudir materiales plásticos sin que éstos tengan que venir en formato de hilo como es habitual.

Además esta alternativa ocupa un espacio reducido, en comparación con el resto de soluciones. Destaca su facilidad de fabricación, montaje y reparación, debido al reducido número de piezas que requiere para su funcionamiento. Cabe señalar la facilidad de modificación, al permitir adaptar puntas de diferentes diámetros a la jeringa se pueden obtener diferentes espesores de capa.

Sin embargo también presentan desventajas, por ejemplo la alimentación del sistema, que no es continua. Del mismo modo, la precisión que presenta es inferior que el resto de alternativas. Por último destacar la imposibilidad de utilizar materiales de ingeniería como los polímeros ABS y PLA. Para poder extruir el material de fabricación mediante esta solución se requiere un aporte de calor permanente para mantener una viscosidad determinada, y los materiales requeridos poseen una temperatura de transición vítrea elevada que hace inviable la implementación de esta alternativa de diseño.

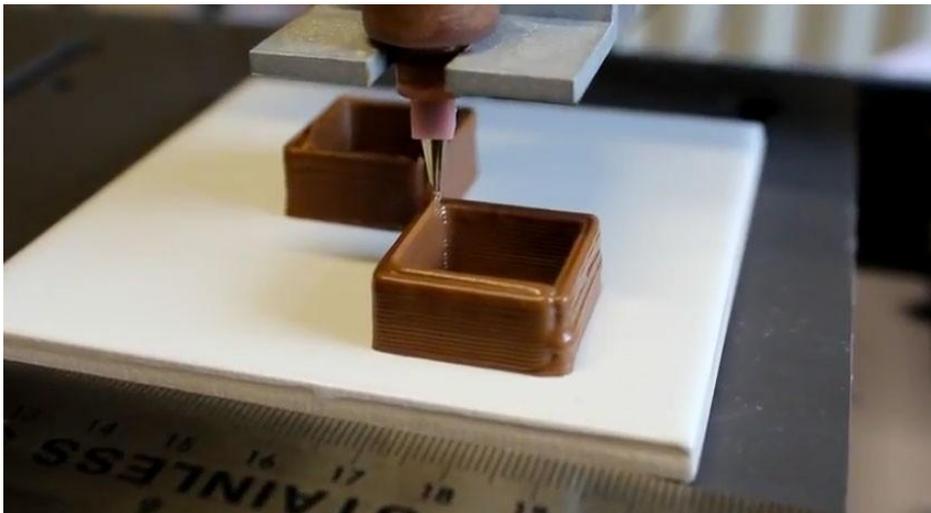


Figura 29: Extrusión de chocolate

Alternativa 2: Sistema de tornillo sin fin

Esta unidad de accionamiento se basa en el empuje que ejerce un tornillo sin fin, generado por la acción giratoria del mismo, donde el filamento polimérico es conducido.

El filamento de polímero entra a través de un agujero, contactando con el tornillo sin fin en funcionamiento, cuyo movimiento se debe a la acción de un motor al que va acoplado, tal y como se observa en la figura 30. La fuerza tangencial que crea es suficiente para desplazar y forzar al filamento polimérico a pasar a través del conducto a una velocidad determinada. La velocidad del salida del filamento es dependiente de la velocidad y el par ejercido por el motor que acciona el tornillo sin fin.

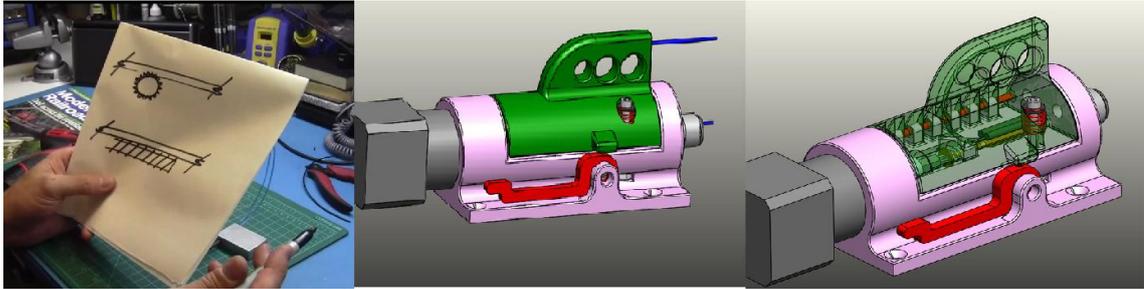


Figura 30: Extrusor basado en tornillo sin fin

Algunas de las ventajas que ofrece este tipo de sistema es la capacidad de proveer fuerzas significativamente más altas los extrusores tradicionales debido al aumento del número de dientes en contacto con el filamento. Asimismo, permite la posibilidad de proveer al sistema de forma continua. A diferencia del sistema émbolo-jeringa, esta solución permite el uso de ABS y PLA a temperatura ambiente. Además es un sistema relativamente fácil de fabricar y montar, pero requiere un mayor trabajo de diseño que el resto de sistemas analizados. También posee una mayor eficiencia y precisión que el sistema émbolo- jeringa.

La problemática de esta solución se encuentra en la dificultad de modificar el sistema para poder utilizar diferentes diámetros de filamento y su complejidad de diseño. Por último cabe destacar que existe una mayor probabilidad de atasco que en la anterior alternativa propuesta.

Alternativa 3: Sistema de ruedas motrices

En este sistema de abastecimiento de material, el filamento polimérico es suministrado a través de ruedas dentadas. Existen diferentes alternativas para realizar la misma función: un sistema con una rueda conductora o un sistema con dos ruedas propulsoras. El problema de utilizar dos ruedas conductoras es la necesidad de disponer de dos motores para su accionamiento. Por este motivo, La solución que vamos a analizar consta de una rueda impulsora y otra conducida.

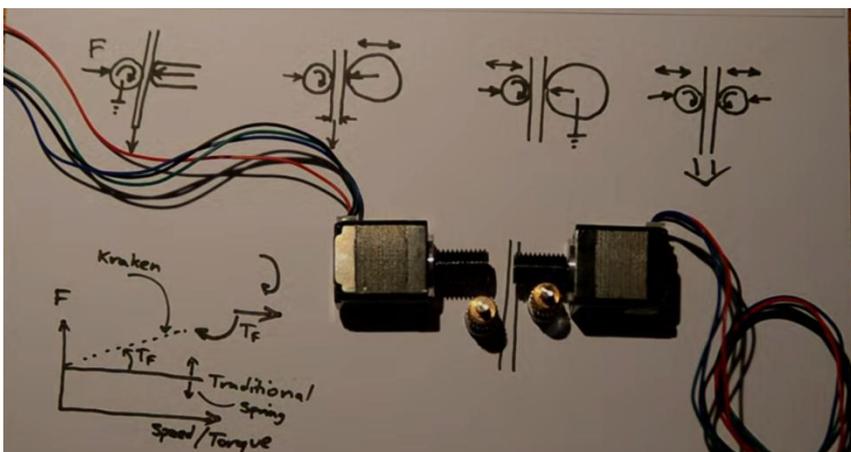


Figura 31: Sistema de extrusión basado en ruedas motrices

La rueda motriz puede ser propulsada a través de diferentes sistemas de desmultiplicación que se conectan al motor. La desmultiplicación puede obtenerse a través de un tren de engranajes, aunque de forma habitual suele utilizarse un tornillo sin fin debido al alto ratio de desmultiplicación que puede obtenerse.

Por lo tanto, la velocidad de extrusión dependerá de la relación de transmisión que se elija y de las características del motor seleccionado.

Asimismo, permite la posibilidad de proveer al sistema de forma continua. Al igual que la alternativa de tornillo sin fin descrita anteriormente, esta solución permite el uso de ABS y PLA a temperatura ambiente. También es un sistema relativamente fácil de fabricar y montar. Igualmente, posee una mayor eficiencia y precisión que el sistema émbolo- jeringa.

La problemática de esta solución se encuentra en la dificultad de modificar el sistema para poder utilizar diferentes diámetros de filamento y su complejidad de diseño. Por último cabe destacar que existe una mayor probabilidad de atasco que en la primera alternativa propuesta.

En la tabla 10 se procede a comparar las alternativas anteriormente explicadas mediante una matriz de decisión, tomando como referencia el sistema de extrusión émbolo-jeringa en función de los criterios que se muestran a continuación:

Criterio	Émbolo-jeringa	Tornillo sin fin	Ruedas motrices
Alimentación	0	+1	+1
Montaje	0	-1	+1
Coste	0	-1	+1
Peso	0	-1	0
Precisión	0	+1	+1
TOTAL	0	0	4

Tabla 10: Selección de alternativas del mecanismo de extrusión

De la tabla 10 se concluye que la alternativa basada en el sistema de ruedas motrices es el sistema más óptimo en base a los criterios establecidos anteriormente. Este mecanismo extrusor posee una configuración bastante fiable de montaje y desmontaje, reducido peso y bajo precio.

4.3.4 FUNDIR MATERIAL

El *hot end* es el dispositivo de la impresora 3D encargado de calentar y fundir el filamento polimérico para que sea depositado a través de una boquilla extrusora. El diseño de este elemento es crítico ya que de éste dependerá la calidad de impresión, que es función de velocidades y temperaturas del sistema así como del diámetro de la boquilla.

Su funcionamiento habitual se basa en el calentamiento de un resistencia mediante el paso de corriente. El filamento sólido se introduce dentro de la cámara a través de un agujero y es fundido por la acción de la temperatura.

El filamento fundido sale de la cámara de calentamiento a través del otro agujero que incorpora el *hot end*. El agujero de salida, conocido como boquilla de salida, es un cono donde llega el material caliente (derretido) por su parte más ancha, se acumula y mantiene caliente, y es evacuado por un pequeño agujero en su parte más pequeña. El diámetro de esta abertura suele encontrarse desde 0,2 a 0,5 mm en función del material y diámetro, así como el espesor requerido por capa, por ejemplo en el caso del modelo Prusa i3 es de 0.4 mm.

Cabe destacar la importancia de cablear correctamente las resistencias y que el conjunto sea tan estable como sea posible, para evitar en la mayor medida posible las vibraciones.

Para obtener una medida de la temperatura de la boquilla, se utiliza un sensor de temperatura. Como indica su nombre, este elemento se encarga de medir la temperatura y comunicar los datos obtenidos al sistema de control de la impresora, para que se lleve a cabo el correcto control de la temperatura del extrusor, que será la temperatura a la que el filamento es extruido por la boquilla.

Suele emplearse un termistor, colocado habitualmente cerca de la boquilla, o bien un termopar. Destacar que el sensor debe ser capaz de soportar las altas temperaturas a las que es expuesto.

Otro aspecto relevante es el aislamiento térmico del conjunto *hot end*. Las diferentes partes que lo componen suelen realizarse con materiales con buenas propiedades de conductividad térmica, sin embargo, esta característica puede convertirse en un inconveniente. Cuando las resistencias calientan la superficie donde fluye el filamento, el calor emitido se propaga mediante conducción térmica, pudiendo alcanzar algunas partes fabricadas en plástico, por lo que pueden llegar a deformar o a fundirse. Asimismo, el calor puede provocar la fundición del filamento en zonas no controladas, pudiendo taponar todo el cabezal. Por este motivo, en muchas ocasiones los diseñadores optan por el uso de ventiladores, materiales aislantes o la adición de una mayor superficie de conducción en zonas específicas, para minimizar estos problemas y tener una mejor distribución de la temperatura en las distintas zonas.

Como se ha mencionado en el alcance del proyecto y debido a la dificultad de adquisición de ciertos materiales presentes en la elaboración de un mecanismo para fundir el material de impresión, se limita a seleccionar un mecanismo de extrusión existente en el mercado.

Los criterios para escoger la mejor alternativa son el precio, el peso, el diámetro del filamento, temperatura máxima, resolución y rendimiento energético.

Existen diferentes concepciones de diseño para el conjunto *hot end*, sin embargo se selecciona la tipología J-Head. Este *hot end* posee un diseño compacto y muy ligero, con un peso inferior a 25 gramos. Su diseño es simple, ya que utiliza un menor número de piezas que el resto de alternativas. Además, es un sistema fiable y su desmontaje es sencillo. En apartado de diseño al detalle se definirá la alternativa comercial para el fundidor.

4.3.5 MOVIMIENTO RELATIVO ENTRE LA PIEZA Y EL EXTRUSOR

La selección de los diferentes sistemas de transmisión de movimiento relativo entre la pieza de fabricación y el extrusor viene limitada por la decisión adoptada para los movimientos del cabezal y extrusor escogidos en el apartado 4.3.1.1 donde se define la disposición de los ejes.

La transmisión de movimiento al cabezal y la bandeja de deposición determina la precisión de fabricación de la pieza, control dimensional, peso de la máquina, fiabilidad, mantenimiento, potencia requerida del equipo, motores necesarios... Es decir, es un sistema con una gran influencia en el diseño de una impresora 3D.

A continuación se procede a analizar las principales soluciones de diseño para realizar esta función.

Alternativa 1: Piñón – Cremallera

Este mecanismo permite transformar el movimiento giratorio del piñón, el elemento motriz, en un movimiento de traslación en la cremallera, elemento móvil o conducido, mediante una unión engranada, provocando su desplazamiento lineal.

Aquello que se desea desplazar va acoplado a la cremallera, de este modo, cuando la cremallera se desplaza, el conjunto acoplado se desplaza a la misma velocidad.



Figura 32: Piñón-cremallera

Las ventajas que se destacan en la utilización de este sistema son principalmente la ventaja mecánica que puede llegar a desarrollar, siendo su relación de transmisión constante incluso transmitiendo grandes potencias entre los ejes, y la posibilidad de fabricarse en varios materiales.

Sin embargo, su fabricación es más compleja en comparación con el resto de opciones que se analizan. Además, la precisión de movimiento que se obtiene está relacionada con la calidad de fabricación de los elementos. Otro aspecto a destacar es la necesidad de disponer de un sistema de lubricación adecuada para evitar el desgaste prematuro de los dientes y reducir el ruido de funcionamiento. Por estos motivos expuestos, el sistema tiene un alto coste.

Alternativa 2: Poleas - Correa de sincronización

Sistema de transmisión entre ejes y árboles caracterizado por el uso de una correa y dos o más poleas unidas fijas a los árboles o ejes entre los que se desea transmitir.

El sistema básico de transmisión se basa en la transmisión de potencia en el empuje de los dientes, de forma similar a una transmisión por engranajes, salvo que en este caso se tiene mucha más flexibilidad en la transmisión gracias a la propia correa.

La polea acanalada transmite el movimiento rotatorio a otra polea, que es conducida. Ambas poleas se encuentran separadas a una distancia entre centros prefijada por el diseño y a través de una correa de sincronización se transmite el movimiento.

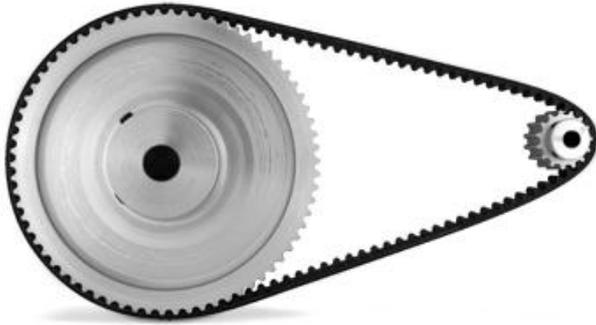


Figura 33: Transmisión Polea- Correa

Algunas de las ventajas de este tipo de solución son el elevado rendimiento que se obtiene (0.98), permite alcanzar velocidades elevadas en sus ramales (hasta 50 m/s), permiten una relación de transmisión constante y no requiere de un pretensado elevado para poder transmitir potencia entre ejes. Además, su funcionamiento es más silencioso, ya que permite absorber choques en la transmisión, debido a la elasticidad de la correa. Asimismo, los costes de adquisición son menores que en el caso de engranajes y precisa de poco mantenimiento, al no requerir lubricación, como sí ocurre en la solución anterior.

Sin embargo, algunas de sus desventajas son: tener un deterioro mayor que los engranajes, en función de los factores ambientales que sufre como humedad, polvo, lubricantes, luz solar,...etc, y la necesidad de disponer de un correcto alineamiento y sujeción de las poleas para evitar sobrecargas y fallos prematuros.

Alternativa 3: Tornillo de potencia

Se trata de un sistema de transmisión que transforma un movimiento rotativo producido por un tornillo o husillo dispuesto de modo que sólo puede girar, en un movimiento lineal a través de una tuerca que se desplaza longitudinalmente en relación con el husillo, al tener limitado su giro.

Los movimientos de rotación y traslación están relacionados por el paso de rosca del tornillo. Gracias a ello los tornillos de potencia son mecanismos de transmisión capaces de transformar un movimiento de rotación en otro rectilíneo y transmitir potencia.

En general los tornillos de potencia son mecanismos irreversibles, de modo que el giro del tornillo hace avanzar la tuerca, pero el desplazamiento de la tuerza es incapaz de hacer girar el tornillo, debido al desfavorable ángulo de transmisión del sistema en este sentido.

Los principales tipos de roscas que se emplean en este sistema de transmisión son:

- Rosca cuadrada: en cuanto a fricción por deslizamiento presenta una buena eficiencia, pero baja ventaja mecánica y difícil de maquinar. Elevado coste.
- Rosca ACME: utilizada en las máquinas-herramienta.
- Rosca trapezoidal: es más sencilla de maquinar y a menor coste que las roscas cuadradas. Diseñada para resistir cargas en una dirección.
- Rosca cuadrada modificada: mayor facilidad de maquinado y misma eficiencia a la rosca cuadrada.
- Rosca ACME truncada: cuando se requiere paso grande con rosca poco profunda debido a algún tipo de tratamiento térmico.

Los tipos de roscas utilizados frecuentemente en los tornillos de potencia son la cuadrada y la ACME. La rosca cuadrada es la que posee mayor rendimiento, aunque se prefiere comúnmente la rosca ACME, con un ángulo de 29° , por su buen ajuste. Además la rosca cuadrada no está normalizada mientras que la ACME sí, por lo tanto, su construcción es más fácil de realizar mediante los procedimientos de fabricación existentes.

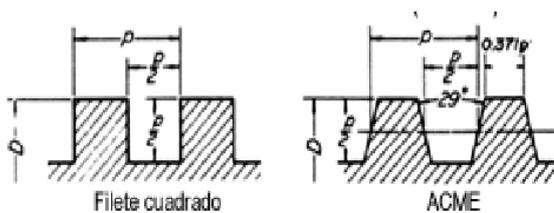


Figura 34: Rosca cuadrada y rosca ACME

La utilización de un mecanismo de tornillo de potencia presenta una serie de ventajas sobre las otras soluciones, como la elevada ventaja mecánica que posee, la posibilidad de fabricar la tuerca en diferentes materiales, reduce el precio de fabricación y la posibilidad de auto bloquearse cuando cesa la carga. Cabe destacar que la ventaja mecánica no es factor trascendental, ya que las cargas que hay que vencer son pequeñas.

La utilización de un mecanismo de tornillo de potencia presenta una serie de ventajas sobre las otras soluciones, como la elevada ventaja mecánica que posee, la posibilidad de fabricar la tuerca en diferentes materiales, reduce el precio de fabricación y la posibilidad de auto bloquearse cuando cesa la carga.

Sin embargo también presenta desventajas, los elementos trabajan con un roce elevado, por lo que la eficiencia, el desgaste y el calentamiento son consideraciones importantes para su diseño, además de las consideraciones de resistencia mecánica, donde entra en juego el estado de esfuerzos involucrados como resultado del estado de cargas actuante en el punto crítico. Algunas de estas desventajas puede solventarse por medio de un husillo de bolas, que tiende a disminuir el rozamiento y por tanto a incrementar la eficiencia, este último mecanismo se analizará en el apartado de sistemas de guiado.



Figura 35: Tornillo de potencia

Existe una variación del tornillo de potencia, el husillo de bolas. El principio de funcionamiento es similar al del tornillo de potencia, con la diferencia de que el contacto entre tuerca y tornillo es a través de elementos rodantes en lugar del contacto directo. Mediante este sistema se obtiene una eficiencia elevada y puede emplearse en motores con pares de arranque pequeños. Sin embargo, el mecanismo requiere de una buena lubricación y no puede auto bloquearse, ya que debido a su alta eficiencia, la carga tiende a bajar por sí sola, siendo necesario instalar un freno externo.

Con el fin de seleccionar la mejor alternativa, se realiza una matriz de decisión utilizando como criterios de selección los mostrados en la tabla 11 y tomando como referencia la opción de piñón-cremallera.

CRITERIO	Piñón Cremallera	– Poleas - Correa de sincronización	Tornillo de potencia
Costo	0	1	1
Precisión	0	0	1
Velocidad	0	1	0
Potencia	0	-1	0
Implementación	0	1	1
Eficiencia	0	1	0
Total	0	3	3

Tabla 11: Selección de las alternativas de los mecanismos de transmisión

De la tabla 11 se concluye que el mecanismo de transmisión por correa y el mecanismo de tornillo de potencia son los más idóneos para el sistema de movimiento. Sin embargo, el mecanismo de correas no es recomendable usarlo verticalmente por evitar sobrecargar el eje del motor y no tener que recurrir a otros elementos mecánicos adicionales, por este motivo, se empleará este mecanismo para desplazar cargas en los ejes horizontales X e Y.

Para el desplazamiento a lo largo del eje Z se selecciona la alternativa correspondiente al mecanismo tornillo de potencia, conforme a los tipos de roscas analizado. Ya que tiene la gran ventaja de poder autobloquearse en caso de cesar la carga que lo acciona.

Por condiciones de diseño se selecciona la Rosca ACME, ya que resulta ser la adecuada para aplicaciones donde se requiere de precisión en el desplazamiento y la facilidad de fabricación debido a su diseño y bajo costo.

4.3.5.2 SISTEMA DE GUIADO

Para materializar el movimiento realizado por los mecanismos de transmisión seleccionados en el apartado anterior, se requiere la implementación de un sistema de guiado, formado por un eje o guía junto con un casquillo, rodamiento o husillo.

Los diferentes mecanismos de guiado seleccionados deben atender a las siguientes características:

- Estar completamente libres de lubricación, con el objetivo de minimizar el mantenimiento del de la máquina.
- Ser resistentes . Todos los componentes deben ser capaces de mantener sus propiedades bajo las condiciones de trabajo de la máquina y soportar las cargas para las que han sido diseñados.
- Ser precisos. La precisión del movimiento de los componentes afecta al acabado y control dimensional de las piezas a fabricar, por lo tanto, el sistema de guiado debe brindar soporte y estabilidad a los componentes de la máquina en el desplazamiento de los elementos móviles en sus ejes.
- Ser silenciosos. Uno de los objetivos de diseño de la máquina es minimizar los niveles de sonoridad.
- Ser ligeros. La máquina debe ser tan ligera como sea posible. Además el peso de los componentes con movimiento influye negativamente en las fuerzas que debe soportar la máquina.
- Guiar los elementos móviles con la menor fricción.

A continuación se nombran los distintos sistemas de guiado en función del tipo de movimiento a transmitir:

Guiado de rotación

A su vez, la unión de piezas por pares cinemáticos de rotación puede clasificarse en dos grande grupos: cojinetes y rodamientos.

Un cojinete es un sistema para realizar un par cinemático de revolución entre dos piezas entre las que existe un movimiento relativo de rotación, basado en el contacto directo friccionante entre las dos piezas sin interposición de elementos rodantes.

Para reducir las pérdidas por rozamiento en los cojinetes se procura usar parejas de materiales con coeficiente de fricción reducido o interponer entre las piezas un lubricante, que puede ser sólido (como el grafito o el teflón), líquido (como el aceite) o gaseoso (como el aire a presión). En función del sistema de lubricación empleado se distinguen tres tipos básicos de cojinetes de fricción:

- Cojinetes autolubricantes, que no requieren lubricación externa.
- Cojinetes con lubricación periódica, que requieren un pequeño aporte de lubricante periódicamente.
- Cojinetes con lubricación permanente, que pueden ser:

- Cojinetes hidrostáticos, en los que el lubricante es introducido a presión con una bomba externa.
- Cojinetes hidrodinámicos, en los que el lubricante adquiere presión a partir del movimiento relativo de rotación entre las dos piezas del cojinete.

Los cojinetes presentan ciertas ventajas respecto a los rodamientos: Un peso más reducido, ocupan un menor espacio en sentido radial, permite alcanzar mayores velocidades de rotación, más silenciosos, su instalación es más sencilla y poseer una mayor capacidad de tolerar choques.

Por otra parte, los rodamientos son elementos mecánico que se colocan entre dos partes (una o las dos móviles) permitiendo un movimiento de rotación entre ambas con un bajo rozamiento. Este elemento está formado por un par de cilindros concéntricos, separados por un juego de rodillos o bolas que giran de forma libre.

En función del tipo de esfuerzo que deben soportar en su funcionamiento existen diferentes clases: Rodamientos axiales, radiales y axiales-radiales. Además, en función de la forma que tenga elemento rodante que incorpora existe otra clasificación: Rodamientos de rodillos, de bolas y de agujas.

Los rodamientos presentan ciertas ventajas respecto a los cojinetes: Menores fuerzas de rozamiento y menor generación de calor, son menos sensibles a interrupciones en la lubricación y poseen una gran capacidad de carga portante por unidad de anchura del rodamiento. Sin embargo, los rodamientos son más ruidosos, ocupan mayor espacio y presentan una elevada sensibilidad a las cargas de impacto en comparación con los cojinetes.

Guiado de traslación (Guías lineales)

Una guía lineal es un sistema de guiado empleado en máquinas y otros productos para permitir el movimiento de traslación relativa entre dos piezas. Corresponde a una materialización práctica de un par cinemático de tipo prismático.

Un sistema de guiado lineal debe favorecer la traslación entre las piezas introduciendo las menores pérdidas por fricción posibles y al mismo tiempo resistir las fuerzas actuantes en dirección perpendicular a la trayectoria y los momentos en las tres direcciones del espacio. Existen diferentes sistemas de guido lineal, dependiendo de la forma de resolver el par prismático entre las dos piezas principales del sistema:

- Guía lineal de contacto deslizante: El contacto entre los dos componentes del par prismático es directo o con interposición de alguna camisa o recubrimiento con bajo coeficiente de fricción.
- Guía lineal de contacto rodante: Se interpone algún o algunos elementos rodantes (bolas, rodillos o ruedas) entre los dos componentes del par prismático, lo que permite reducir las pérdidas por fricción respecto al contacto deslizante y con bajos niveles de sonoridad. Existen diferentes ejecuciones comerciales:

- Guía lineal de jaula: Estas guías lineales constan de un sistema de placas con jaulas planas de agujas, de rodillos cilíndricos o de bolas, dispuestas entre los carriles.
- Guía lineal de recirculación: Las guías lineales con patines con recirculación a bolas se componen de patines con recirculación, carros de guiado y carriles-guía.
- Guía lineal de rodillos guía: Las guías lineales con rodillos-guía son guías longitudinales que permiten un movimiento lineal, rodando sobre un eje-guía.
- **Guía lineal hidrostática**: Se interpone algún fluido a presión (aire, aceite, etc) entre los dos componentes del par prismático, para evitar el contacto directo entre sólidos, lo que permite reducir considerablemente las pérdidas por fricción.

Cada tipo lineal tiene propiedades características, que lo hacen especialmente idóneo para determinadas rodaduras. Sin embargo, puede determinarse que los sistemas

Selección de los sistemas de guiado

Tras analizar los diferentes sistemas de guiado que pueden instaurarse en la máquina, se tiene una visión global del conjunto de sistemas de guiado existentes y así realizar una selección adecuada.

Para el guiado rotacional de la máquina se decide instalar casquillos autolubricados para el deslizamiento de las guías del sistema de movimiento del cabezal de extrusión. A su vez, la bandeja de impresión, el sistema para el empuje de filamento y el carro central del sistema de extrusión, se requiere rodamientos, cuyas especificaciones se detallarán en el apartado de la memoria descriptiva.

Para el guiado de traslación del extrusor se decide utilizar un sistema de guía lineal de contacto deslizante, por motivos económicos y de mantenimiento, a pesar de ser un sistema más ruidoso que el guiado lineal de contacto rodante.

Para el movimiento en el eje Z de elevación de la cama de impresión se utiliza un conjunto de tuerca husillo acompañado de dos guías cilíndricas con dos guías lineales de recirculación de bolas.

4.3.5.3 ACTUADORES

Para analizar las distintas opciones que existen para generar el movimiento en cada uno de los ejes de la máquina, es necesario tener en cuenta algunas limitaciones. Tal como se indica en el apartado de las especificaciones de la máquina, el dispositivo propulsor debe ser capaz de transformar la energía eléctrica en energía mecánica, satisfaciendo los requerimientos requeridos por la máquina.

Debido a los bajos requerimientos de potencia del sistema, solo se considerará los motores de corriente continua.

Para elegir que tipología de motor seleccionar, se realiza una comparativa entre los motores paso a paso y los servomotores de corriente continua. A continuación se analizan las alternativas correspondientes:

Alternativa 1: Motor paso a paso

Un motor paso a paso es un motor de continua sin escobillas que divide una rotación entera en un número igual al número de pasos. Este tipo de motores son dispositivos electromecánicos con una alta precisión en su movimiento, ideales para aquellos mecanismos en los que se requieren movimientos muy precisos y una buena regulación de velocidad.

Estos motores están constituidos por un rotor, que puede ser un imán permanente o simplemente un rotor de hierro que gira para que haya siempre la reluctancia mínima para el flujo magnético que es producido en el estator, donde se encuentra un cierto número de bobinas excitadoras bobinadas.

La característica principal de este tipo de motores es la capacidad de convertir impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos, con lo cual el movimiento del eje es controlado mediante un tren de pulsos eléctricos con una secuencia y frecuencia determinada por un controlador. Según la secuencia de impulsos, el rotor gira en un sentido u otro y en función de la frecuencia de los impulsos, podemos regular la velocidad.

Generalmente, el rango de giro de este tipo de motores se encuentra entre $1,8^\circ$ y 90° . Teniendo en cuenta que una revolución completa tiene 360° , en el primer caso se requiere de 200 pasos para completar una revolución y en el segundo caso se necesita realizar 4 pasos.

Estos motores constan de dos partes claramente diferenciadas, una parte fija, correspondiente al estator, y una móvil, llamada rotor. El estator se encuentra en la periferia del motor, donde se encuentran las bobinas encargadas de generar el flujo principal. El rotor se encuentra en el centro del motor y su función es responder ante la excitación del estator, generando un movimiento de rotación

Imán permanente

Este tipo de motores paso a paso, el rotor es un imán permanente, magnetizado radialmente en una serie de polos, y en el estator se dispone de un número determinado de bobinas excitadoras. Este tipo de motores se pueden clasificar en Unipolar o bipolar.

- **Unipolar:** Se caracteriza por disponer de un doble arrollamiento en sus bobinas, siendo innecesario invertir la polaridad. Este tipo se caracteriza por ser más simple de controlar. Se caracterizan por la presencia de 5, 6 u 8 cables de salida, en función de su conexionado interno.

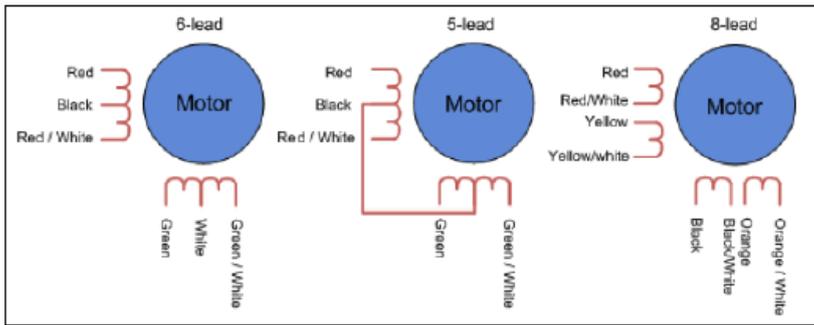


Figura 36: Motor de imán permanente unipolar

Existen tres secuencias posibles para este tipo de motores, las cuales se detallan a continuación:

- o Secuencia Normal: Esta es la secuencia más usada y la que generalmente recomienda el fabricante. Con esta secuencia el motor avanza un paso por vez y debido a que siempre hay al menos dos bobinas activadas, se obtiene un alto torque par de paso y de retención.

PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	ON	OFF	OFF	
2	OFF	ON	ON	OFF	
3	OFF	OFF	ON	ON	
4	ON	OFF	OFF	ON	

Figura 37: Secuencia motor unipolar normal

- o Secuencia del tipo wave drive: En esta secuencia se activa solo una bobina a la vez. En algunos motores esto brinda un funcionamiento más suave. La contrapartida es que al estar solo una bobina activada, el par de paso y de retención es menor.

PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	OFF	OFF	OFF	
2	OFF	ON	OFF	OFF	
3	OFF	OFF	ON	OFF	
4	OFF	OFF	OFF	ON	

Figura 38: Secuencia del motor unipolar tipo wave drive

o Secuencia del tipo medio paso: En esta secuencia se activan las bobinas de tal forma de brindar un movimiento igual a la mitad del paso real. Para ello se activan primero 2 bobinas y luego solo 1 y así sucesivamente. Como vemos en la tabla la secuencia completa consta de 8 movimientos en lugar de 4.

PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	OFF	OFF	OFF	
2	ON	ON	OFF	OFF	
3	OFF	ON	OFF	OFF	
4	OFF	ON	ON	OFF	
5	OFF	OFF	ON	OFF	
6	OFF	OFF	ON	ON	
7	OFF	OFF	OFF	ON	
8	ON	OFF	OFF	ON	

Figura 39: Secuencia motor unipolar medio paso

- Bipolar:** Se denominan así debido a la necesidad de requerir un cambio en la dirección del flujo de corriente a través de las bobinas para realizar el movimiento. En este tipo de motor se disponen de 4 cables de salida. Al no requerir de un doble bobinado, provoca que la relación entre el par y, el peso o, tamaño sea mejor que en los unipolares.

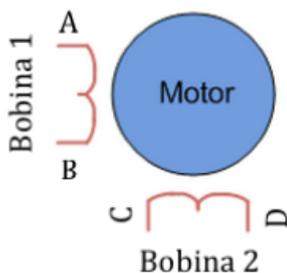


Figura 40: Motor de imán permanente bipolar

A continuación se puede ver la tabla con la secuencia necesaria para controlar motores paso a paso del tipo Bipolares:

PASO	TERMINALES			
	A	B	C	D
1	+V	-V	+V	-V
2	+V	-V	-V	+V
3	-V	+V	-V	+V
4	-V	+V	+V	-V

Figura 41: Secuencia del motor imán permanente bipolar

Reluctancia variable

Este tipo de motor a diferencia del anterior tipo, no contiene imanes permanentes. En su lugar, el rotor está fabricado de hierro dulce y tiene forma dentada, que en condiciones de excitación del estator y bajo la acción del campo magnético, proporcionan una menor resistencia al ser atravesados por el flujo en posición de equilibrio. En todo momento, el rotor trata de alinearse de forma tal que minimice la reluctancia rotor-estator, circunstancia que se da cuando el espacio entre polos del estator queda lo más ocupado posible por material del rotor, es decir, orientando los salientes o dientes hacia los polos energizados del estator.

En la Figura 42 se puede observar la secuencia de un motor paso a paso de reluctancia variable.

Full step Single excitation				Full step Multiple excitation			
i_a	i_b	i_c	θ_1	i_a	i_b	i_c	θ_1
+	0	0	0°	+	+	0	30°
0	+	0	60°	0	+	0	90°
0	0	+	120°	+	0	+	150°
+	0	0	180°	+	+	0	210°

Half stepping			
i_a	i_b	i_c	θ_1
+	0	0	0°
+	+	0	30°
0	+	0	60°
0	+	+	90°
0	0	+	120°
+	0	+	150°
+	0	0	180°

Figura 42: Secuencia motor paso a paso de reluctancia variable

Híbrido

Este tipo de motores utiliza como principio de funcionamiento una combinación de los motores con imán permanente y reluctancia variable.

Este tipo de motores produce un par por fuerza de reluctancia, al igual que el tipo de reluctancia variable, pero a diferencia de él, este tipo de motores produce la excitación a través del bobinado y del imán.

La estructura del rotor está formada por unos anillos, fabricados en acero dulce, montados en un disco cilíndrico en posición longitudinal al eje, donde en ambos extremos tiene dientes

pero cada uno con una polaridad diferente. El imán se aloja en el núcleo del rotor y cada polo está recubierto de una estructura cilíndrica dentada.

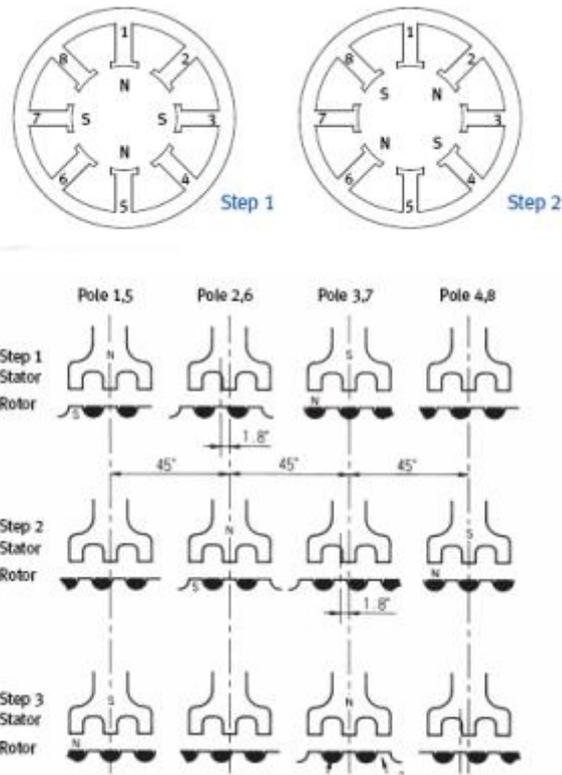


Figura 43: Secuencia del motor paso a paso híbrido

Para entender el funcionamiento obsérvese la figura 43. Al excitar las bobinas del estator se alinean los dientes del estator con los del rotor de la carga apropiada.

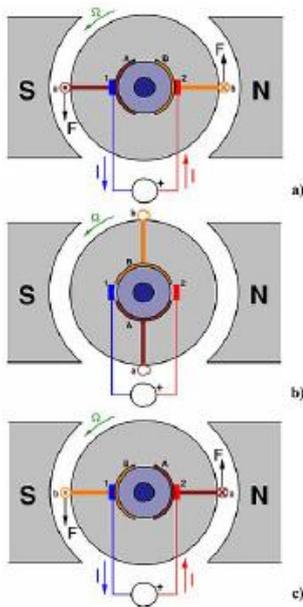
En el paso 1 se excitan las bobinas impares, polo norte (N) en las bobinas 1 y 5, y polo sur (S) en las bobinas 3 y 7; y el rotor se alinea con el campo. Luego en el paso 2 se excitan las bobinas pares, polos N las 2 y 6, y polo S las 4 y 8; entonces el rotor buscando alinear los dientes más próximos a los del estator se desplaza un ángulo que se corresponde a un cuarto del paso de los dientes. En el paso tres se alimentan nuevamente las bobinas impares, polo N en las bobinas 3 y 7, y polo S en las bobinas 1 y 5, el rotor se gira otro cuarto de paso. Entonces se ve que cuando se realicen 5 pasos se repiten los estados de excitación del estator consiguiendo una rotación del rotor correspondiente al paso de un diente. Entonces con un numero bajo de bobinas se pueden obtener pasos muy pequeños, alcanzando valores de hasta 0.9° por paso.

Los motores paso a paso son una solución económica para aplicaciones donde se requiere precisión y repetitividad en cuanto a posicionamiento. Otra característica que los define es su baja complejidad y que no disponen de escobillas por lo que no se desgastan, permitiendo reducir el mantenimiento. Además, tiene una elevada respuesta dinámica en el momento de arranque, parada y retroceso.

Sin embargo, estos motores son de baja potencia y no pueden trabajar a altas velocidades, ya que su eficiencia disminuye, a la vez que generan ruido y vibraciones. Por último destacar que no cuenta con un sistema en bucle cerrado, por lo que el motor debe ser controlado adecuadamente.

Alternativa 2: Motor corriente continua.

Un motor de corriente continua tiene un campo magnético permanente y unidireccional sobre el cual se coloca un eje con una serie de espiras dispuestas de forma radial. Las dos escobillas se encuentran conectadas a una fuente de tensión y se cortocircuitan con cada espira cuando esta se encuentra de forma perpendicularmente al campo magnético. Debido a la Ley de Lenz, se genera un dipolo magnético que tiende a alinearse con el campo magnético generando un par y por consiguiente, movimiento rotacional. Su funcionamiento puede ejemplificarse con la figura siguiente:



a) las escobillas alimentan la espira y esta se alinea con el campo hasta llegar al punto b) que se desconecta momentáneamente para pasar al estado c), en el que se vuelve a conectar pero en sentido contrario, cambiando el signo del dipolo.

Este tipo de motores puede emplearse para proveer de movimiento a los diferentes componentes de la máquina en forma de servomotor.

El servomotor de corriente continua es un motor de corriente continua con un sistema reductor incluido el cual posee un sistema de control en lazo cerrado con realimentación que permite controlar su velocidad y posición. A diferencia de los servos comunes, los servos continuos poseen la característica de rotar continuamente mediante el control del ancho de pulsos enviados, y puede quedarse enclavado en una posición mandando un ancho de pulso predeterminado por el fabricante, a través de un dispositivo llamado *encoder*.

Un *encoder* es un transductor rotativo que transforma un movimiento angular en una serie de impulsos digitales. Estos impulsos se utilizan para controlar los desplazamientos de tipo angular o de tipo lineal.

Los motores de corriente continua permiten obtener una gran precisión en cuando al posicionado. Además admite un fácil control y estabilidad sobre la velocidad del motor. Asimismo, posee una amplia variedad de velocidades junto con una gran capacidad de sobrecarga. Por último destacar la alta eficiencia de este tipo de motores, ya que desprenden menos calor y generan menos ruido durante su funcionamiento.

Sin embargo, su mantenimiento es mucho más elevado que con los motores paso a paso, requiere sustituir las escobillas y los *encoders* cada cierto número de horas. Además, no puede mantenerse totalmente estable en una posición si se aplican fuerzas.

Selección del motor

El motor elegido es la tipología de motor Paso a Paso por motivos de sencillez en su control, al no requerir de retroalimentación para mantenerse en una posición estable y por la característica de ofrecer un mayor par de arranque con respecto a los motores de corriente continua. Concretamente se emplearán motores NEMA-17 tipo bipolar.

En el Anexo de Cálculos se reflejan el estudio realizado para la selección del modelo de motor.

4.3.6 SOLIDIFICAR EL MATERIAL

La implementación de una la plataforma de impresión caliente garantiza la estabilidad y la adherencia de la pieza durante el proceso de impresión, mejorando el acabado y obteniendo un mayor control dimensional del modelo final impreso.

El diseño de la plataforma de impresión calefactable se utiliza principalmente para evitar el fenómeno conocido como *warping*, explicado en el apartado de la carcasa, es decir, evitar la contracción del material al enfriarse la pieza, efecto que posibilita el despegue de la pieza sobre la plataforma (Figura 44)

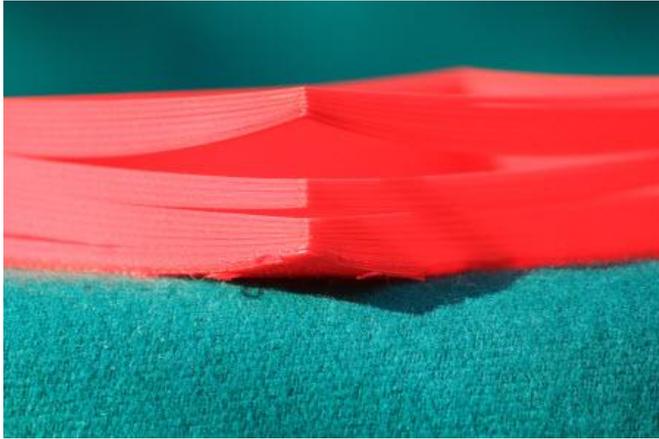


Figura 44: Warping

El uso de una plataforma de impresión calefactable no es indispensable para cuando se utiliza PLA como material de la pieza, sin embargo para la impresión en ABS y muchos otros materiales es necesario, para evitar los problemas anteriormente analizados, pero la temperatura de la base debe encontrarse entre 100 y 130 °C, para evitar el choque térmico y conseguir un enfriamiento más progresivo.

Por estos motivos, se requiere la inclusión de una base de deposición calefactable en el diseño de la impresora 3D, que garantice la estabilidad y soporte la pieza durante todo el proceso de impresión, utilizando ABS y PLA como materiales de la pieza.

A continuación se procede a analizar los diferentes sistemas de cama calefactable que se encuentran en el mercado actualmente.

PCB

Tarjeta de circuito impreso o placa de circuito impreso, del inglés: Printed Circuit Board (PCB), es la superficie constituida por caminos, pistas o buses de material conductor laminadas sobre una base no conductora. En este caso particular, el circuito impreso se utiliza para aumentar su temperatura mediante del paso de corriente eléctrica a través de las pistas conductoras, cuyo material de fabricación generalmente es cobre.

Se trata del diseño más utilizado en la actualidad debido a su eficiencia, ya que con ella se obtiene una distribución rápida y uniforme de la temperatura. Para evitar que se rompa, el coeficiente de expansión térmica que posee es bajo.



Figura 45: PCB cama caliente

Calentador de película Kapton

La cinta kapton, también conocida como cinta de poliamida, es una cinta muy utilizada para las superficies de impresión, debido a su resistencia al calor, acabado liso, alta adherencia para PLA y su aislamiento eléctrico.

Este sistema de calefacción intercala un elemento calefactor entre dos capas de poliamida, creando una base de deposición calefactable.

Como principales ventajas se puede destacar su delgadez, su fácil instalación, fiabilidad y su rápida respuesta para aumentar su temperatura.

Además, a diferencia de la cama caliente PCB, en esta solución se dispone de una variedad ilimitada de forma.

Sin embargo esta solución presenta algunos inconvenientes. En el caso de exceso de temperatura, incluso en áreas muy pequeñas tales como las causadas por chispas eléctricas, la cinta puede arder lo suficientemente rápido para producir una pequeña explosión. Por lo tanto, requiere que el sistema se encuentre bien aislado y asegurado.



Figura 46: Cama caliente Kapton

Cama caliente de aluminio

Esta concepción de diseño está compuesta por una placa metálica, normalmente de acero inoxidable o de aluminio, que posee una serie de resistencias cerámicas soldadas a la base, provocando que aumente la temperatura de la plataforma.

Es una solución muy eficiente y con un coste bajo, sin embargo, su proceso de instalación es más complejo que el resto de soluciones.

Las resistencias cerámicas utilizadas son completamente no-inflamables y disipan el calor uniformemente, manteniendo su temperatura de forma constante. Cabe destacar que la temperatura de calentamiento es diseñada de acuerdo a los requerimientos de la pieza, material de impresión y otros factores.

Sin embargo, esta solución tiene un inconveniente, cuando las resistencias superan su umbral de temperatura pierden conductividad, afectando a su eficiencia.

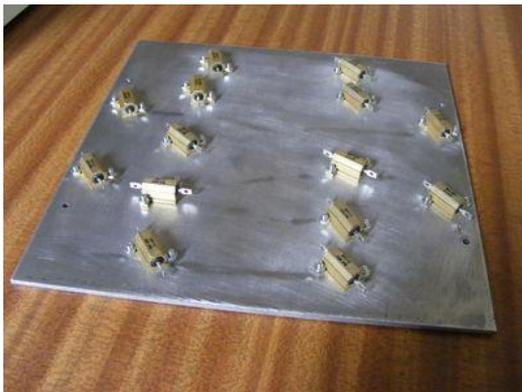


Figura 47: Cama caliente de aluminio

Por último destacar la existencia de otro tipo de diseños para la base de deposición, como la base de deposición de silicona (Figura 48) cuyo principio de funcionamiento es similar al

anterior, pero presentando unas características térmicas distintas, al utilizar un material como la silicona para la transferencia de calor en la base.



Figura 48: Cama caliente de silicona

Los sistemas de base calefactable anteriormente analizados pueden requerir de una superficie añadida, con tal de preservar la vida útil y la integridad de la base calefactable, además de proporcionar protección en el caso de una colisión con el extrusor. Asimismo, la superficie de contacto entre la pieza y la plataforma de impresión debe ser lo más lisa posible ya que, de lo contrario, podría provocar imperfecciones en las piezas.

La superficie de impresión recomendada, para ser usada como superficie adicional a la placa calefactora, debe ser extraíble, de forma que facilite la extracción de la pieza y su intercambio en caso de rallarse o dañarse. Suele emplearse cristales preparados para aguantar sin deformaciones ni roturas los cambios de temperatura, como el cristal de borosilicato.

Además, en muchas ocasiones, con el fin de mejorar la adherencia de la pieza sobre la base de deposición, se recurre a adhesivos, lacas o cintas, con tal de garantizar que la pieza no se v a amover durante el proceso de impresión.

<http://bootsindustries.com/portfolio-item/heat-bed-3d-printing/>

Para el diseño de este proyecto se selecciona una base de deposición tipo PCB junto con una placa de vidrio para depositar la pieza a fabricar. Los motivos de esta solución de diseño radican en el precio del conjunto junto con las propiedades térmicas que ofrece el conjunto, que intentara en la medida de lo posible minimizar los efectos negativos que sufre el material de fabricación durante el proceso de enfriamiento.

4.3.7 CONTROL

Antes de comenzar a analizar los diferentes elementos de control, se debe tener en cuenta qué tipo de arquitectura de control debe establecerse para procesar los parámetros de la máquina y dirigir las ordenes necesarias.

Un sistema de control es un grupo de dispositivos encargados de dirigir, organizar, guiar o regularizar el comportamiento de un sistema, con el objetivo de alcanzar los resultados deseados y disminuir las probabilidades de fallo.

Existen dos clases de sistemas de control, los sistemas en lazo abierto y sistemas en lazo cerrado. En los sistemas de control en lazo abierto la variable de salida (variable controlada) no tiene efecto sobre la acción de control (variable de control). En este tipo de sistema, la exactitud de la salida del sistema depende de la calibración del controlador, ya que en presencia de perturbaciones, señales que afectan al valor de salida, el sistema continúa con su funcionamiento a pesar de no cumplir con su función adecuadamente.

http://www.academia.edu/7885227/Sistemas_de_control_-_lazo_abierto_-_lazo_cerrado



Figura 49: Control lazo abierto

Mientras que en un sistema en lazo cerrado o también sistema de control con realimentación, la señal de salida del sistema (variable controlada) tiene efecto directo sobre la acción de control (variable de control).

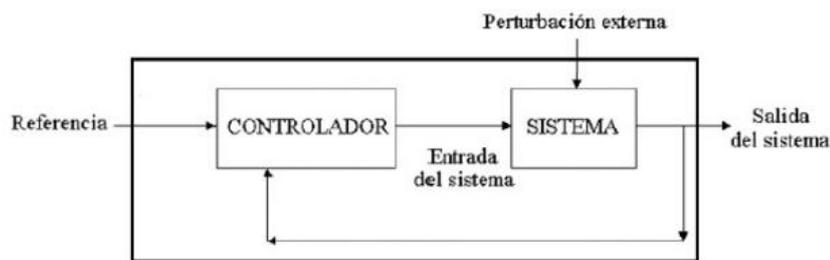


Figura 50: Control lazo cerrado

La presencia de perturbaciones en un sistema en lazo cerrado tiende a reducir la diferencia entre la salida de un sistema, cuya magnitud o condición se mide, y alguna entrada de referencia. Esta reducción se logra manipulando alguna variable de entrada del sistema, siendo la magnitud de dicha variable de entrada función de la diferencia entre la variable de referencia y la salida del sistema.

La utilización de motores paso a paso determina la selección del sistema de control para los accionamientos de movimiento, precisando la utilización del control en lazo abierto, ya las

señales que generan un paso en el movimiento del motor, dan lugar al giro de un determinado ángulo del eje, es decir, se dispone de un movimiento cuantificado. La complejidad del conjunto con el encarecimiento de los componentes necesarios para llevar a cabo un sistema de control en bucle cerrado, determina la utilización de un sistema en bucle abierto. No obstante, podría implementarse un sistema de control en bucle cerrado para aplicaciones de calibración.

El sistema de control aplicado a estas magnitudes sería el conocido como control de dos posiciones. El control de dos posiciones, ON-OFF, también llamado todo-nada o abierto-cerrado, es la forma más simple de control, es un control de dos posiciones en el que el elemento final de control sólo ocupa una de las dos posibles posiciones, en el cual la salida del controlador va de un extremo a otro cuando el valor de la variable controlada se desvía de un valor determinado.

Los sensores de posición aplicarían este sistema de control, cuando el cabezal de extrusión activa uno de los sensores de posición, realiza un cambio en su instrucción de movimiento. Pero aparte del control de los motores, se debe precisar de el control de los sensores de posición y los mecanismos encargados de calentar tanto el filamento como de la base de disposición .

Este mismo principio de control se aplica para el control de la temperatura. Sin embargo, debido a la inercia térmica que pueda tener el sistema, la temperatura puede realizar multitud de fluctuaciones alrededor del valor deseado. La inercia térmica es consecuencia del retardo en la propagación del calor desde el elemento calefactor hasta el sensor de temperatura. Para ello es necesario encontrar un algoritmo de control que evite que el sensor esté continuamente cambiando de estado, y con ello minimizar la vida útil de los contactores o relés. Otra solución sería controlar la magnitud de temperatura mediante un sistema de control ON/OFF con histéresis.

El sistema de control ON/OFF con histéresis trabaja con un rango de temperaturas en lugar de un valor único de temperatura, activando el calentamiento cuando el sensor se encuentra un determinado número de grados por debajo del valor deseado y se desactiva cuando detecta una temperatura con unos grados por encima del valor óptimo. este método provoca una mayor fluctuación de la temperatura pero una menor carga de trabajo para los contactores.

Por defecto, la temperatura de la base de deposición se controla mediante un sistema todo o nada con histéresis, empezando a calentar la base hasta alcanzar a la temperatura deseada. Una vez alcanzada esa temperatura, el sistema de control deja de suministrar energía a la cama caliente, hasta que desciende hasta una temperatura determinada y vuelve a calentar, repitiendo el proceso anterior. Sin embargo, este sistema de control puede provocar alteraciones a nivel de impresión, creando capas desiguales y patrones de impresión, creando piezas con capas poco unidas y con malos acabados. La solución en este caso podría ser la utilización de un sistema de control de Modulación por ancho de pulso (PWM).

El funcionamiento del PWM consiste en apagar o encender el sistema de calefacción de la base de deposición, pero a diferencia del sistema de control todo-nada, el modo PWM realiza

los ciclos de apagado/encendido varias veces por segundo por lo que la variación de temperatura sería mínima, a costa de una mayor carga de trabajo para los contactores. La elección de este último sistema de control para el control de temperatura de la base de deposición depende de los resultados obtenidos, una vez se realicen las pruebas de impresión de piezas de forma empírica.

A lo largo del siguiente apartado se procede a analizar los distintos componentes electrónicos que controlan el funcionamiento de la impresora 3D. Detallando los posibles circuitos integrados y microcontroladores que pueden ser usados en una impresora 3D como la que nos ocupa. En una primera instancia, se exponen las principales soluciones que pueden satisfacer la necesidad de control, continuando con las diferentes opciones que dispone el mercado actual.

4.3.7.1 PLACAS IMPRESAS

En lugar de utilizar una arquitectura electrónica con una sola placa con todos los componentes integrados, se utiliza una electrónica de control desglosada, formada por el microcontrolador, una *shield* o placa adicional que traduce las ordenes digitales en ordenes por pasos, a través de los drivers.

Este esquema de diseño se escoge para minimizar el impacto ocasionado por los problemas de temperatura, que pueden ocasionar la quema de los componentes. De este modo, en caso de fallo no habría que desechar toda la placa, solo los componentes afectados.

Placa controladora

En el apartado de la electrónica existen múltiples configuraciones y una amplia gama de productos para satisfacer la necesidad de control de la impresora. Es un campo que avanza a gran rapidez, surgiendo cada pocos meses componentes con mejores prestaciones y precios más competitivos, actualizando los elementos en un espacio breve de tiempo.

A pesar de ello, en este apartado se procede a analizar las alternativas más utilizadas del mercado. La plataforma más empleada por la comunidad se basa en Arduino, que es una plataforma de *hardware* de código abierto (*open-source*) con la finalidad de adaptarse a múltiples proyectos y ser fácil de usar.

Entre las diferentes posibilidades basadas en Arduino destaca el microcontrolador Mega 2560, el Mega (o ATmega) 1280. Todas las soluciones basadas en Arduino cuentan con una placa controladora y una placa de potencia, RAMPS, que ofrece el soporte necesario para integrar todos los elementos de control de los diferentes componentes de la impresora.

RepRap Arduino Mega Pololu Shield (RAMPS) es una placa adicional a la placa del microcontrolador Arduino y se encarga de traducir las órdenes digitales a órdenes de potencia para los actuadores. Por lo tanto, el control de la máquina estará compuesto por dos placas, el shield RAMPS y la placa de Arduino, circunstancia que encarece el precio final del conjunto.

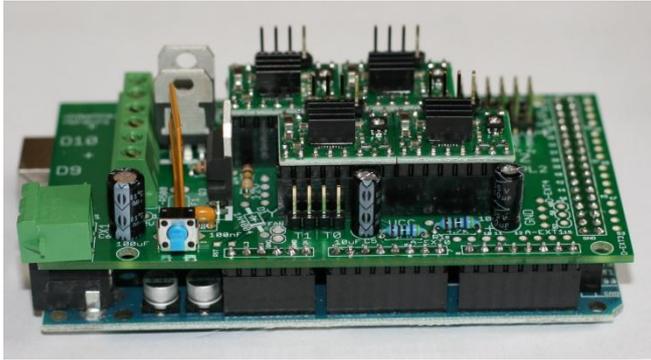


Figura 51: RAMPS goo.gl/2JCa4c

RAMPS permite colocar hasta 5 controladores para los motores paso a paso. Además posee la ventaja de poder expandir sus características de forma sencilla gracias al amplio número de pines que posee la placa, pudiendo colocar una pantalla LCD, un lector de tarjetas SD o un panel de control con botones, entre muchas otras posibilidades.

Otra posible solución para el apartado de la electrónica de control sería la implementación del modelo Sanguinololu.

Sanguinololu es una electrónica de control basada en Sanguino (un clon de Arduino) que proporciona una alternativa compuesta de una sola placa a diferencia de la RAMPS. Esta placa incluye los controladores de los motores, pudiendo conectar hasta un máximo de cuatro. Su principal ventaja se encuentra en su precio, ya que su coste es inferior al importe conjunto de una RAMPS con su correspondiente placa de Arduino.

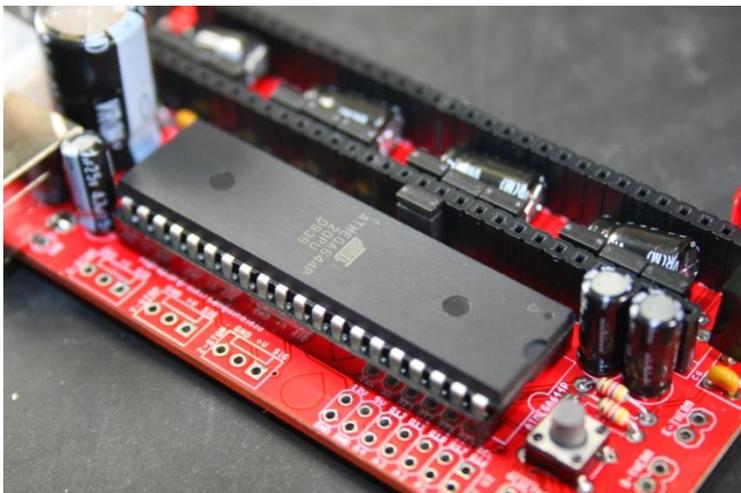


Figura 52: Sanguinololu goo.gl/ptGqat

A parte de las opciones anteriormente propuestas, destacan los modelos no comerciales Gen 7 y SAV MKI.

Gen 7 es una placa de control basada en el movimiento RepRap, ya que es totalmente DIY (*do it yourself*, hazlo tu mismo). Sus esquemas de montaje se encuentran en internet bajo

licencias libres. Aunque está diseñada para controlar 4 drivers (controladores), su diseño puede ser modificado para admitir más. Su principal virtud es su precio, siendo la opción más barata, sin embargo los componentes que la forman deben ser adquiridos por separado y la placa PCB (la placa de circuito) debe ser impresa.

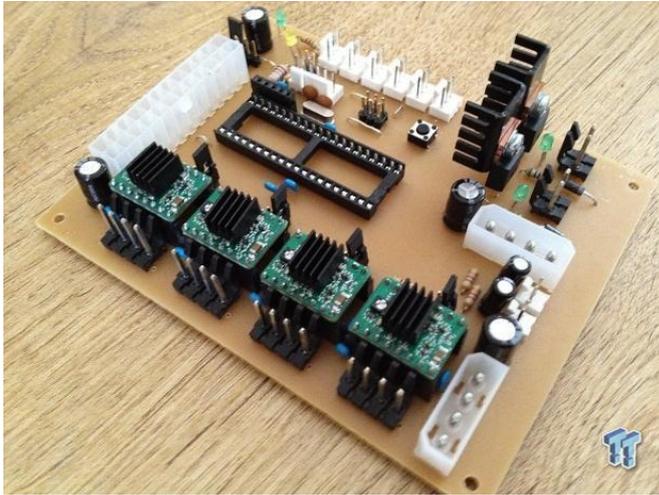


Figura 53: Gen 7 <http://goo.gl/UsgKC2>

Siguiendo la corriente de Gen 7, la placa SAV MKI se ha diseñado y desarrollado usando las contribuciones y comentarios del Grupo Clone Wars de RepRap España. Al igual que la solución anterior, los esquemas de montaje se encuentran disponibles en la red y su diseño intenta mantener un precio asequible pero implementando las características de otras placas de mayor precio, admitiendo en su diseño básico hasta 4 drivers.

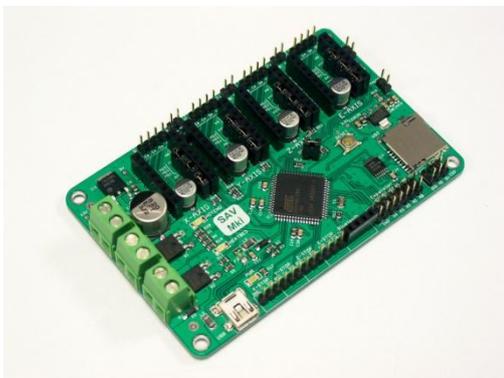


Figura 54: SAV MKI goo.gl/MGCfjq

Selección de la placa controladora

La solución de diseño elegida para la electrónica de control es la opción formada por la placa con el microcontrolador Arduino Mega 2560 junto con la placa adicional RAMPS 1.4. Las razones por las que se ha elegido esta solución son principalmente la capacidad de incorporar funciones adicionales como añadir más de un extrusor, de forma sencilla gracias al amplio número de pines de expansión que posee y la facilidad de adquirir el producto, existen multitud de proveedores capaces de suministrar el producto, con lo cual no hace falta fabricar la placa como ocurre con la placa SAV MKI o Gen 7. Asimismo, la plataforma Arduino ofrece

una garantía en cuanto a la comunidad que existe detrás de ella, existiendo mucha documentación, funciones y firmware disponible en la red. Además, ofrece una amplia compatibilidad, funcionando con los principales sistemas operativos del mercado (Windows, OS y Linux) y con distintos programas como Matlab y Simulink.

Los drivers son los controladores encargados de gestionar el funcionamiento de los motores paso a paso. unos circuitos integrados encargados de recibir las señales de control. El driver utilizado para realizar esta función en la máquina de impresión tridimensional de este proyecto es el modelo A4988 de la firma Pololu.



Figura 55: Pololu goo.gl/ut8MkB

Este driver va colocado sobre la placa RAMP y regula la corriente del motor mediante la variación del potenciómetro que equipa, en función de la carga a mover y su calibración.

4.3.7.2 FUENTE DE ALIMENTACIÓN

La fuente de alimentación abastecerá de energía a los diferentes componentes de la máquina a través de la unidad de control.

De acuerdo con los requisitos del proyecto se requiere de una fuente de alimentación externa, ya que la alimentación vía USB se encuentra limitada a 900mA.

La sistema de control de la máquina funciona a un voltaje de 12V en corriente continua que debe ser capaz de suministrar alrededor de 20A, en el apartado de Anexos se relata de forma detallada la obtención de dicho valor. Por lo tanto requerimos de una fuente de alimentación que sea capaz de suministrar como mínimo 200W.

Para ello se utiliza una fuente de ordenador ATX con una potencia superior a dicho valor, concretamente el modelo seleccionado proporciona 360W, valor que asegura el correcto funcionamiento de la máquina.



Figura 56: Fuente de alimentación

4.3.7.3 SENSORES DE PROXIMIDAD

Un sensor es un dispositivo diseñado para recibir información de una magnitud del exterior y transformarla en otra magnitud medible. Generalmente, los valores medibles son señales eléctricas codificadas en analógico, una corriente o una diferencia de potencial, o digital, mediante pulsos o un número codificado en binario.

Cualquier movimiento que realice la máquina requiere de ciertos parámetros y datos de referencia para garantizar su control. Para ello recurrimos a sistemas de posicionamiento en forma de sensores o detectores, para conocer el inicio y el final de los movimientos basándose en un punto de referencia. Los sensores detectan si un objeto se halla o no en una determinada posición. Por otra parte, los sensores ayudan a proteger los componentes de la máquina, evitando que los movimientos se excedan de su trayectoria prevista, evitando que los mecanismos se dañen.

Los sensores de proximidad o detectores pueden dividirse en dos grupos claramente diferenciados: Los interruptores mecánicos de posición (Microinterruptores, finales de carrera, válvulas limitadoras,...) y los sensores de proximidad que funcionan sin contacto (Capacitivos, ópticos, inductivos, ...).

A continuación se muestran las características y su pertinente análisis de las diferentes alternativas:

Sensores de proximidad con contacto

Se trata de dispositivos electromecánicos de conmutación que actúan como sensores, detectando el final del recorrido de los componentes mecánicos.

Este tipo de sensores son los más sencillos de implementar en una impresora 3D debido a la sencillez de su funcionamiento. Se establece o se interrumpe un contacto eléctrico mediante una fuerza externa.

Además es la opción más económica ya que no requieren de una placa de circuito, consta de un interruptor con una pequeña pieza móvil y una pieza fija con dos cables, los cuales se comunican con el control de la máquina o el motor.

Existen en el mercado diferentes tipologías de finales de carrera en función de la colocación de su accionamiento o la forma de la zona de contacto (palanca, rodillo, rodillo y palanca, varilla elástica, ...). Sin embargo, todas las variantes presentan una función y principio de funcionamiento similar.

Sin embargo, este tipo de sensores tienen un número de ciclos limitado de encendido / apagado ciclos. A pesar de esto, los interruptores se diseñan para funcionar durante más de un diez millón de ciclos. Tiene un tiempo de conmutación entre 1 y 10ms. Por último destacar que este tipo de sensores mecánicos requieren el contacto físico para detectar la presencia o ausencia de un objeto, por lo tanto, en determinados diseños no es posible su uso.



Figura 57: Final de carrera goo.gl/dLD9sW

Sensores de proximidad sin contacto

Un sensor de proximidad sin contacto es un transductor que detecta objetos o señales que se encuentran a una distancia determinada del elemento sensor.

Permite la detección de objetos y procesos sin precisar un contacto físico, por lo que los componentes de este tipo de sensores no sufren desgaste mecánico y puede estimarse un número ilimitado de ciclos de conmutación.

Existen diferentes categorías para clasificar este tipo de sensores en función del principio físico que utilizan. Los más comunes son los detectores magnéticos, inductivos, capacitivos y ópticos. A continuación se procede a explicar cada uno de ellos.

Sensores de proximidad magnéticos (Sensores Reed)

Este tipo de sensor se activa por proximidad, reacciona ante los cambios magnéticos de imanes permanentes y de electroimanes.

El conjunto se compone por un imán y una pequeña PCB donde se encuentra el sensor y la electrónica necesaria para su funcionamiento.

El sensor Reed está constituido por un par de láminas metálicas de materiales ferromagnéticos que se encuentran en el interior de su estructura. Si se acerca un campo

magnético al sensor de proximidad, las láminas son excitadas y se unen por magnetismo, abriendo o cerrando el circuito en función de la polaridad del sensor.

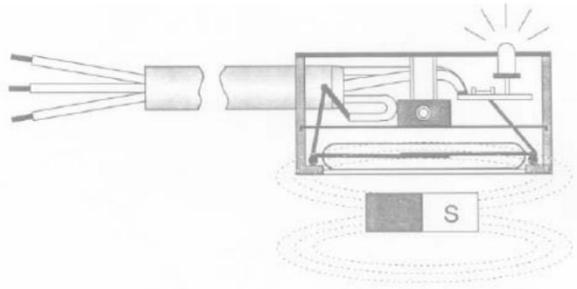


Figura 58: Sensor Reed

Sensores inductivos

Los sensores inductivos tienen la funcionalidad de detectar materiales metálicos ferrosos en un rango de distancias que va desde 1mm unos 30mm.

Este tipo de sensores incorporan una bobina electromagnética que es usada para detectar la presencia de un objeto de metal conductor. Este tipo de sensores se basan en la aplicación del principio de corrientes de Foucault. Posee un circuito oscilador que produce una señal senoidal de voltaje que cuando se aplica a la bobina, produce un campo electromagnético.

Cuando un objeto metálico entra en el campo, las corrientes de Foucault circulan dentro de la placa y éstas generan a la vez un campo magnético opuesto al generado por el oscilador. La disminución del campo magnético tiene el efecto de reducir la inductancia de la bobina, modificando la frecuencia de las oscilaciones.

La adopción de este sistema posee ciertas ventajas respecto a los finales de carrera electromecánicos, tales como: ausencia de contacto con el objeto a detectar, robustez mecánica, resistencia a ambientes agresivos a altas temperaturas. sin embargo su aplicación sólo es aplicable para la detección de objetos metálicos ferrosos.

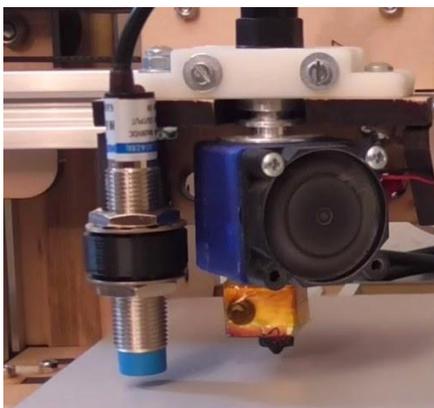


Figura 59: Sensor inductivo goo.gl/tNCT72

Sensores capacitivos

Se basan en la propiedad de un condensador según la cual su capacidad toma el siguiente valor: $C = \epsilon \frac{S}{d}$ Siendo ϵ la constante dieléctrica del medio de las placas, "S" el área de las placas del condensador enfrentadas y "d" la distancia entre las placas.

El principio de funcionamiento de un sensor de proximidad capacitivo está basado en la medición de los cambios de capacitancia eléctrica de un condensador en un circuito resonante, ante la aproximación de cualquier material.

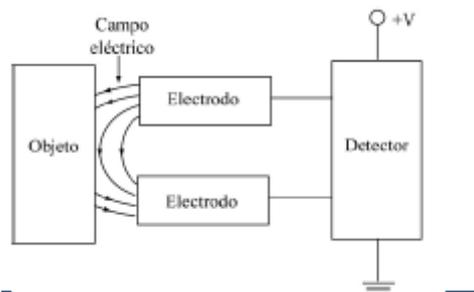


Figura 60: Principio de funcionamiento sensor capacitivo

Entre los electrodos se crea un campo electrostático disperso debido a la diferencia de potencial que poseen. Si un objeto o un medio (metal, plástico, vidrio, madera, agua) irrumpe en esta zona a una determinada distancia, la capacitancia del circuito resonante se altera. Al aumentar la capacidad, la corriente en el circuito oscilador, que representa a la amplitud de oscilación variante según la distancia a la cual esté el objeto, también aumenta. El rectificador convierte la señal alterna del oscilador de manera que la cercanía de un objeto a los sensores se traduzca en una señal de corriente continua. Cuando esta señal alcance un determinado valor, actuará el circuito disparador (Trigger) que controla si la señal proveniente del rectificador corresponde al nivel de referencia necesario para conmutar el dispositivo de salida.

Estos sensores presentan la ventaja de detectar todo tipo de elementos metálicos y no metálicos, incluso a través de algunos materiales. Además disponen de muchas configuraciones de instalación y poseen una vida útil bastante larga.

No obstante es importante también destacar que los sensores capacitivos tienen una distancia de detección corta, desde 1mm hasta unos 30mm, que varía según el material que deba detectar. Asimismo, la sensibilidad del sensor es muy susceptible en función del tipo de material a detectar y por el grado de humedad ambiental o del objeto.

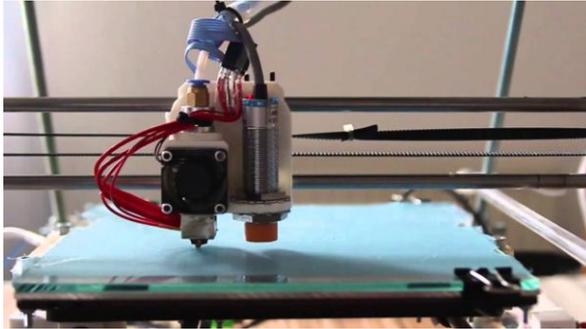


Figura 61: Sensor capacitivo goo.gl/ljqLxC

Sensores ópticos

Estos dispositivos son de carácter fotoeléctrico, la señal que se obtiene a través del sensor, es procesada mediante el circuito de control correspondiente, mediante algún microcontrolador o board de desarrollo Arduino, según el diseño de la máquina.

En función de la forma en la que detectan la presencia de los objetos se pueden distinguir diferentes sensores ópticos. A continuación se procede a analizar las distintas variantes de esta clase de sensores.

- **Sensores ópticos de barrera**

Se componen de un sensor y de un receptor. El sensor está dispuesto de tal manera que la mayor parte posible del haz de luz enviado por su diodo incide sobre el receptor. Éste evalúa la cantidad de luz recibida. Si existe una interrupción del haz de luz, el sensor envía una señal al controlador al que va conectado.

Mediante este tipo de sensor se tienen las ventajas ya citadas respecto de los sensores electromecánicos, como la ausencia de contacto entre el sensor y el objeto a detectar. Además permite la detección de pequeños objetos incluso a largas distancias, una buena precisión de posicionado y la posibilidad de utilizarlo en ambientes agresivos.

Sin embargo, este sistema presenta varios inconvenientes como la posibilidad de cometer errores, ya que en caso de tener un fallo el emisor, el sensor detecta este síntoma como la presencia de un objeto. Por otra parte, debido al diseño de este sistema, se requiere la colocación de dos elementos separados, emisor y receptor, con conexiones independientes.

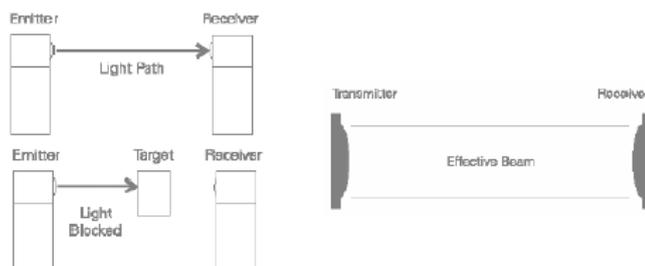


Figura 62: Sensor óptico de barrera

- **Sensores ópticos de retroreflexión**

A diferencia del sensor óptico de barrera anteriormente analizado, en los sensores ópticos de retroreflexión, el emisor y receptor del haz de luz es el mismo dispositivo. El transmisor envía un haz de luz en dirección a un elemento reflector, mediante el cual el haz rebota y vuelve en dirección al transmisor.

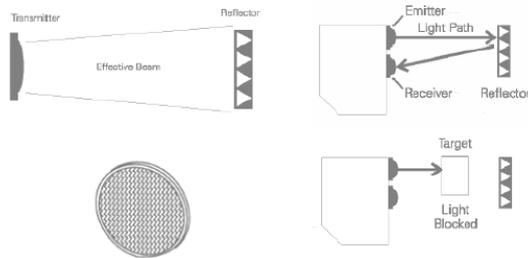


Figura 63: Sensores ópticos de retroreflexión

El transmisor se encarga de detectar la cantidad de luz que ha sido devuelta una vez enviada, permitiendo detectar si algún objeto se encuentra entre él y el reflector.

Esta tipología de sensores ópticos permite una instalación y ajustes sencillos. Además, permite la detección de objetos reflectantes, especulares o transparentes, siempre que absorban un porcentaje suficiente de luz.

A pesar de esto, presenta una serie de inconvenientes: Los objetos transparentes o brillantes pueden pasar inadvertidos si el ajuste del sensor no es óptimo y requiere mantener en perfecto estado el reflector, ya que podría dar lugar a lecturas erróneas.

- **Sensores ópticos de reflexión directa**

A diferencia de las alternativas anteriores, en estos sensores ópticos, la luz del emisor rebota en el elemento a detectar. El haz se refleja en el objeto de forma difusa y un aparte de la luz alcanza la parte receptora del aparato. Si la intensidad de luz que vuelve al sensor alcanza un valor determinado, el sensor envía una señal al controlador.

La distancia de reflexión depende del tamaño y del color del objeto, así como del acabado de la superficie. No obstante, la distancia de reflexión puede ser modificada entre amplios límites mediante un potenciómetro que incorpora el sensor.

Esta tipología de sensor óptico dota al sistema de una mayor simplicidad, en comparación al resto de alternativas de sensores ópticos, ya que el propio objeto hace de reflector.

Al igual que sucedía con los sensores ópticos por retroreflexión, el objeto a detectar puede ser reflectante, especular o transparente. Incluso, se puede utilizar para detectar diferencias de color.

No obstante al igual que el resto de alternativas, presenta varios inconvenientes, el más flagrante radica en la pérdida de precisión del sensor, ya que el objeto a detectar debe poseer un acabado, color y forma determinado, de tal manera que la luz pueda ser reflejada y ser captada por el receptor del sensor.

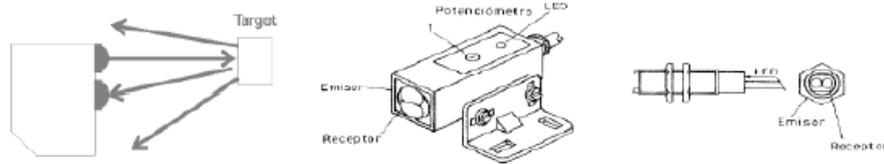


Figura 64: Sensor óptico de reflexión directa

Sensores ultrasónicos

En este tipo de sensores, el principio de funcionamiento es similar al observado en los sensores ópticos, dónde un receptor emite una señal y en función de la respuesta obtenida por el receptor, actúa de una determinada forma.

Los sensores ultrasónicos emiten ondas en un determinado rango de frecuencia, con pulsos que van desde 1Hz a 25Hz. Las ondas rebotan en el objeto a detectar y son captadas por el sensor.

Este tipo de sensores permiten la detección de objetos a distancias incluso de varios metros. Además permiten la detección de un objeto independientemente del color y material, detectando de forma precisa objetos transparentes. Igualmente, los sensores ultrasónicos son relativamente insensibles a la suciedad y al polvo.

No obstante, si el objeto presenta superficies inclinadas, las ondas se desvían pudiendo ocasionar lecturas erróneas. También, reaccionan con relativa lentitud en comparación al resto de sensores analizados y son sensores mucho más caros que los ópticos, del orden del doble. Por último destacar que puede presentar problemas con determinados materiales como telas gruesas o gomaespuma, debido a la absorción de las ondas.

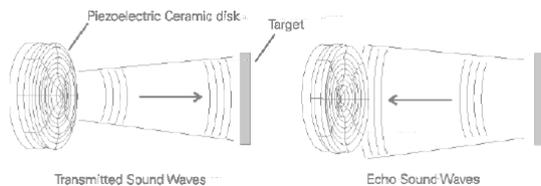


Figura 65: Sensor ultrasónico

Selección de los sensores de proximidad

Tras analizar los distintos sensores de proximidad existentes en el mercado, se puede tener una visión general de las ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos con la finalidad de elegir el más óptimo para la aplicación de este proyecto.

Los sensores de proximidad con contacto, finales de carrera, son idóneos para este proyecto, su función es la de acotar los límites de movimiento de los elementos encargados de desplazar el cabezal de extrusión y la bandeja de deposición de material. Sin embargo, los sensores de proximidad sin contacto podrían implementarse en futuras actualizaciones de la

máquina para realizar funciones de calibrado e incluso para evitar el contacto entre el cabezal de extrusión y la base de deposición de material.

4.3.8 INTERFAZ DE USUARIO

En cuanto a la interfaz de usuario que la impresora 3D debe implementar, se opta por la implementación de una pantalla, con la cual el usuario poder interactuar con la máquina y modificar ciertos parámetros de funcionamiento.

La implementación de una pantalla LCD tiene como objetivo convertir la impresora en una máquina totalmente autónoma, además de permitir observar ciertos parámetros de un simple vistazo, sin necesidad de requerir el ordenador.

La pantalla ofrece la posibilidad de controlar diversos parámetros de la máquina, como la temperatura o velocidad, de forma sencilla navegando a través del menú de la pantalla. Sin embargo, la facilidad de funcionamiento que dispone la interfaz de la máquina se encuentra relacionada con el firmware y software escogido para la máquina.

El mercado actual ofrece a los fabricantes de impresoras 3D multitud de modelos de pantalla, cada una de las alternativas presenta ligeras variaciones entre las distintas opciones de los fabricantes, como la disposición de los controles o la serigrafía de la placa. Sin embargo, todas las alternativas de pantalla LCD pueden dividirse en dos grandes grupos: *Smart Controller* y *Full Graphic Smart Controller*. Los modelos *Smart Controller* incorporan una pantalla LCD de 4 líneas y caracteres por línea, mientras que las pantallas denominadas *Full Graphic Smart Controller* usan una panel LCD compuesto por una matriz multipunto de 128x64 píxeles.

Las principales diferencias entre los dos tipos de pantalla se encuentran en el tamaño de la pantalla y en el controlador que utiliza Arduino para mostrar la información en pantalla, ya que ambos modelos de pantalla tendrán los mismos menús y funciones.

Para este proyecto se selecciona un panel LCD *Full Graphic Smart Controller* para mostrar los datos en pantalla debido a su tamaño, ya que facilitará a los usuarios el visionado de los diferentes datos en pantalla.

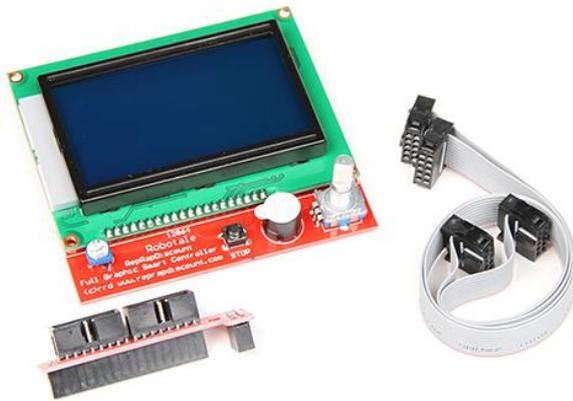


Figura 66: Full Graphic Smart Controller

Otra característica que se propone incluir en la máquina es la inclusión de un lector de tarjetas SD, mediante el cual detectar los archivos en formato código G y poderse transferir a la impresora sin necesidad de requerir el enlace entre el ordenador y la impresora para exportar el archivo en código G. La mayoría de fabricantes de pantallas LCD incorporan en el controlador gráfico una ranura para tarjetas SD ensamblado.

4.3.9 OBTENER TRAYECTORIAS A PARTIR DE UN ARCHIVO EN CÓDIGO G

Una vez ensamblada la máquina y realizado las pertinentes conexiones entre los diferentes componentes, se procedería a la puesta en funcionamiento. Para ello se deberá cargar el firmware adecuado para el microcontrolador e instalar el programa correspondiente al ordenador para realizar el capeado, es decir, transformar el diseño tridimensional que se desea imprimir a un formato capaz de ser interpretado por la impresora.

El código G es el nombre que habitualmente recibe el lenguaje de programación más usado en Control numérico (CNC), describe el movimiento y las diferentes operaciones que la impresora debe realizar para la fabricación del objeto que se describe, es decir, dónde posicionar el extrusor, en horizontal y vertical, cuánto calentar y disponer el filamento entre otras cosas.

Los programas de fabricación asistida por ordenador (CAM) habitualmente ofrecen la posibilidad de generar directamente los archivos con las instrucciones código G, con la finalidad de ser exportado a los sistemas de fabricación (mecanizado, o en este caso, impresión). Sin embargo, no todos los programas de modelado tridimensional poseen esta opción por lo que se requiere de aplicaciones específicas con las cuales generar el código G a partir de un archivo intermedio, habitualmente STL. Este proceso se denomina laminado frecuentemente.

Debido a las limitaciones del proyecto se descarta el desarrollo de un firmware y el programa necesario para controlar la máquina, en lugar de ello se procedería a utilizar uno

compatible con los componentes de la impresora. En la red existen múltiples alternativas disponibles y perfectamente compatibles con la impresora diseñada.

El controlador seleccionado debe ser poseer una serie de requisitos:

- Total: El software debe incorporar todos los elementos pertinentes para poder controlar la máquina durante todo el proceso de preparación y fabricación de la pieza.
- Sencillo de usar: El programa debe ser fácil de utilizar y lo más intuitivo posible.
- Compatible con múltiples sistemas operativos: Debe poder ser usado en diferentes sistemas operativos: Windows, Mac y GNU/Linux.
- Ágil: El programa debe ser ligero durante su funcionamiento, requiriendo el mínimo de recursos del ordenador.

A continuación se procede a analizar los principales programas para realizar la función de host o controlador.

Velocidad	Soporte extrusor	doble	Salida	Entrada	Opciones	Programa
Rápido	No		Código G	Multiple .stl	5D	Cura
Rápido	Sí		G-Code, X3G	Multiple .stl	5D	MatterSlice
Muy rápido	Sí		G-code, .bgc, .bfb	Multiple .stl		Netfab Engine
	Sí		Código G	Individual .stl	5D	Repetier-Host
	Sí		Código G	Individual .stl	5D	ReplicatorG
En la media	No		G-code, .rfo	Multiple .stl, .rfo	5D	Reprap software host
Rápido	No		Código G	Multiple .stl, .rfo	5D, 3D	RepSnapper
En la media	Sí		Código G	Single .stl	5D, 3D	SkeinForge
Rápido	Sí		Código G	Single .stl	5D, 3D	Slic3r
Rápido	No		Código G	Single .stl		SuperSkein
Rápido	Sí		Código G	Multiple .stl	5D, 3D	YARRH
	Sí		Código G	Single .stl	5D, 3D	X2SW

El programa escogido para el proyecto es Cura. Las razones que ha dado lugar a la elección de esta alternativa y no otra es debido a que se trata de un software ligero, incorpora todos los componentes necesarios para realizar el control de la impresora, su código es accesible y compatible con los diferentes sistemas operativos. Además es un programa muy intuitivo y fácil de usar por un usuario con pocos conocimientos sobre informática. Otra razón que ha dado lugar a su elección es el apoyo y soporte que tiene por parte de la empresa Ultimaker, hecho que asegura la continuidad en el desarrollo de versiones estables para las distintas plataformas.

5. MEMORIA DESCRIPTIVA

5.1. DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN DEFINITIVA

En este apartado se explicarán en detalle los conjuntos y subconjuntos de la máquina llegando así a la explicación de todos los componentes, sistemas mecánicos y funcionamiento de la máquina diseñada en este proyecto.

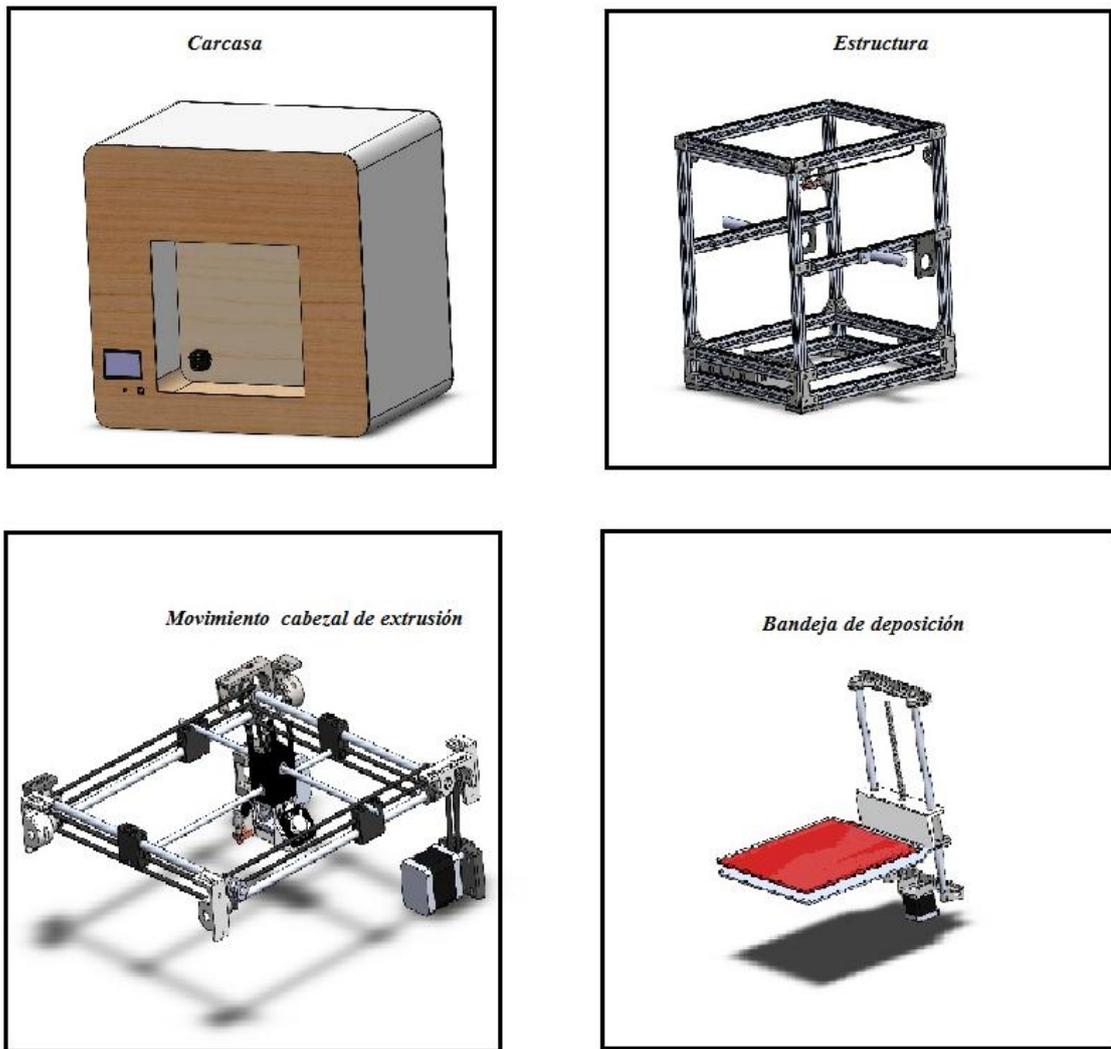


Figura 67: Esquema básico de la estructura de la máquina

5.1.1 ESTRUCTURA GENERAL DE LA MÁQUINA

El conjunto de la máquina se va a dividir en distintos ensamblajes y subensamblajes que corresponden con las partes más importantes de las que se compone la impresora 3D. (Ver figura 67).

En primer lugar, la máquina consta de una carcasa, mediante la cual proteger y aislar los diferentes componentes de la máquina, fabricada en chapa aluminio de 2mm, y decoradas con un vinilo de la empresa 3M. El mismo bloque sirve de sujeción de la pantalla LCD de control y el conector de corriente a 220V.

Seguidamente, se dispone de una estructura principal o bancada que será la que sustente todos los componente, formada por perfiles de aluminio, que servirán como base fundamental de la máquina, y diferentes piezas fabricadas a partir de otra impresora 3, con el objetivo unir los diferentes perfiles y dar rigidez a la estructura.

Por otra parte se dispone del subconjunto de movimiento del cabezal de extrusión, con la finalidad de realizar el movimiento relativo entre la base de deposición y el fundidor de material. Este sistema está compuesto por el mecanismo de movimiento del cabezal de extrusión y el propio cabezal de extrusión de material fundido.

Por último se dispone del subsistema formado por la bandeja de deposición y el mecanismo que permite su desplazamiento.

5.1.2 DESCRIPCIÓN SUBCONJUNTO ESTRUCTURA O BANCADA

La bancada se define como el elemento principal de apoyo y sustenta todo el conjunto. Por ello tiene que tener una rigidez y unas características estructurales suficientes para soportar todo el peso y vibraciones del resto de componentes y sistemas de la máquina.

La estructura está formada por 18 perfiles estructurales de aluminio de 20 x 20 mm, cuyas características estructurales se encuentran detalladas en el apartado de Anexos, tal y como se muestra en la Figura 68. Las dimensiones de estos perfiles pueden consultarse en el apartado de planos.

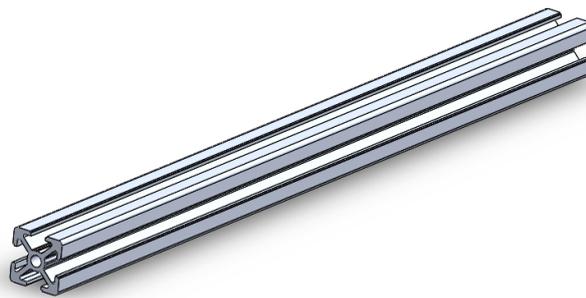


Figura 68: Perfil estructural 20x20mm

La unión de estos perfiles se realiza mediante piezas fabricadas en plástico ABS debido a las propiedades que posee este polímero en cuanto a dureza y resistencia a grandes impactos. El motivo de utilizar este material para la fabricación de estos componentes es la reducción de costes y la posibilidad de ser fabricados por cualquier usuario que disponga de una impresora 3D compatible con este material.

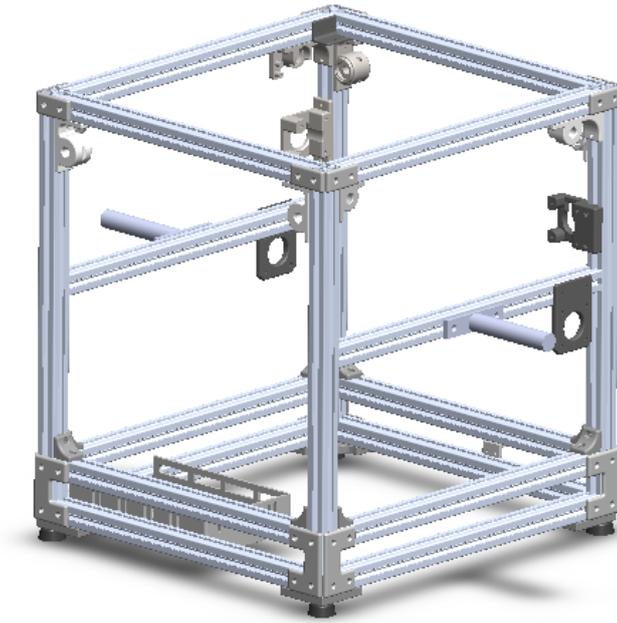


Figura 69: Estructura

A su vez, todo ello se apoya al suelo por medio de unas patas de goma tal y como se muestra en la siguiente figura:

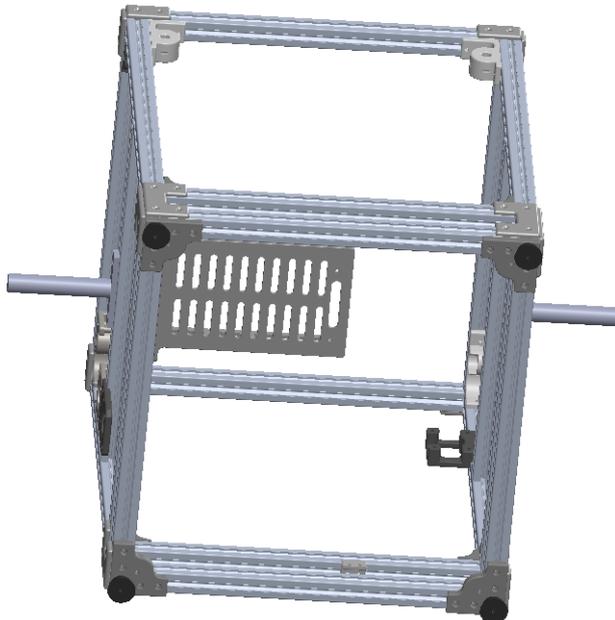
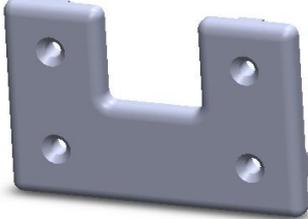
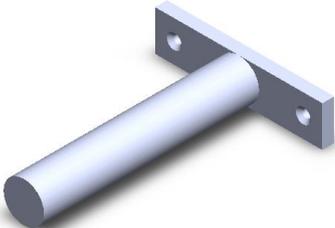
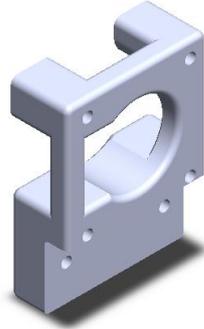
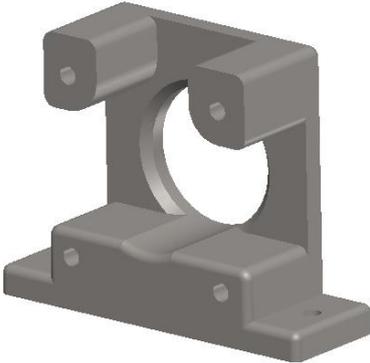
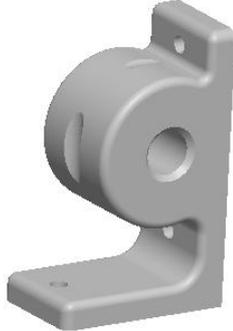


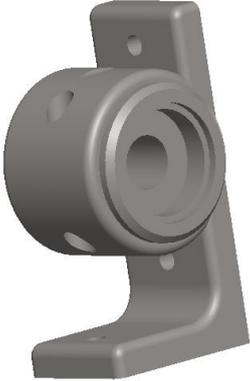
Figura 70: Parte inferior impresora 3D

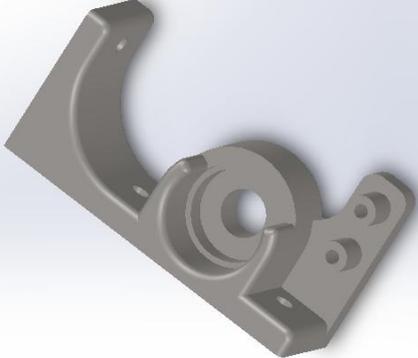
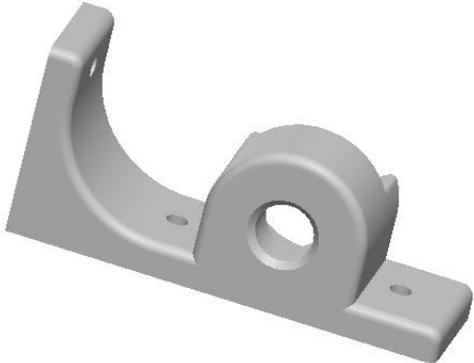
A continuación, en la tabla 12 se detalla una lista con las piezas que componen este subconjunto y su correspondiente descripción:

Nombre y descripción	Imagen
<p>Perfil Estructural de aluminio 20x20x308 (mm): Elemento encargados de realizar la función de bancada y como base para el resto de elementos. Se requieren 14 perfiles con estas dimensiones.</p>	
<p>Perfil Estructural de aluminio 20x20x395 (mm): Elemento encargados de realizar la función de bancada y como base para el resto de elementos. Se requieren 4 perfiles con estas dimensiones.</p>	
<p>Unión de perfiles lateral inferior: Elemento cuya función es unir los perfiles y rigidizar la estructura. Su unión a la estructura se realiza mediante 4 pernos de cabeza plana M3x10. Su fabricación se realiza en plástico PLA. Se requieren 8 piezas.</p>	
<p>Escuadras inferiores: Elemento cuya función es unir los perfiles y rigidizar la estructura. Su fabricación se realiza en plástico PLA. Su unión a la estructura se realiza mediante 2 pernos de cabeza hueca M3x10. Su fabricación se realiza en plástico PLA. Se requieren 8 piezas.</p>	
<p>Soporte base de la máquina: Elemento cuya función es unir los perfiles, el cristal inferior y los soportes antivibratorios de goma. A su vez, rigidizan la estructura. Su fabricación se realiza en plástico PLA. Su unión a la estructura se realiza mediante 4 pernos de cabeza plana M3x10. Su fabricación se realiza en plástico PLA. Se requieren 4 piezas.</p>	

<p>Soporte antivibratorios de goma: Elemento cuya función es reducir las vibraciones ambientales que llegan a la máquina como las que genera ella misma. Su unión a la estructura se realiza mediante 1 perno de cabeza hueca M5x10. Se requieren 4 piezas</p>	
<p>Unión de perfiles exterior: Elemento cuya función es unir los perfiles y rigidizar la estructura. Su unión a la estructura se realiza mediante 2 pernos de cabeza plana M3x10. Su fabricación se realiza en plástico PLA. Se requieren 12 piezas.</p>	
<p>Soporte bobina: Como su nombre indica, su función es la de sujetar la bobina, dejando que ésta pueda rotar al suministrar el material al cabezal. Su unión a la estructura se realiza mediante 2 pernos de cabeza plana M3x10. Su fabricación se realiza en plástico PLA. Se requieren 2 piezas.</p>	
<p>Soporte extrusor Bowden: Elemento cuya función es unir el mecanismo encargado de suministrar material y el motor que lo acciona. Su fabricación se realiza en plástico PLA. Su unión a la estructura se realiza mediante 2 pernos de cabeza hueca M3x10. Se requieren 2 piezas.</p>	

<p>Soporte motor 1: Elemento cuya función es sujetar uno de los motores que proporciona el movimiento al mecanismo de desplazamiento del cabezal, mediante su unión con la estructura. Su unión a la estructura se realiza mediante 2 pernos de cabeza hueca M3x10. Su fabricación se realiza en plástico PLA. Se requiere 1 pieza.</p>	
<p>Soporte motor 2: Elemento cuya función es sujetar uno de los motores que proporciona el movimiento al mecanismo de desplazamiento del cabezal, mediante su unión con la estructura. Su unión a la estructura se realiza mediante 2 pernos de cabeza hueca M3x10. Su fabricación se realiza en plástico PLA. Se requiere 1 pieza.</p>	
<p>Soporte Eje Y Delantero Izquierda: Elemento cuya función es sujetar uno de los ejes que proporciona el movimiento al cabezal de extrusión, mediante su unión con la estructura. Su fabricación se realiza en plástico PLA. Su unión se realiza mediante 3 pernos de cabeza hueca M3x10. Se requiere 1 pieza.</p>	
<p>Soporte Eje Y Delantero Derecha: Elemento cuya función es sujetar uno de los ejes que proporciona el movimiento al cabezal de extrusión, mediante su unión con la estructura. Su fabricación se realiza en plástico PLA. Su unión se realiza mediante 3 pernos de cabeza hueca M3x10. Se requiere 1 pieza.</p>	

<p>Soporte Eje Y Trasero Izquierda: Elemento cuya función es sujetar uno de los ejes que proporciona el movimiento al cabezal de extrusión, mediante su unión con la estructura. Su fabricación se realiza en plástico PLA. Su unión se realiza mediante 3 pernos de cabeza hueca M3x10. Se requiere 1 pieza.</p>	
<p>Soporte Eje Y Trasero Derecha: Elemento cuya función es sujetar uno de los ejes que proporciona el movimiento al cabezal de extrusión, mediante su unión con la estructura. Su fabricación se realiza en plástico PLA. Su unión se realiza mediante 3 pernos de cabeza hueca M3x10. Se requiere 1 pieza.</p>	
<p>Soporte Eje X Delantero Izquierda: Elemento cuya función es sujetar uno de los ejes que proporciona el movimiento al cabezal de extrusión, mediante su unión con la estructura. Su fabricación se realiza en plástico PLA. Su unión se realiza mediante 2 pernos de cabeza hueca M3x10. Se requiere 1 pieza.</p>	

<p>Soporte Eje X Delantero Derecha: Elemento cuya función es sujetar uno de los ejes que proporciona el movimiento al cabezal de extrusión, mediante su unión con la estructura. Su fabricación se realiza en plástico PLA. Su unión se realiza mediante 2 pernos de cabeza hueca M3x10. Se requiere 1 pieza.</p>	
<p>Soporte Eje X Trasero Izquierda: Elemento cuya función es sujetar uno de los ejes que proporciona el movimiento al cabezal de extrusión y servir de soporte para un final de carrera, mediante su unión con la estructura. Su fabricación se realiza en plástico PLA. Su unión se realiza mediante 3 pernos de cabeza hueca M3x10. Se requiere 1 pieza.</p>	
<p>Soporte Eje X Trasero Derecha: Elemento cuya función es sujetar uno de los ejes que proporciona el movimiento al cabezal de extrusión, mediante su unión con la estructura. Su fabricación se realiza en plástico PLA. Su unión se realiza mediante 3 pernos de cabeza hueca M3x10. Se requiere 1 pieza.</p>	

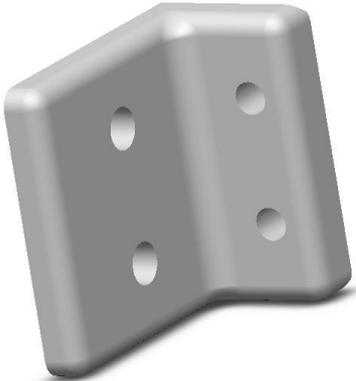
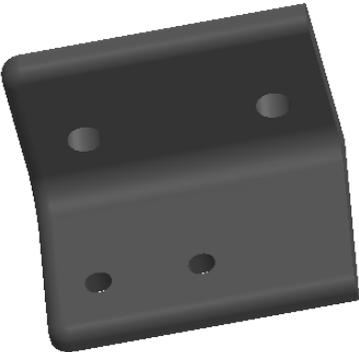
<p>Soporte final de carrera Eje Z: Elemento cuya función es sujetar el final de carrera encargado de controlar el eje Z, mediante su unión con la estructura. Su fabricación se realiza en plástico PLA. Su unión se realiza mediante 2 pernos de cabeza hueca M3x8mm. Se requiere 1 pieza.</p>	
<p>Soporte final de carrera Eje X: Elemento cuya función es sujetar el final de carrera encargado de controlar el eje X, mediante su unión con la estructura. Su fabricación se realiza en plástico PLA. Su unión se realiza mediante 2 pernos de cabeza hueca M3x8mm. Se requiere 1 pieza.</p>	

Tabla 12: Piezas de la estructura

Para realizar la unión de los diferentes componentes con los perfiles estructurales se utilizan roscas adaptadas para su uso en perfiles, como se observa en la figura



Figura 71: Rosca para perfil estructural

5.1.3 DESCRIPCIÓN SUBCONJUNTO QUE PROPORCIONA EL MOVIMIENTO AL CABEZAL DE EXTRUSIÓN

Durante la fase de diseño conceptual de la máquina se analizaron las diferentes alternativas disponibles para realizar la transmisión de movimiento al cabezal de extrusión de material. Tras el estudio se concluyó que la mejor solución era el mecanismo de transmisión por polea y correa en detrimento de los otros sistemas, debido a sus ventajas. A continuación se procede a analizar la propuesta proyectada de este subconjunto para el diseño de la impresora 3D.

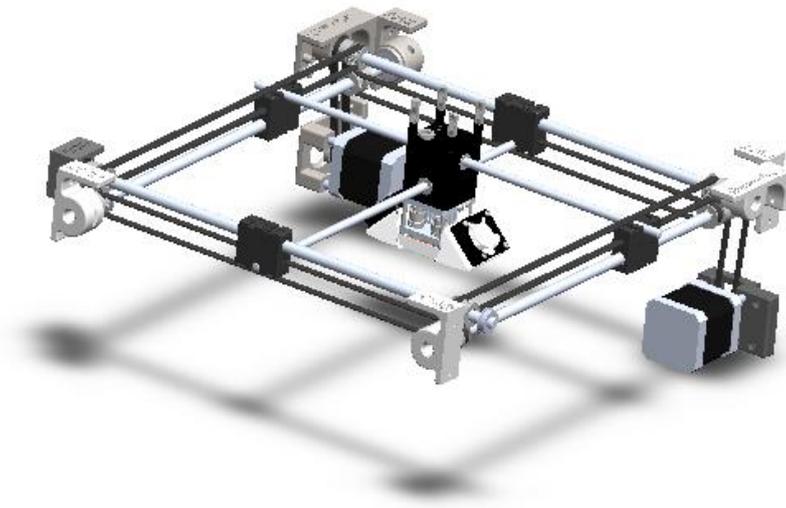


Figura 72: Sistema de movimiento del mecanismo de extrusión

El movimiento del sistema se acciona mediante dos motores que se encuentran atornillados a sus respectivos soportes mediante 4 separadores y 4 pernos M3x30. Cada uno de los motores genera el movimiento en una dirección distinta, uno es el encargado de provocar el movimiento en el eje X y el otro motor en el eje Y.

A su vez, el eje de giro del motor lleva acoplada una polea de 20 dientes tal y como se representa en la siguiente figura:

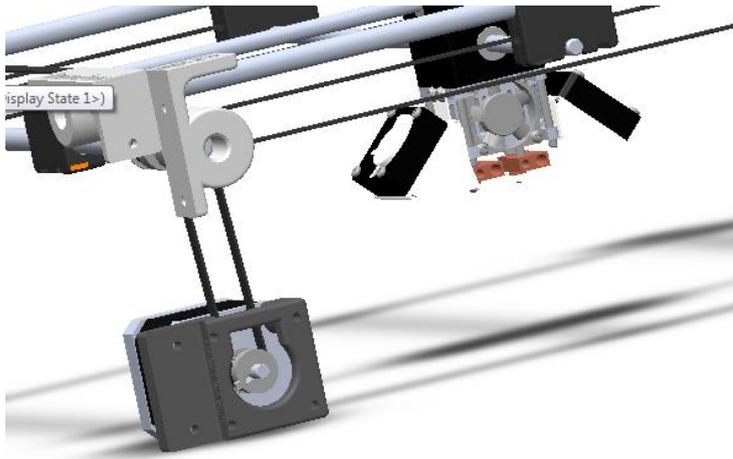


Figura 73: Detalle del motor con polea de accionamiento

El movimiento de la polea se transmite mediante una correa de 200mm de longitud y 100 dientes a otra polea de 8mm, que se encuentra conectada a un eje. El movimiento de la polea permite la rotación del eje, que a su vez está conectado al eje que enlaza con el cabezal de fundición de filamento.

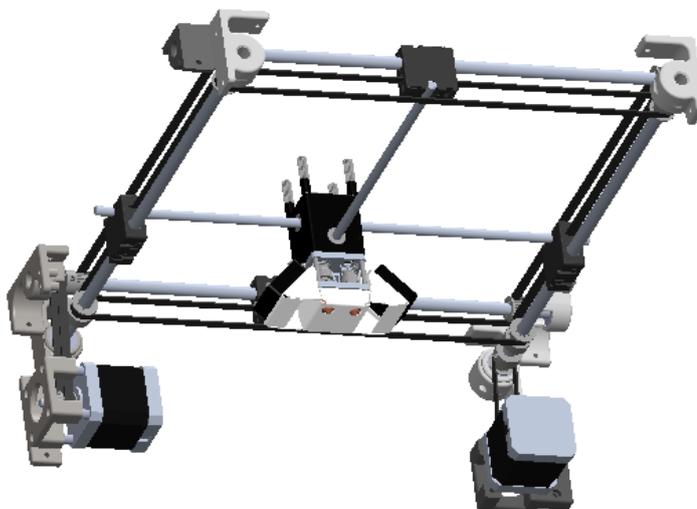


Figura 74: Sistema de movimiento del cabezal en detalle

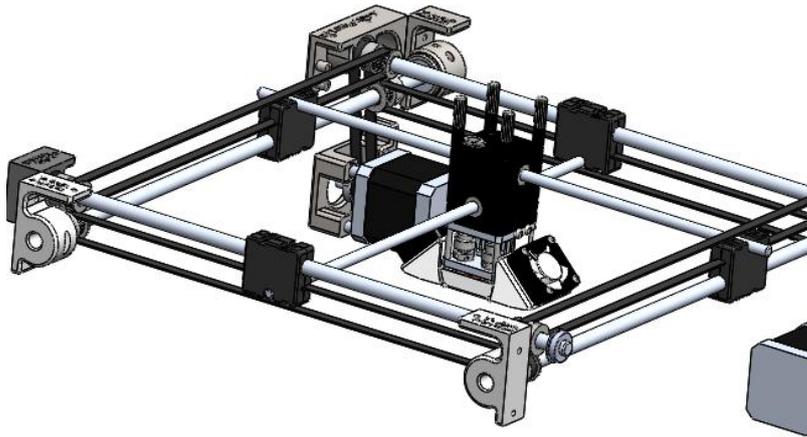


Figura 75: Sistema de movimiento del cabezal en detalle

Además todos los ejes están conectados con otro eje paralelo mediante otra correa. Por lo tanto, cuando se mueve el eje que lleva conectado la correa que enlaza con el motor, éste traslada el movimiento a una correa que conecta con otro eje paralelo y con un bloque deslizante que une el eje conectado al cabezal. El mismo razonamiento se aplica para el movimiento del eje X e Y.

Por otra parte, el cabezal que se encarga de fundir y depositar el material está conectado con dos ejes de 6mm que se encargan de proporcionar el movimiento al mismo.



Figura 76: Cabezal de impresión en detalle

El cabezal de extrusión seleccionado incluye todos los componentes necesarios para realizar el proceso de fundido de dos filamentos simultáneamente. Sin embargo, para controlar la temperatura de fundición se requiere de un termopar. Además, se propone introducir un conjunto de ventiladores, con el objetivo de ayudar a enfriar las capas de manera uniforme, mejorando la calidad de piezas de pequeño tamaño no se enfrían correctamente antes de depositar las siguientes capas.

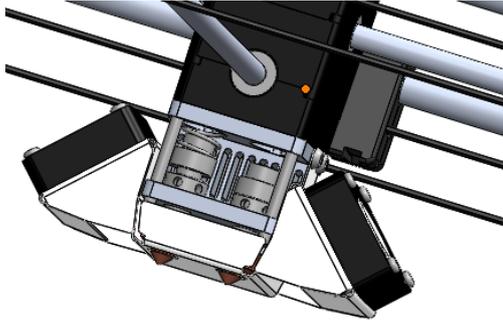
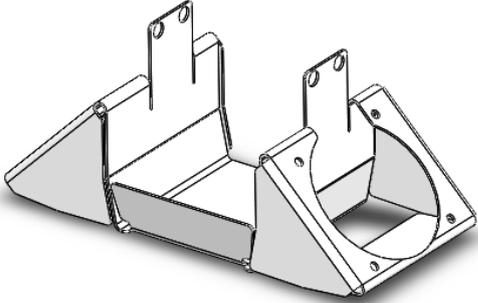
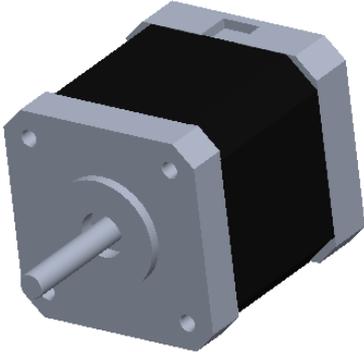
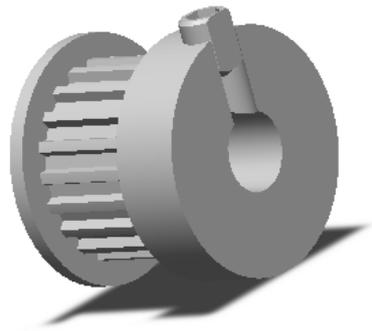


Figura 77: Detalle de los ventiladores del cabezal de impresión

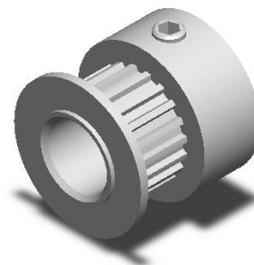
A continuación, en la tabla 13 se detalla una lista con las piezas que componen este subconjunto y su correspondiente descripción:

Nombre y descripción	Imagen
<p>Soporte ventiladores laterales: Este elemento sirve de soporte para colocar un par de ventiladores. Los ventiladores servirán para tener un mejor control térmico del material fundido.</p>	
<p>Motor: Se dispone de dos motores NEMA 17 para generar el movimiento del sistema de desplazamiento del cabezal de impresión.</p>	

Polea motor: Elemento cuya función es conectar el motor de accionamiento con una correa, con el objetivo de transmitir el movimiento al resto de componentes. Su unión se realiza mediante 2 pernos M3 que incluye el fabricante. Se requieren 2 piezas.



Polea: Elemento cuya función es conectar la correa del motor con el eje al que va acoplado, con el objetivo de transmitir el movimiento al resto de componentes. Su unión se realiza mediante 2 pernos M3 que incluye el fabricante. Se requieren 9 piezas.

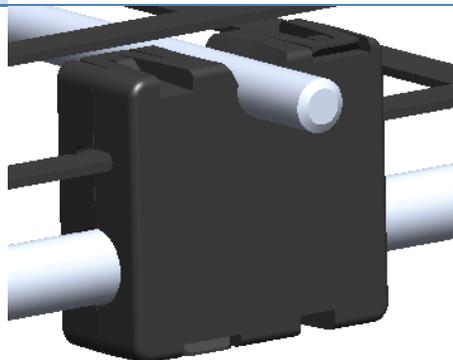


Polea doble: Elemento cuya función es conectar la correa del motor con el eje al que va acoplado, con el objetivo de transmitir el movimiento al resto de componentes. Su unión se realiza mediante 2 pernos que incluye el fabricante. Se requiere 1 pieza.



Bloque deslizante:

Este elemento se encuentra introducido dentro de uno de los ejes de movimiento, deslizando por el mismo mediante un casquillo que dispone. A su vez, se encuentra conectado con una de las correas y con el eje del cabezal de extrusión, por lo que cuando la correa a la que se encuentra conectado gira, transmite el mismo movimiento al cabezal de extrusión. Se requieren 4 piezas.



Extrusor:

El cabezal de impresión se encarga de recibir el filamento, fundirlo y depositarlo. A su vez, se sirve de unión con el sistema de desplazamiento, que le transmite el movimiento.



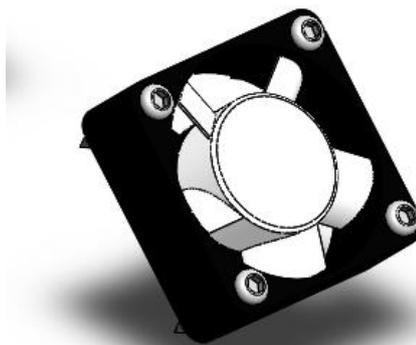
Correa motor: Elemento cuya función es conectar el motor de accionamiento con otra polea conectada a un eje, con el objetivo de transmitir el movimiento al resto de componentes. Se requieren 2 piezas.



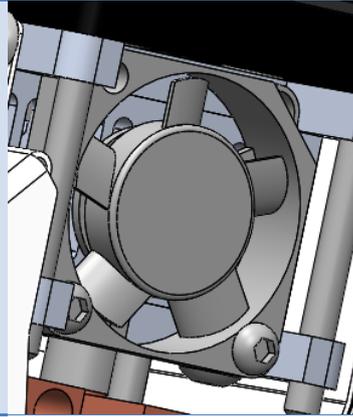
Correa movimiento: Elemento cuya función es conectar dos ejes paralelos y el bloque deslizante, con el objetivo de transmitir el movimiento al resto de componentes. Se requieren 2 piezas. Se requieren 4 piezas.



Ventiladores laterales: Elemento cuya función es enfriar correctamente la pieza antes de depositar las siguientes capas. Se requieren 2 piezas.



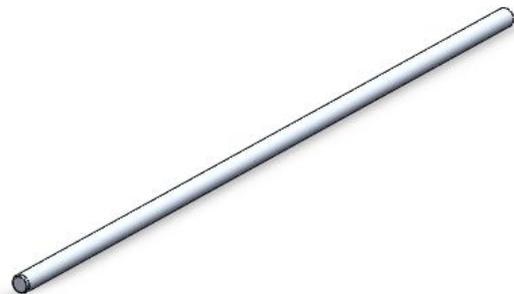
Ventilador trasero: : Elemento cuya función es enfriar la parte alta del *HotEnd*, ya que si se calienta demasiado, el plástico se puede fundir muy arriba y puede atascar el *HotEnd*. Se requiere 1 pieza.



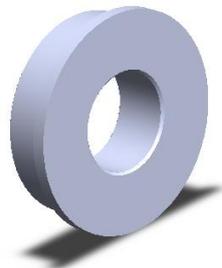
Eje 6mm: Elemento cuya función es transmitir el movimiento al cabezal de impresión. Para ello, este eje se encuentra conectado con el bloque deslizante. Se requieren 2 piezas.



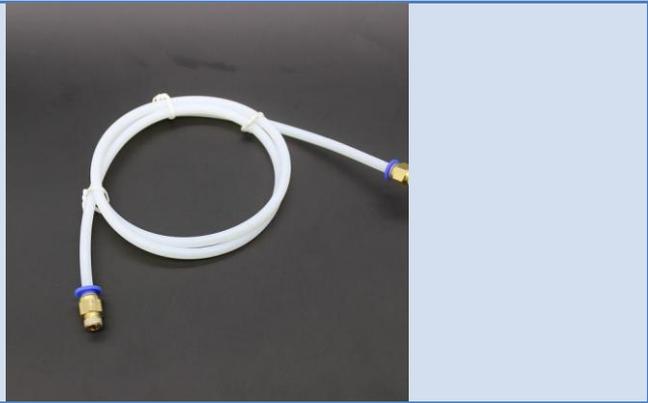
Eje 8mm: Elemento cuya función es recibir el movimiento a través de las poleas y transmitir el movimiento a las poleas que tiene incrustadas. Además este eje se encuentra conectado con el bloque deslizante, mediante un casquillo. Se requieren 4 piezas.



Rodamiento: Elemento cuya función es transferir el movimiento, es decir, apoyar y guiar varios componentes que giran entre sí. En cada uno de los soportes de ejes anteriormente analizados, se coloca su correspondiente rodamiento. Se requieren 8 rodamientos.



Tubo PTFE con sus correspondientes acoples



Para el sistema de extrusión, analizado en el apartado 4.3.3 "Dispensar el material", se decide implementar un sistema de extrusión tipo Bowden, impreso en material PLA, tal y como se muestra en la figura:

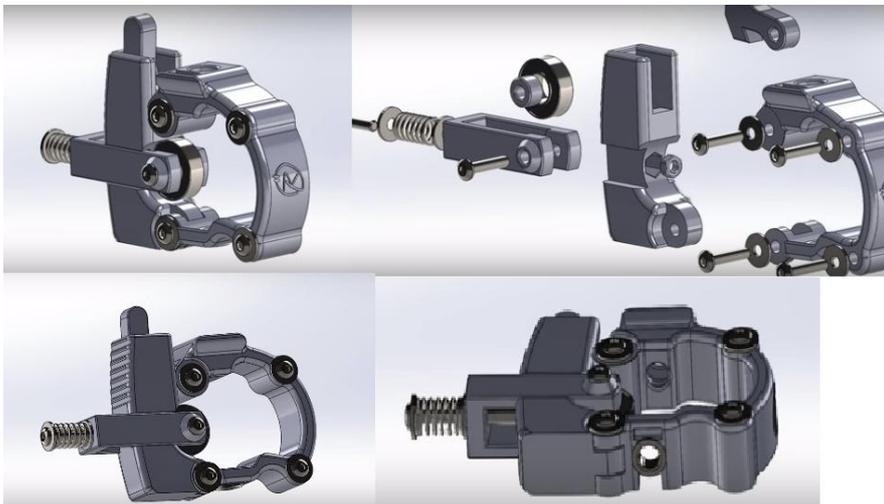


Figura 78: Extrusor Bowden

<https://www.youmagine.com/designs/alternative-um2-feeder-version-two>

En función del diámetro del filamento a extruir, este sistema debe modificarse. Al igual que el diámetro del tubo PTFE.

5.1.4 DESCRIPCIÓN DEL SUBCONJUNTO BASE DE DEPOSICIÓN

La base de deposición está compuesta por una la plataforma de impresión caliente que garantiza la estabilidad y la adherencia de la pieza durante el proceso de impresión, mejorando el acabado y obteniendo un mayor control dimensional del modelo final impreso, minimizando el fenómeno conocido como *warping*. En el apartado 4.3.6 "Solidificar el material" se analizan las distintas alternativas de base de *cama caliente* (base de deposición calefactable), concluyendo en la implementación de una placa PCB junto con una placa de vidrio para depositar la pieza a fabricar.

Por otra parte, en el apartado 3.3.1.2 "Disposición de los ejes" se decide la implementación de un mecanismo tornillo de potencia.

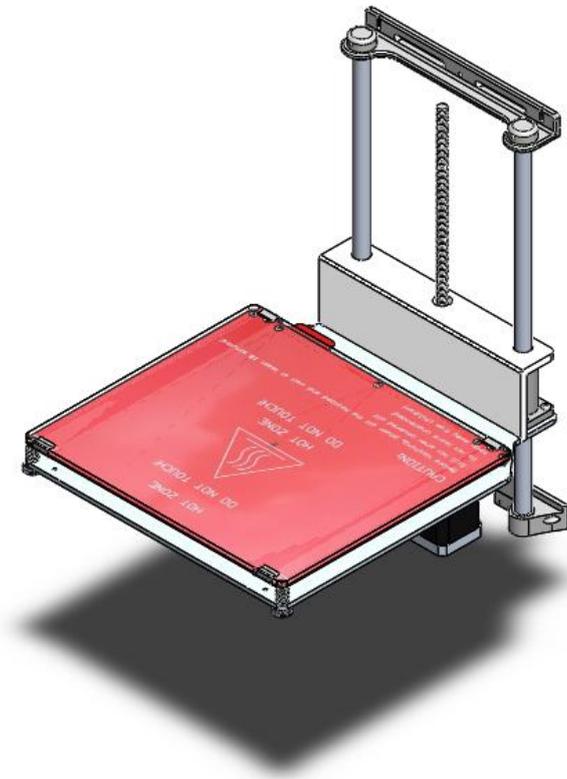


Figura 79: Estructura para la base de deposición

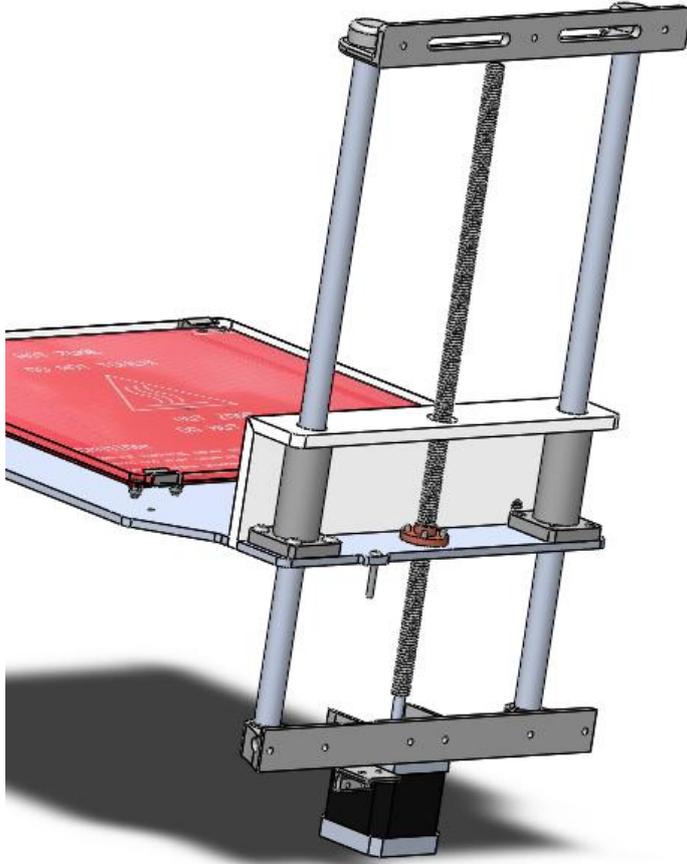
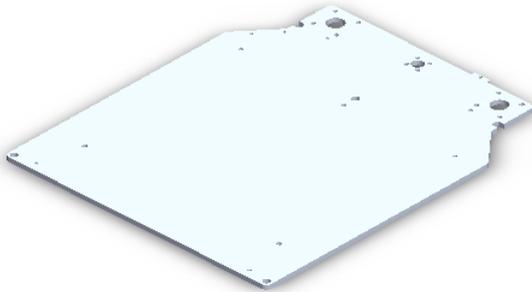


Figura 80: Parte trasera estructura para la base de deposición

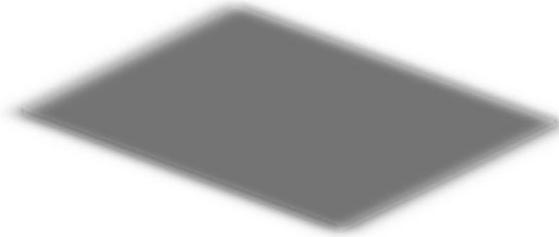
A continuación, en la siguiente tabla se detalla una lista con las piezas que componen este subconjunto y su correspondiente descripción:

Nombre y descripción	Imagen
<p>Placa de base: Este elemento sirve de apoyo para la placa PCB y se encarga de recibir el movimiento que el husillo del tornillo de potencia transfiere. Se requiere 1 pieza.</p>	

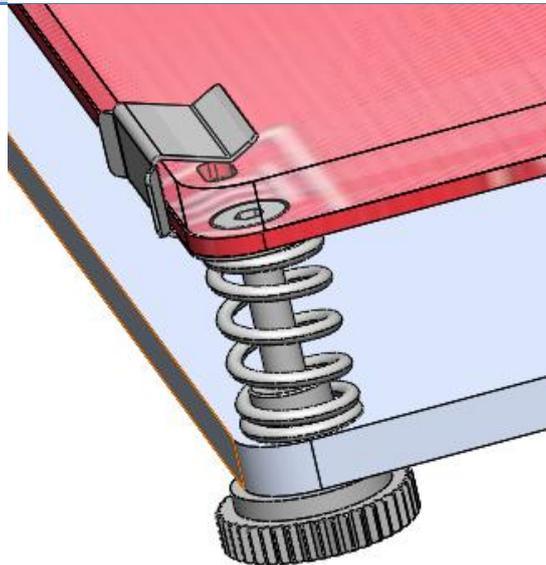
Placa PCB: el circuito impreso se utiliza para aumentar su temperatura mediante del paso de corriente eléctrica a través de las pistas conductoras. Se requiere 1 pieza.



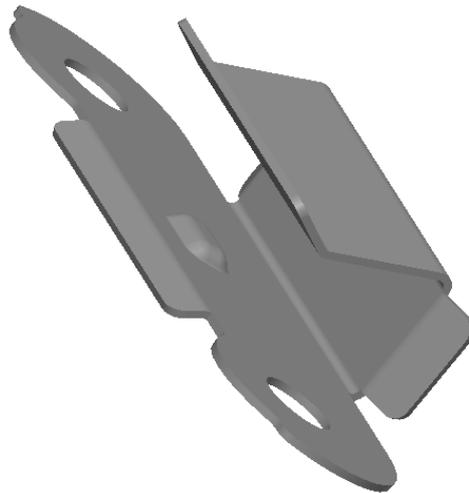
Placa vidrio: Este elemento sirve de superficie adicional a la placa calefactora, es extraíble, de forma que se facilita la extracción de la pieza y su intercambio en caso de rallarse o dañarse.



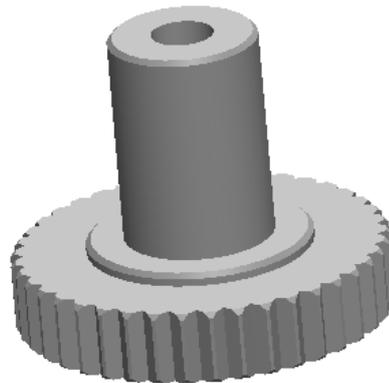
Sistema de fijación placa PCB y la placa de base



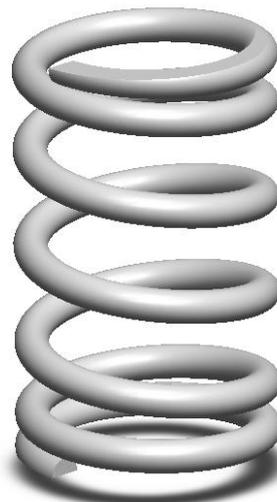
Clips: Este elemento sirve para unir la superficie adicional de cristal a la placa calefactora. Se requieren 4 piezas.

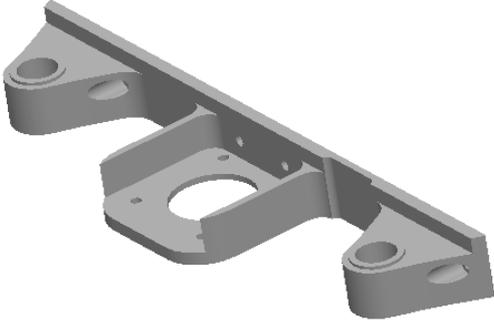
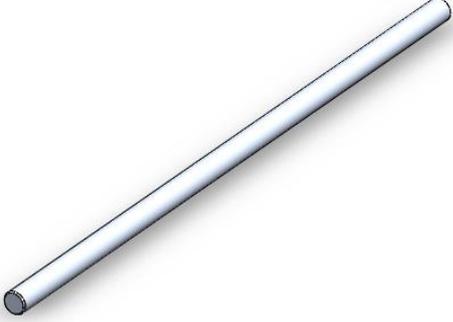
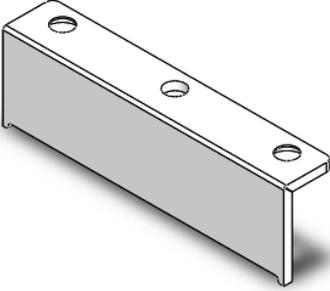


Tuerca placa de base: Este elemento sirve para unir la superficie adicional de cristal con la placa calefactora y la placa de base. Se requieren 3 piezas.



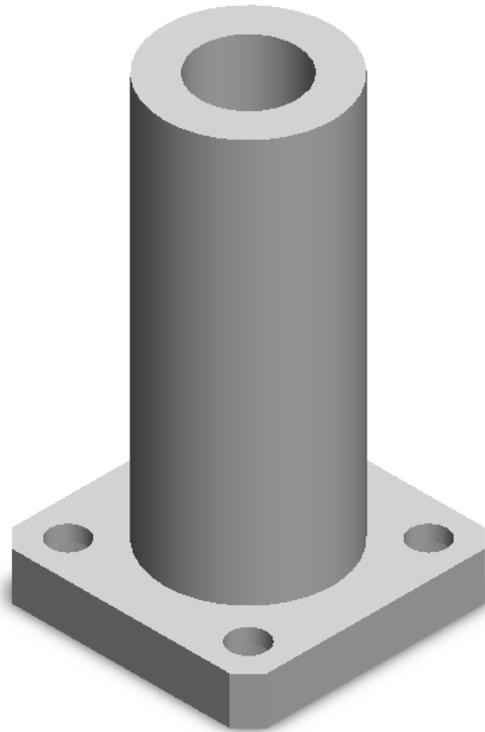
Muelles base de impresion: Este elemento sirve para mantener una determinada distancia entre la placa calefactora y la placa de base. Se requieren 3 piezas.



<p>Soporte inferior eje Z: Este elemento sirve de apoyo para el motor que desplaza el tornillo de potencia, las guías en forma cilíndrica y unir el conjunto al chasis de la máquina. Este elemento va atornillado al chasis de la máquina mediante 6 tornillos de cabeza hueca M3x10 (mm). Se requiere 1 pieza.</p>	
<p>Varilla 12mm: Elemento cuya función es asistir al movimiento de la placa de base. Se requieren 2 piezas.</p>	
<p>Soporte eje Z intermedio: Elemento cuya función es decorativa, permite ocultar las guías lineales de recirculación de bolas. Se requiere 1 pieza.</p>	

Guía lineal de recirculación de bolas:

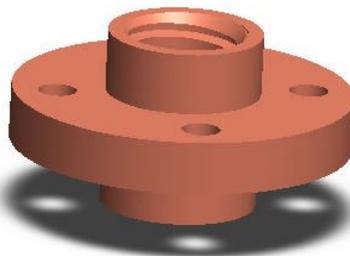
Este elemento conecta la placa de base y las guías cilíndricas, permitiendo un deslizamiento suave a través de la guía. Su fijación a la placa de base se realiza mediante pernos que el propio fabricante suministra. Se requieren 2 piezas.

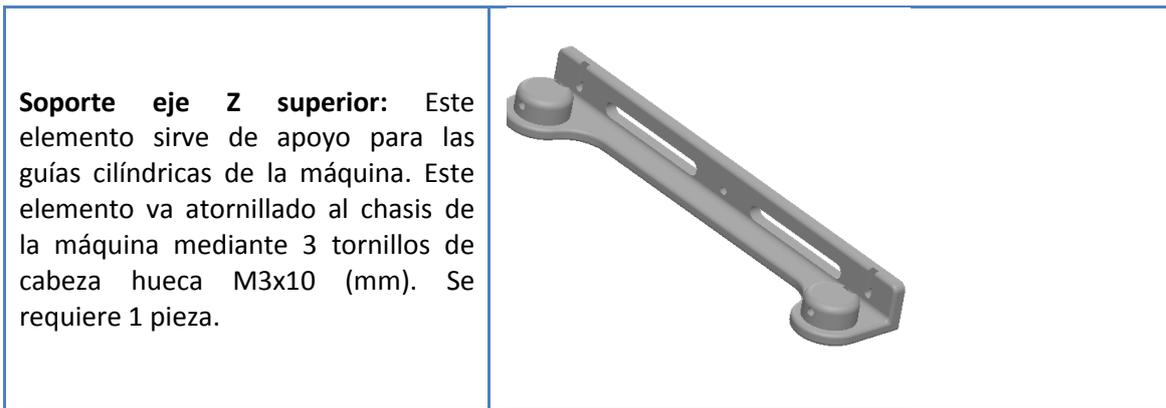


Tornillo sin fin: Este elemento se encuentra conectado al motor, el cual le transfiere el movimiento que permite desplazar un husillo, que a su vez desplaza la placa de base. Se requiere 1 pieza.



Acoplador tornillo de potencia: Este elemento sirve para conectar la placa de base con el tornillo potencia. Se requiere 1 pieza.





5.1.5 DESCRIPCIÓN SUBCONJUNTO CARCASA

La carcasa es un elemento cuya función consiste en albergar y proteger los componentes de la máquina. Durante el diseño de la misma, se tiene en cuenta la seguridad del usuario, evitando la posibilidad de contacto voluntario con las piezas y los componentes internos de la máquina.

Además es un elemento que otorga rigidez a la máquina, y sirve para minimizar el ruido que emite la máquina durante su funcionamiento, así como para contener los olores que se generan cuando el extrusor funde el material de impresión.

Tras el análisis de las distintas alternativas disponibles realizado en el apartado 3.3.1.3 "Carcasa" se decide implementar una carcasa fabricada en aluminio.

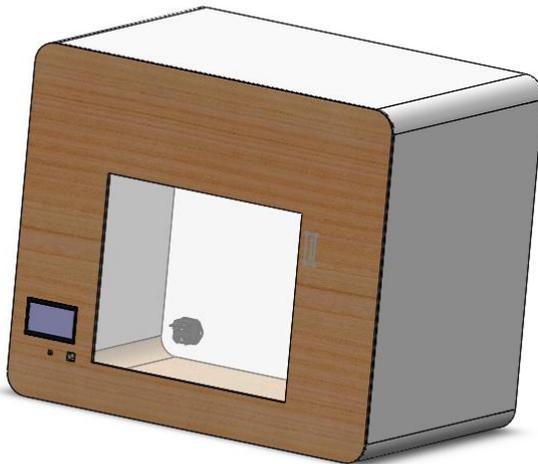


Figura 81: Carcasa

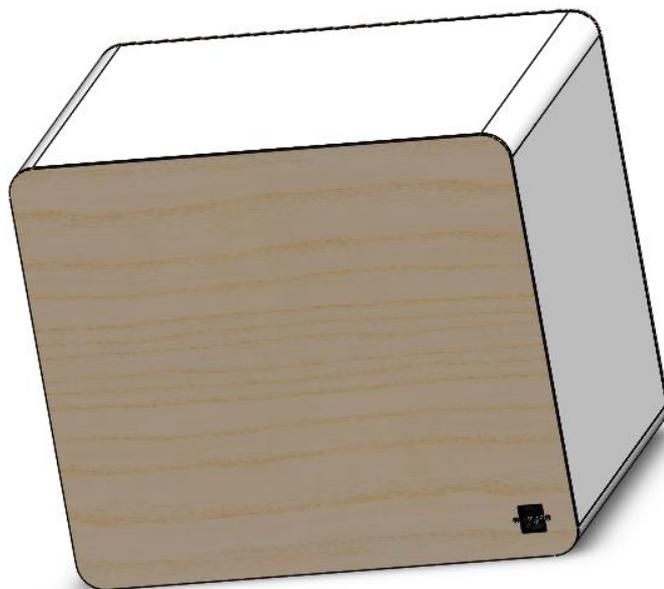
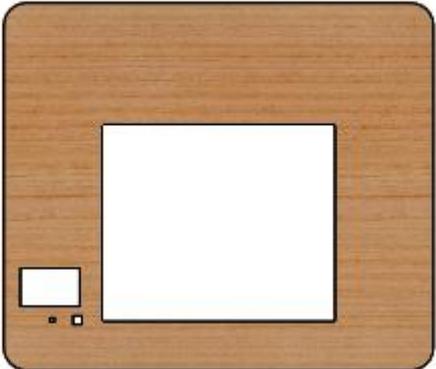
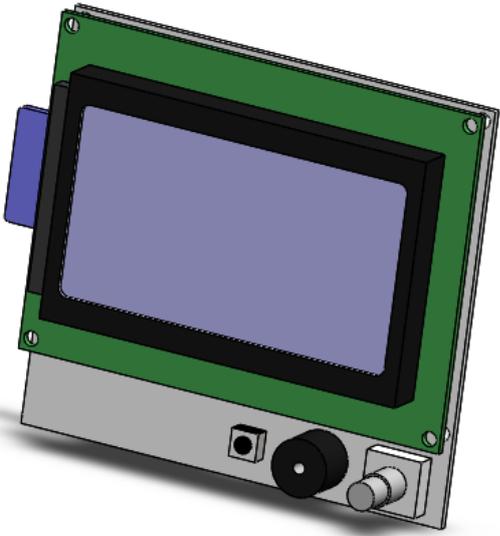
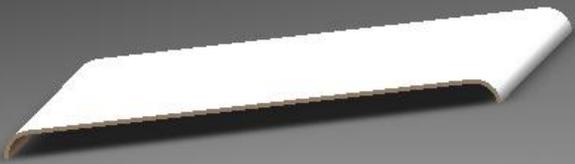
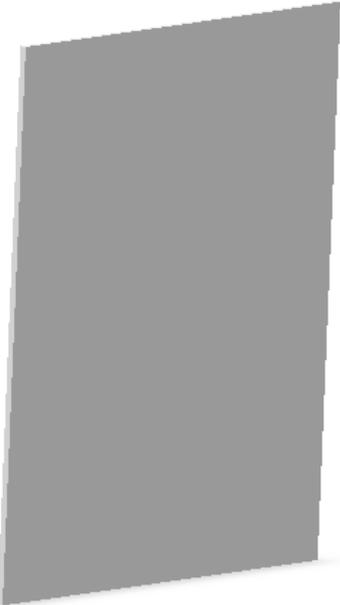


Figura 82: Parte trasera de la carcasa

A continuación, en la siguiente tabla se detalla una lista con las piezas que componen este subconjunto y su correspondiente descripción:

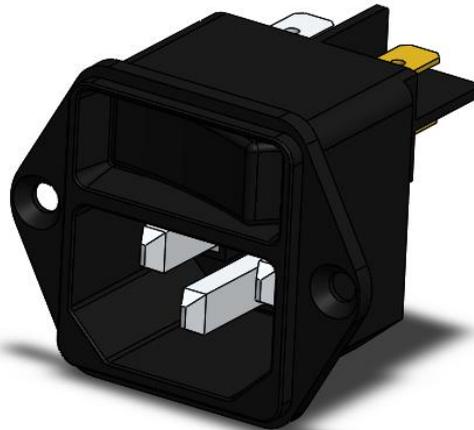
Nombre y descripción	Imagen
Tapa delantera de la carcasa	 A 2D top-down rendering of the front cover of the wooden case. It is a square piece with a light brown wood grain texture. In the center, there is a large white rectangular cutout. In the bottom left corner, there is a smaller white rectangular cutout with two small black dots below it.

<p>Full Graphic Smart Controller</p>	
<p>Tapa de arriba de la carcasa</p>	
<p>Tapas laterales de la carcasa: Este elemento permite abrir la máquina para sustituir las bobinas de filamento en ambos lado de la máquina. Sin embargo, en el lado izquierdo de la máquina también sirve para acceder al controlador de pantalla de la máquina e introducir una tarjeta SD.</p>	

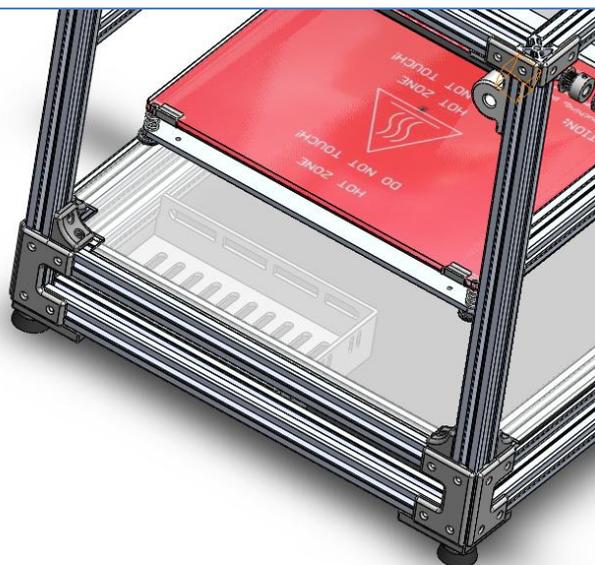
Tapas trasera de la carcasa

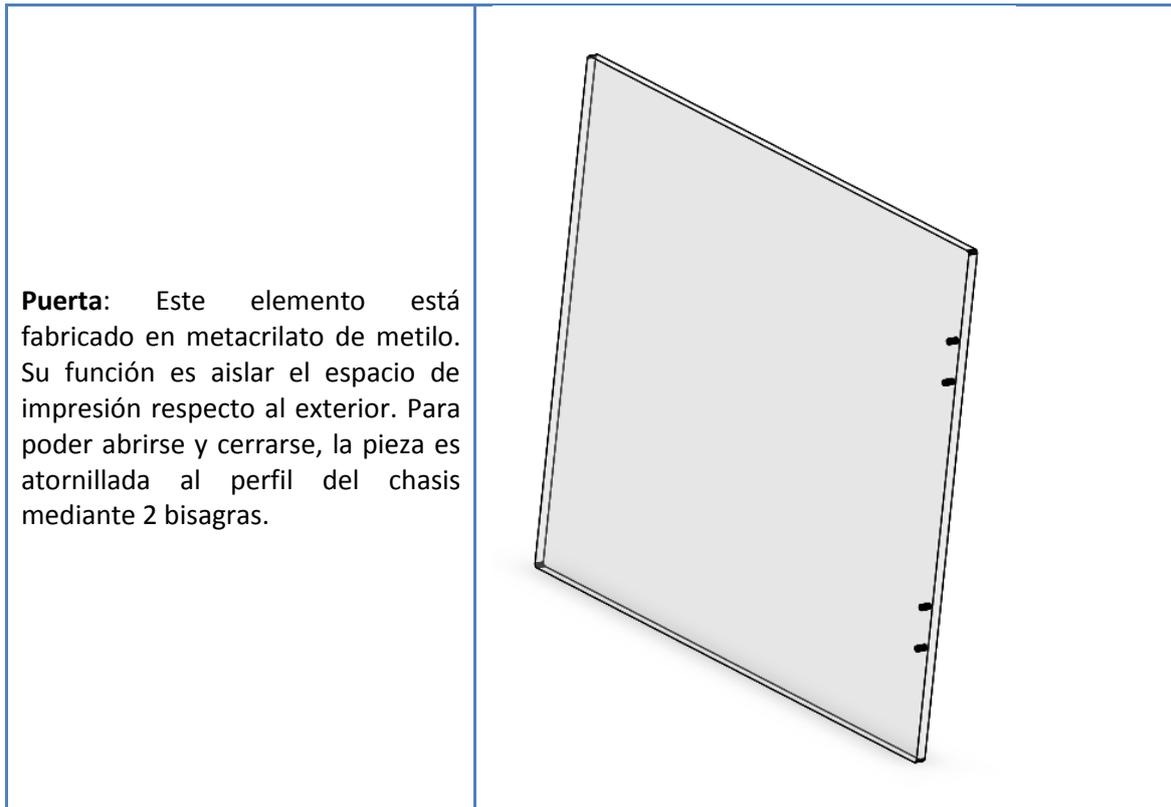


Conector C14 220v: Conector C14 220v con interruptor integrado, para integrarlo en el panel trasero.



Tapa inferior metacrilato de metilo: Este elemento se encarga de proteger físicamente y térmicamente todos los componentes electrónicos, como la placa RAMPS y la tarjeta controladora. su colocación no requiere ninguna sujeción, ya que apoya sobre los perfiles.





La obertura de las tapas laterales se realiza mediante varias bisagras. Por otra parte, para minimizar el impacto estético de la máquina, se decide implementar un sistema *push-open system* (sistema de obertura por empuje), tal y como se muestra en la figura 83.

Además, para garantizar el cierre de las puertas y garantizar el sellado de éstas, se determina utilizar un sistema de imanes, colocando un componente en la puerta y otro en el chasis.



Figura 83: Sistema de obertura por empuje

6. VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA

El lanzamiento de un nuevo producto está siempre sujeto a incertidumbres, pudiendo ser un riesgo para la empresa que lleva a cabo la materialización del mismo. Sin embargo, en el caso de este proyecto el riesgo es relativamente bajo, dado que mercado actual demanda cada vez más este tipo de tecnología, debido a su amplio ámbito de aplicaciones y fundamentalmente gracias al descenso de sus precios, tanto de impresoras como de consumibles .

La viabilidad técnica viene determinada fundamentalmente por factores de diseño, de proceso y económicos.

Para la realización de este proyecto se han tenido en cuenta los factores de diseño tales como:

- La reparabilidad y recambios de la máquina: En la medida de lo posible se ha tratado de utilizar piezas estandarizadas y piezas comerciales cuya adquisición resulte sencilla. Además para mejorar la reparabilidad y posible fabricación, ciertos componentes de la máquina pueden fabricarse a partir de la misma máquina o de otras impresoras 3D, acortando de alguna manera los plazos de entrega. Y permitiendo así poder tener un stock interno de piezas en el almacén.
- Se ha intentado crear un diseño atractivo pero viable de realizar al mismo tiempo, alejándose de los estándares.
- Mantenimiento de la máquina: Este proyecto ha sido proyectado para ofrecer el mínimo mantenimiento de los componentes por parte del usuario.

Del mismo modo, se han tenido en cuenta factores de proceso tales como:

- Se ha tenido en cuenta durante todo el proceso de diseño del proyecto el objetivo de facilitar las operaciones de montaje de la máquina.
- Los materiales utilizados para la fabricación de los componentes son habituales, hecho que permite a las empresas de subcontratación fabricar de forma rápida las piezas.
- La viabilidad de fabricación del proyecto es totalmente factible ya que se han utilizado procesos de fabricación bastante comunes determinados por la experiencia del autor y primando ante todo los costes.

En cuanto a las consideraciones económicas, el factor económico ha tenido un importante peso la hora de diseñar y realizar este proyecto, evitando el diseño de piezas con procesos no usuales, estandarizando piezas y diseñando piezas con medidas sin decimales, que encarecen el proceso de fabricación.

En el aparatado del presupuesto se detalla todos los costes de la máquina que cumplen con los costes esperados siendo económicamente competitivos en el mercado.

7. CONCLUSIONES

El presente proyecto fin de grado ha servido para poner en práctica todos los conocimientos adquiridos durante los cursos que conforman el grado, llevándolos a cabo de la mejor forma posible en cada uno de los distintos retos que ha supuesto el llevar a cabo este proyecto.

El proyecto se inició con un intenso estudio de las impresoras 3D, tecnologías de impresión 3D y con el análisis de todos los componentes . Analizando de alguna manera el proceso manual para el diseño automático de la máquina.

Con el diseño de la impresora 3D se ha conseguido un producto que cumple con las funciones básicas de este tipo de máquinas. Además, tiene un diseño y un aspecto bastante atractivos diferenciándose de lo ya existente en el mercado.

Los complementos añadidos a la máquina como la carcasa y la posibilidad de fabricar un gran porcentaje de sus componentes le dan a la máquina un valor añadido.

Como ya se ha razonado anteriormente la máquina es viable de fabricar, sin embargo su puesta en marcha requiere un profundo proceso de calibración de la máquina, ya que es un proceso determinante en la calidad de la pieza a fabricar.

Para concluir, decir que la realización de un proyecto real es bastante más complejo que uno teórico dado que hay aspectos muy importantes que no se han podido abarcar en la totalidad del proyecto.

Por último, en la realización de un proyecto, a pesar de cumplir las especificaciones técnicas propuestas, existen algunos aspectos del diseño que podrían formar parte de un estudio posterior con el objetivo de ser mejorados, como:

- Integración de una pantalla táctil
- Poder cargar archivos de formato G a la máquina mediante wifi
- Programa de personalización de la impresora 3D
- Calibración automatizada

8. BIBLIOGRAFÍA

<http://reprap.org/>

<http://www.engineering.com/3DPrinting/3DPrintingArticles/ArticleID/8842/ProX-300-Metal-Printing.aspx>

<http://www.faberplast.net/Materiales.aspx>

<http://www.zonamaker.com/impresion-3d/mejoras-trucos-y-consejos/pantalla-lcd>

[<http://www.reprap.org/wiki/Bowden/es>]

[<http://reprap.org/wiki/Category:Extruders>]

[<http://www.ib.cnea.gov.ar/nmayer/monografias/pasoapaso.pdf>]

https://aulavirtual.uji.es/pluginfile.php/2554316/mod_resource/content/1/Tema%203.pdf

<http://www.mecapedia.uji.es/catalogos/catalogos.com.htm>

http://www.mecapedia.uji.es/cojinete_de_friccion.htm

<http://www.mecapedia.uji.es/rodamiento.htm>

<http://em.upc.edu/ca/docencia/estudis-de-grau/etseib/TFTM/quadern-de-treball/versio-castellana/leccion-6>

<http://www.todorobot.com.ar/tutorial-sobre-motores-paso-a-paso-stepper-motors/>

http://reprap.org/wiki/Cinta_Kapton

<http://bootsindustries.com/portfolio-item/heat-bed-3d-printing/>

<http://www.makermania.es/topic/tutorialpararamps1-4/>

http://www.reprap.org/wiki/Clone_wars:_Glosario/es#Electr.C3.B3nica

<http://reprap.org/wiki/Endstop>

ANEXOS

Diseño de una máquina impresora 3D de bajo coste para uso
en el hogar o pequeños laboratorios

ÍNDICE

1. Selección y cálculo de componentes	3
1.1 elección del motor	3
1.2 Cálculo de la resolución del movimiento en los tres dimensiones del espacio	3
1.2.1 Cálculo de la resolución del movimiento en los ejes X e Y.....	4
1.2.2 Cálculo de la resolución del movimiento en el eje Z.....	4
1.2.3 Cálculo de la resolución del extrusor	4
1.2.4 Conclusión	5
1.3 Análisis resistente (CAE).....	5
1.3.1 Soporte bobina.....	6
1.4 Catálogos.....	7

1. SELECCIÓN Y CÁLCULO DE COMPONENTES

1.1 ELECCIÓN DEL MOTOR

La Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (NEMA: *National Electrical Manufacturers Association*) es una organización de normalización en Washington, EE.UU., que publica una serie de estándares técnicos aplicados al campo de la electricidad. Por este motivo, los motores analizados emplean dichos estándares.

Los motores a pasos que emplean las referencias NEMA para aplicaciones de control numérico más habituales son los siguientes:

- NEMA 17: Aplicaciones que requieren un par bajo (0,56 N/m)
- NEMA 23: Aplicaciones que requieren un par moderado (2,68 N/m)
- NEMA 34: Aplicaciones que requieren un par elevado (12,07 N/m)

Para la selección del motor se realiza una serie de suposiciones de carga, mediante las cuales se estimará el par máximo que podría requerir el motor durante la fase arranque. Se considera el caso más extremo, en el cual el motor tiene que dar al sistema el par suficiente para alcanzar la velocidad máxima de impresión, 300mm/s, en un periodo de tiempo de 0.1 segundos. Obteniendo una aceleración de $3m/s^2$. Por otra parte, se considera que el motor tiene que mover una carga de 5Kg, una cifra muy superior a las condiciones de trabajo reales. Se tiene:

$$Fuerza = masa \cdot aceleración = 5kg \cdot \frac{3m}{s^2} = 15N$$

La polea encargada de desplazar todo el conjunto de movimiento desde el motor al resto de componentes tiene un diámetro de 5mm. Obteniendo el par necesario:

$$Par = Fuerza \cdot Distancia = 15N \cdot 0.0025m = 0.0125N/m$$

Por lo que el motor NEMA 17 es suficiente para su uso en este proyecto. Las especificaciones del motor seleccionado se podrán consultar en el apartado 1.4 de este Anexo.

1.2 CÁLCULO DE LA RESOLUCIÓN DEL MOVIMIENTO EN LOS TRES DIMENSIONES DEL ESPACIO

La placa controladora Arduino Mega 2560 envía una señal a los motores a través de los drivers alojados en la tarjeta RAMP para que realicen un movimiento. El driver remite uno o

varios pasos provocando que el motor realice un giro de 1.8° por paso. El desplazamiento angular se convierte en movimiento lineal a través del conjunto de poleas y correas.

1.2.1 CÁLCULO DE LA RESOLUCIÓN DEL MOVIMIENTO EN LOS EJES X E Y

Desplazamiento lineal por vuelta = n°dientes de la polea · paso de la correa

$$\text{Desplazamiento lineal por vuelta} = 20 \cdot 2\text{mm} = 40\text{mm}$$

Puesto que los driver del motor funcionan con desplazamientos angulares:

$$\text{Desplazamiento por } \mu\text{Paso} = \frac{\text{Desplazamiento lineal por vuelta}}{360} \cdot \frac{\text{Ángulo por Paso}}{\text{microstepping}}$$

El driver seleccionado para este proyecto es el modelo Polulu A4988 que permite un micropaso máximo de 1/16.

$$\text{Desplazamiento por } \mu\text{Paso} = \frac{40\text{mm}}{360^\circ} \cdot \frac{1.8^\circ}{16} = 0.0125\text{mm}$$

Resultando el número de pasos por mm para el desplazamiento en el eje X e Y:

$$N^\circ \text{ de pasos por mm} = \frac{1}{\text{Desplazamiento por } \mu\text{Paso}} = \frac{1}{0.0125} = 80 \mu\text{Pasos por mm}$$

1.2.2 CÁLCULO DE LA RESOLUCIÓN DEL MOVIMIENTO EN EL EJE Z

El movimiento del eje Z es dependiente del paso de la rosca del tornillo de potencia, que para este proyecto es de 2mm. Por lo tanto, el desplazamiento lineal por cada vuelta será de 2mm.

$$\text{Desplazamiento por } \mu\text{Paso} = \frac{\text{Desplazamiento lineal por vuelta}}{360^\circ} \cdot \frac{\text{Ángulo de paso}}{\text{microstepping}}$$

El driver encargado de transmitir los pasos al motor es el driver Polulu A4998 que permite un micropaso máximo de 1/16.

$$\text{Desplazamiento por } \mu\text{Paso} = \frac{2\text{mm}}{360^\circ} \cdot \frac{1.8^\circ}{16} = 0.000625\text{mm}$$

Resultando el número de pasos por mm para el desplazamiento en el eje Z:

$$N^\circ \text{ de pasos por mm} = \frac{1}{\text{Desplazamiento por } \mu\text{Paso}} = \frac{1}{0.000625} = 1600 \mu\text{Pasos por mm}$$

1.2.3 CÁLCULO DE LA RESOLUCIÓN DEL EXTRUSOR

El movimiento del filamento se produce gracias al paso que realiza a través de un rodamiento y una rueda dentada que está conectada directamente al eje del motor. La distancia del centro del eje del motor al punto de tangencia de la rueda dentada con el material de extrusión. (aproximadamente 3mm)

$$\text{Desplazamiento lineal por vuelta} = 2 \cdot \pi \cdot 3 = 18.85\text{mm}$$

$$\begin{aligned}\text{Desplazamiento por } \mu\text{Paso} &= \frac{\text{Desplazamiento lineal por vuelta}}{360^\circ} \cdot \frac{\text{Ángulo de paso}}{\text{microstepping}} \\ &= \frac{18.85 \text{ mm}}{360^\circ} \cdot \frac{1.8^\circ}{16} = 0.0059\text{mm}\end{aligned}$$

Resultando el número de pasos por mm para el desplazamiento en el eje Z:

$$\begin{aligned}\text{N}^\circ \text{ de pasos por mm} &= \frac{1}{\text{Desplazamiento por } \mu\text{Paso}} = \frac{1}{0.0059} \\ &= 179.76127 \mu\text{Pasos por mm}\end{aligned}$$

1.2.4 CONCLUSIÓN

La resolución lineal obtenida para un microstepping de 1/16 perteneciente al driver Polulu A4998 es:

Eje X e Y= 0.0125mm

Eje Z= 0.000625mm

Extrusor= 0.0059mm

1.3 ANÁLISIS RESISTENTE (CAE)

Una vez finalizado todo el proceso correspondiente al diseño de las piezas que componen la impresora 3D, se procede a verificar la resistencia que poseen algunas de sus partes mediante un análisis por elementos finitos (FEA) utilizando el propio software que en la fase anterior de diseño, SolidWorks®.

El análisis se centra en el soporte de la bobina, que es el elemento más sensible para sufrir deformación debido a su geometría y material de fabricación. La bancada de la máquina está compuesta de barras de aluminio de perfil 20x20 mm que asegura la rigidez del sistema, ya que como se ha observado en los cálculos para la selección del motor, la máquina está expuesta a fuerzas de baja magnitud. Además, la unión de los perfiles mediante piezas fabricadas en PLA junto con los soportes antivibración minimizarán los impactos ante vibraciones. Sin embargo, sería necesario realizar un prototipo de la máquina y comprobar empíricamente, mediante un análisis estático y dinámico de la misma, si existen se alcanzan las frecuencias de excitación y la amplitud de las vibraciones alcanzadas.

1.3.1 SOPORTE BOBINA

Para comprobar que el diseño del soporte de la bobina se realiza un estudio estático colocando una carga de 2Kg sobre la superficie que tendría contacto con la bobina de filamento.

Tras realizar el estudio, como se observa en la Figura 1, la pieza no alcanza en ningún momento la límite de tracción.

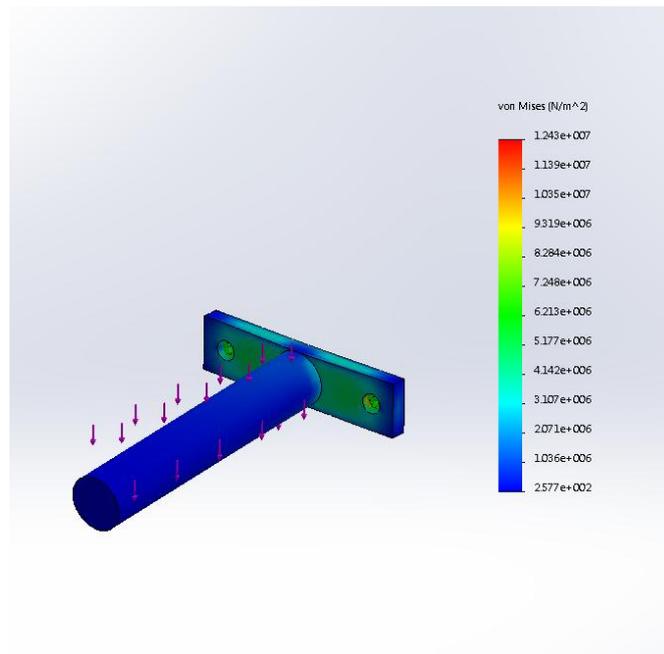


Figura 1: Tensiones sufridas por el soporte de la bobina

Por otra parte, la pieza sufre una deformación máxima cercana a 2mm (Figura 2)

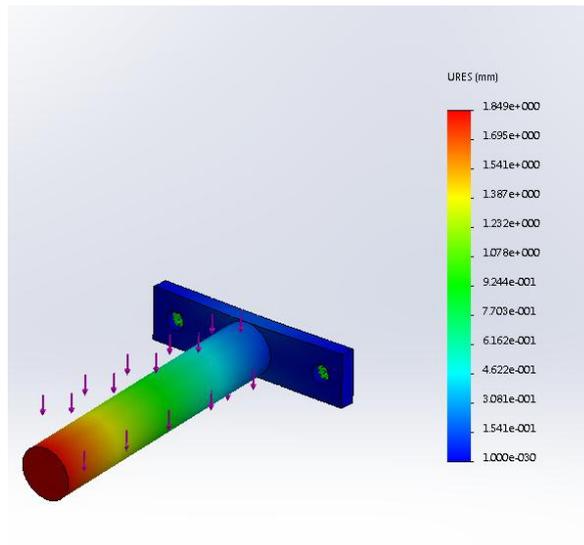


Figura 2: Desplazamiento sufridos soporte de la bobina

1.4 CATÁLOGOS

HOME / PRODUCTS / [200-2GT-6 ENDLESS BELT](#)



200-2GT-6 endless belt

\$0.40

Part No. D-2GT-6 Weight: 0.005Kgs

AVAILABLE OPTIONS :

Quality: + -

Add To Cart

Add To Wishlist

Share 0

Plus 0

Tweet 0

Pinterest 0

ShareThis

GT2 Belt, Closed-loop, 200mm length, 100 teeth, 6mm width

Tooth Profile: GT2 or 2GT Round Profile

Material: NeopreneRubber with Fiberglass Reinforced

Color: Black

Pitch: 2mm lead

Tooth Number: 100

Length: 200mm

Width: 6mm

200-2GT-6 and 610-2GT-6 is in the BOM of Ultimaker.

HOME / PRODUCTS / 610MM OR 616MM CLOSED-LOOP GT2 BELT



610mm or 616mm closed-loop gt2 belt

\$1.10

Part No. K-2GT-6 Weight: 0.010Kgs

AVAILABLE OPTIONS :

Size:

Quality: + -

Add To Cart

Add To Wishlist

[Facebook Share](#) 0 [Google Plus](#) 0 [Twitter](#) 0 [Pinterest](#) 0

[ShareThis](#) [New](#)

GT2 Belt, Closed-loop, 610mm length, 305 teeth, 6mm width

Tooth Profile: GT2 or 2GT Round Profile

Material: Neoprene Rubber with Fiberglass Reinforced

Color: Black

Pitch: 2mm

Tooth Number: 305

Length: 610mm

Width: 6mm

Quantity: 1 piece

[HOME](#) / [PRODUCTS](#) / [LM6LUU LINEAR BEARING](#)



LM6LUU Linear Bearing

\$1.20

Part No. LM6LUU Weight: 0.008Kgs

AVAILABLE OPTIONS :

Quality: + -

[Add To Cart](#) [Add To Wishlist](#)

[Share](#) 0 [Plus](#) 0 [Tweet](#) 0 [Pinterest](#) 0
[ShareThis](#) [New](#)

UO004 LM6LUU Linear Bearing

Ultimaker Origin and Ultimaker 2 both use this linear bearing on 6mm smooth rod or shaft.

Item: LM6LUU Bearing
Type: Linear Motion Ball Bushing
Number of Ball Circuit: 4
Size: 6mm x 12mm x 35mm
Quantity: One Bearings

HOME / PRODUCTS / [FLANGED BALL BEARING F688ZZ](#)



Flanged Ball Bearing F688ZZ

\$0.50

Part No. F688ZZ Weight: 0.010Kgs

AVAILABLE OPTIONS :

Quality: + -

Add To Cart

Add To Wishlist

Share

Plus

Tweet

Pinterest

ShareThis

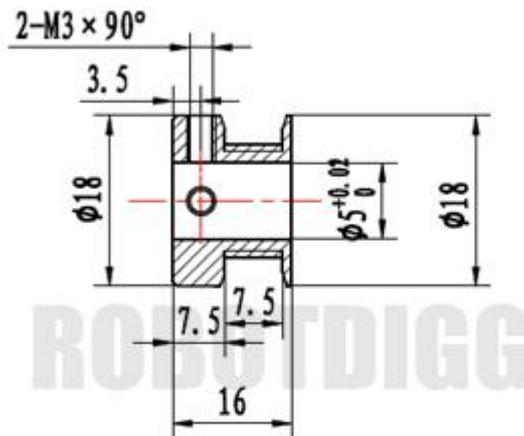
U2001 F688ZZ Flanged Ball Bearing

Dimensions	(mm)	Ultimaker 2
Inside diameter ID d	8	need 8pcs of
Outside diameter OD D	16	F688-2RS or
Thickness B	4	F688ZZ Ball
Size (IDxODxB)mm	8x16x4	Bearing.

Ultimaker 20 Tooth 5mm or 6mm Bore GT2 Pulley

Beside our standard 20 tooth 5mm bore gt2 pulley on the left of the picture. RobotDigg provide **Ultimaker gt2 pulley 20 tooth** 5mm or 6mm bore as well on the right of the picture.

Both are GT2 20 Teeth Pulley for 6 to 7mm wide gt2 belt.

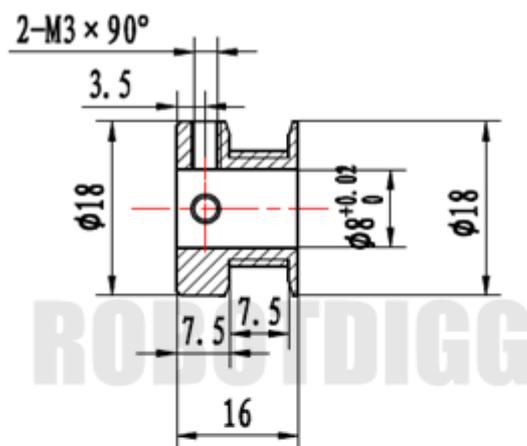


同步带轮参数	
齿形	GT2(圆弧齿)
齿数	20
外径	12.22
节径	12.73
底径	10.72



GT2 Pulley, 8mm Bore, 20 Teeth

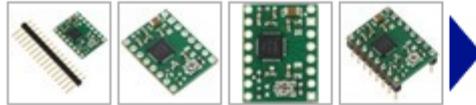
20 Tooth 8mm Bore GT2 Profile Aluminum Pulley. Stock Supply from RobotDigg.



同步带轮参数	
齿形	GT2 (圆弧齿)
齿数	20
外径	12.22
节径	12.73
底径	

Our GT2 pulley and belt combination provide you with much more precision and anti-backlash properties than other non round tooth profile timing pulleys. The GT2 pulley we machine can be used with 6mm and 6.35mm width GT2 belt. It's a good choice for all kinds of machines. 3D printing is just one of these applications. These pulleys will fit 8mm smooth rod and 8mm motor shafts like those found on our NEMA23 Motors.

GT2 pulley, 8mm bore, 20 teeth. For orders of 500 pieces and over please write us for a quote of special.

[Add to wish list](#)

This breakout board for Allegro's A4988 microstepping bipolar stepper motor current and over-temperature protection, and five different microstep resolution (3.3 V and 3.5 V) and can deliver up to approximately 1 A per phase without a heat sink (with sufficient additional cooling). This board ships with 0.1" male header pins included.

Select options: [Go ▶](#)

 [Compare all products in A4988 Stepper Motor Driver Carriers.](#)

[Description](#) **[Specs](#)** [Pictures](#) [Resources](#) [FAQs](#) [On the blog](#)

Dimensions

Size: 0.6" × 0.8"

Weight: 1.3 g¹

General specifications

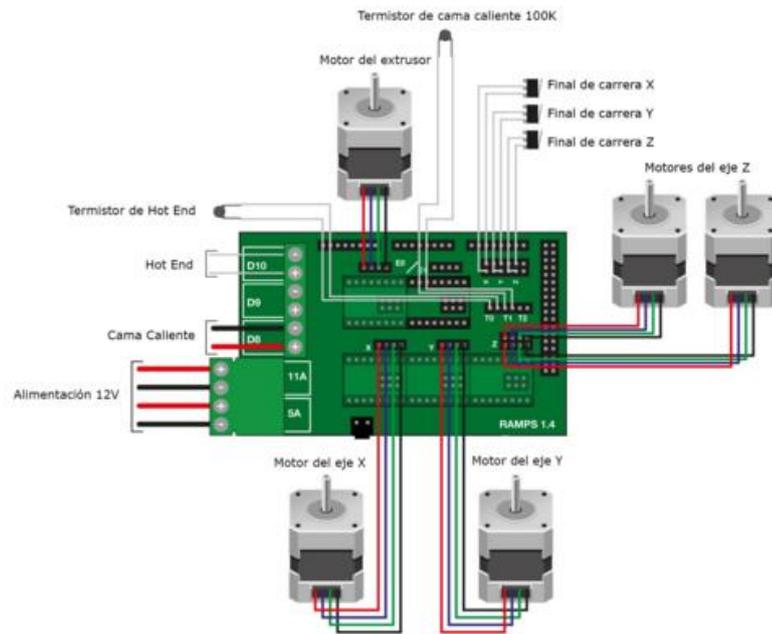
Minimum operating voltage:	8 V
Maximum operating voltage:	35 V
Continuous current per phase:	1 A ²
Maximum current per phase:	2 A ³
Minimum logic voltage:	3 V
Maximum logic voltage:	5.5 V
Microstep resolutions:	full, 1/2, 1/4, 1/8, and 1/16
Reverse voltage protection?:	N
Bulk packaged:	N
Header pins soldered:	N ⁴

Technical specs

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz
Length	101.52 mm
Width	53.3 mm
Weight	37 g

Montaje RAMPS 1.4

5.-Montaje



PLIEGO DE CONDICIONES

Diseño de una máquina impresora 3D de bajo coste para uso en
el hogar o pequeños laboratorios

1. Objeto	3
2. Condiciones generales y legales.....	3
2.1. Normativa vigente	3
2.2. Garantías.....	4
2.3. Control de calidades	5
2.4. Interpretación de documentos.....	5
2.5. Uso de la máquina	5
2.6. Condiciones de seguridad.....	6
3. Pliego de condiciones técnicas y de ejecución.....	7
3.1. Condiciones técnicas.....	7
3.1.1. Mantenimiento del sistema	7
3.1.2. Especificaciones de materiales máquinas y equipos.....	8
3.2. Condiciones de ejecución	9

1. OBJETO

La finalidad de este pliego de condiciones es definir las condiciones generales y legales, las especificaciones técnicas y de ejecución de todos los procesos necesarios para la materialización del siguiente proyecto: Diseño de una máquina impresora 3D de bajo coste para uso en el hogar o pequeños laboratorios.

Las directrices proporcionadas en el presente pliego, son todas aquellas detalladas en la totalidad de los documentos que comprende el proyecto y, con carácter excepcional, todos aquellos procesos que la empresa encargada de la ejecución de la máquina tiene que llevar a cabo para alcanzar los objetivos de diseño detallados en la memoria.

Asimismo serán incluidas todas aquellas actuaciones que en caso de modificaciones, surjan durante el desarrollo de la misma y aquellas que en el momento de la redacción del proyecto se prescindieron y fuesen necesarias para la correcta finalización de los sistemas detallados en los documentos de los que está compuesto este proyecto.

A continuación se detallan los aspectos de estricto cumplimiento para la realización de este proyecto.

2. CONDICIONES GENERALES Y LEGALES

2.1. NORMATIVA VIGENTE

La normativa vigente para la realización, montaje e inicio del proyecto se detalla a continuación:

- Reglamento de Seguridad en Máquinas (Real Decreto 1495/1986 de 26 de mayo).

Dicho reglamento se inscribe en la línea de política prevencionista de evitar los riesgos en su origen, de ahí que se insista en aspectos como la homologación de la maquinaria, como requisito para su instalación, funcionamiento, mantenimiento o reparación.

En el citado reglamento se fijan unas normas de carácter general, que serán completadas y desarrolladas por Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC).

- Directiva 98/37/CE y Directiva 2006/42/CE sobre seguridad de máquinas.
- UNE EN 894-3:2001 Mandos y accionamientos de control.
- En cuanto a la calidad industrial ISO 9001 se deberá cumplir el Real Decreto 2200/1995, de 28 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de la infraestructura para la Calidad y la Seguridad Industrial.
- Real Decreto 1338/1984, de 4 de julio, sobre medidas de seguridad en entidades y establecimientos públicos y privados.
- Para la prevención de riesgos laborales se determina la Ley 31/1995, de 8 de noviembre.

- Real Decreto 485/1997 de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo. Rango de Tensión continua: 200mV, 2V, 20V, 200V y 2KV.
- R.D.: 1215/1997- Equipos de trabajo. Disposiciones mínimas de seguridad y de salud.
- Real Decreto: 1435/1992 - Máquinas, componentes de seguridad. Marcado "CE".
- RD 1644/2008- Normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas.
- ISO 9001 referente al sistema de gestión de la calidad.
- ISO 14001:2004 referente al sistema de gestión medioambiental.

Las normativas descritas anteriormente serán aplicadas para la realización del proyecto empleando la última revisión actualizada y aceptada de las mismas. En caso de disconformidad entre las normas indicadas y cualquier parte del pliego de condiciones, se aplicará la norma más estricta y reciente.

2.2. GARANTÍAS

Las ventas estarán reguladas por el Código Civil, que normaliza la responsabilidad y obligaciones del vendedor en el artículo 1484.

Según el artículo 1484 el vendedor estará obligado al saneamiento por los defectos ocultos que tuviera la máquina vendida, si la hacen impropia para el uso a la que se destina, o si disminuyen de tal modo este uso que, de haberlos conocido el comprador, no la habría adquirido o habría dado menos precio por ella; pero no será responsable de los defectos manifiestos o que estuvieran a la vista, ni tampoco de los que no lo estén, si el comprador es un perito que, por razón de su oficio o profesión, debía fácilmente conocerlos.

Según el artículo 1485 el vendedor responde al comprador del saneamiento por los defectos ocultos de la máquina vendida, aunque los ignore. Esta disposición no regirá cuando se haya estipulado lo contrario, y el vendedor ignorará los defectos ocultos de lo vendido.

Según el artículo 1486 en los casos de los dos artículos anteriores, el comprador podrá optar entre desistir del contrato, abonándose de los gastos que pagó, o rebajar una cantidad proporcional del precio, a juicio de peritos. Si el vendedor conocía los defectos ocultos de la máquina vendida y no los manifestó al comprador, tendrá éste la misma opción y además se le indemnizará de los daños y perjuicios.

PLAZOS DE LA GARANTÍA:

Así como en la venta de objetos de consumos a los usuarios, la garantía es de dos años en los supuestos regulados por el Código Civil (como sería el de la venta de maquinaria industrial a empresas). La reclamación por defectos ocultos de la maquinaria debe efectuarse dentro del plazo de seis meses desde la entrega de la maquinaria.

Las acciones que resultan de lo dispuesto en los cinco artículos precedentes se extinguirán a los seis meses, contados desde la entrega de la máquina vendida.

2.3. CONTROL DE CALIDADES

El control de calidad se realizará internamente en la entidad contrata por para la materialización del proyecto. Se examinarán todos los planos de fabricación para mandar las piezas fabricadas de la máquina a proveedores externos. En las piezas fabricadas se procederá a comprobar sus medidas, con la finalidad de desechar y proceder a su devolución en aquellas que no cumplan con los requisitos dados en este proyecto.

También, se comprobará que todos los componentes comerciales vienen en perfecto estado y su funcionamiento es totalmente correcto antes de montarlo en la máquina. De esta forma se evita un posible mal funcionamiento de la máquina durante los primeros meses de su puesta en marcha.

2.4. INTERPRETACIÓN DE DOCUMENTOS

La documentación de este proyecto deberá estar definida de forma que cada profesional cualificado que entre a formar parte de la realización de este proyecto sea capaz de entender e interpretar correctamente la información.

La empresa impulsora del proyecto debe organizar a un equipo de trabajo formado por ingenieros mecánicos, electricistas y programadores. De este modo, el director de proyecto debe delegar las tareas a su profesional correspondiente e interviniendo en cada una de las diferentes etapas de ejecución y puesta en marcha de impresora 3D.

2.5. USO DE LA MÁQUINA

Todo usuario es responsable de los daños que pudieran derivarse por un mal uso del mismo, y/o por su mala conservación, falta de reparaciones o cuidados que sean normales o de reglamento.

A continuación se detallan una serie de normas que se deben cumplir durante la utilización de la máquina:

- El usuario encargado de utilizar la máquina debe poseer todos los requisitos psicofísicos y de idoneidad para su utilización.
- El operador debe adoptar todas las medidas pertinentes y preventivas antes de realizar cualquier operación con la máquina.
- El área de trabajo ha de mantenerse libre y despejada de obstáculos que puedan impedir la salida inmediata de la instalación caso de emergencia.
- En caso de suceder una avería en la máquina o en caso de que se detecte un funcionamiento anómalo de alguno de los elementos que constituye la máquina, se debe evitar realizar pruebas por cuenta propia.

- La máquina no debe ser puesta en marcha bajo efectos de alcohol, drogas o sustancias que afecten las capacidades psicofísicas del operario.
- No introducir en la máquina elementos o componentes distintos a los previstos.
 - Para evitar quemaduras o la deformación modelo, no se debe tocar el modelo, el filtro o la plataforma con la mano o cualquier otra parte del cuerpo, mientras la impresora funciona o inmediatamente después de haber terminado la impresión.
 - No introducir partes del cuerpo dentro de la máquina sin tener la total seguridad de que la máquina se encuentra en estado de desconexión. Incluso si se encuentra apagada, asegurarse que se encuentra desconectada de la fuente de corriente eléctrica.
 - La impresora no debe exponerse al agua o la lluvia.
 - No apagar la máquina ni sacar el cable USB durante la carga de un modelo digital, o se perderán los datos del modelo.
 - La impresora está diseñada para funcionar adecuadamente a una temperatura ambiente de entre 15 ° C y 30 ° C y una humedad de entre el 20% y el 50%, el funcionamiento fuera de estos límites puede tener como consecuencia que los modelos sean de menor calidad.
 - No es aconsejable imprimir a velocidades superiores a la máxima, ya que los resultados obtenidos no son óptimos.
 - No se debe manipular la máquina cuando se encuentra en funcionamiento, ya que las temperaturas del extrusor y la cama caliente podrían provocar quemaduras.
 - Una vez terminada la impresión, se recomienda esperar entre 15 y 30 minutos: Una vez transcurrido ese lapso de tiempo, se puede retirar la pieza con seguridad.

2.6. CONDICIONES DE SEGURIDAD.

Todo operario que en razón de su oficio haya de intervenir en la fabricación tiene derecho a reclamar de la empresa todos aquellos elementos que, de acuerdo con la legislación vigente, garanticen su seguridad personal durante la preparación y ejecución de los trabajos que a él fueran encomendados. Es obligación por parte de la empresa realizadora del proyecto tener dichos elementos siempre a mano y facilitarlos en condiciones aptas para su uso. La empresa realizadora pondrá estos extremos en conocimiento del personal que haya de intervenir en los procesos de fabricación, exigiendo de los operarios el empleo de los elementos de seguridad cuando estos no quieran usarlos.

Las empresas fabricantes de los componentes del proyecto se comprometerán a ejecutar la fabricación de todos ellos ajustándose, en todo caso, a las disposiciones laborales hoy vigentes, recayendo sobre ellas la responsabilidad de las desgracias que pudieran ocurrir si, por negligencia, dejaran de cumplir las condiciones que en este pliego se especifican, así como si dejan de tomar cualquier clase de precaución que sea necesaria para la seguridad en el trabajo.

Sin perjuicio de las atribuciones específicas concedidas por el Estado a los Técnicos titulados, las instalaciones podrán ser realizadas por personas físicas o jurídicas que acrediten cumplir las condiciones requeridas en cada Instrucción Técnica Complementaria para ejercer como instaladores autorizados, en todo caso, estar inscritos en el Órgano Territorial competente de la Administración Pública, para lo cual cumplirá, como mínimo, los siguientes requisitos:

- Poseer los medios técnicos y humanos que se especifiquen.

-Tener cubierta la responsabilidad civil que pueda derivarse de su actuación mediante la correspondiente póliza de seguros.

- Responsabilizarse de que la ejecución de las instalaciones se efectúa de acuerdo con las normas reglamentarias de seguridad y que han sido efectuadas con resultado satisfactorio las pruebas y ensayos exigidos.

3. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS Y DE EJECUCIÓN

El presente proyecto tiene por objeto la fabricación de impresora 3D. Dicha máquina tiene como objetivo la fabricación de prótesis de mano de forma local, en el hogar o pequeños laboratorios, utilizando diseños distribuidos libremente por sus autores y con el objetivo de minimizar su coste de fabricación.

3.1. CONDICIONES TÉCNICAS

En este apartado se especifican los requisitos técnicos mínimos que han de cumplir los elementos y componentes que constituyen la máquina para facilitar su mantenimiento y conservación.

3.1.1. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

El dispositivo deberá revisarse cada vez que comience y finalice el proceso de impresión, realizando una breve inspección visual de los componentes, tanto internos como externos, para cerciorarse de que no existen deterioros. El usuario deberá interesarse por los componentes que sean más propensos a sufrir problemas y, en caso de posible avería, cambiarlos.

Antes de comenzar la impresión de cualquier pieza se debe estar seguro de la precisión del extrusor, es decir, debe asegurarse que la calibración y la de los componentes es adecuado. Para realizar esta tarea, el programa CURA dispone de la función *bed leveling wizard*, mediante la cual se pueden conocer los detalles de la calibración.

Deberá prestarse especial atención al funcionamiento del sistema de extrusión, que es el encargado de depositar plástico fundido.

Después de muchas impresiones, el extrusor puede estar cubierto con una capa de ABS. Cuando la impresora está imprimiendo, las trazas puede afectar a la calidad de la pieza a imprimir, incluso puede darse el caso que el material se haya atascado en el extrusor. Para evitar esto, hay que limpiar periódicamente la extrusor.

En caso de que la máquina no extruda material de impresión debido a un obstrucción del extrusor se procederá a:

- Calentar el plástico mediante la selección del modo correspondiente dentro del menú de la máquina.
- Una vez finalizado el proceso, se tiene que apagar la impresora, desconectar el cable de la fuente de alimentación y, con cuidado, quitar el conector que suministra alimentación a los extrusores.
- Finalmente, utilizar un material resistente al calor, como ropa de algodón 100% o un par de pinzas para limpiar el extrusor del plástico restante. Si el problema perdura, retirar el extrusor mediante la llave del conjunto de herramientas que viene con la máquina y sumergir el extrusor en una solución de acetona durante 24 horas.
- Montar de nuevo el extrusor, siguiendo los pasos anteriores pero de forma inversa.

Asegurarse que la base de deposición se encuentre completamente lisa y sin cuerpos extraños. En caso de no disponer de una superficie lisa en la base de deposición, limpiar la base mediante un paño con acetona o un pincel hasta conseguir eliminar todas las trazas.

En caso de tener problemas de adherencia con las piezas pueden emplearse lacas, siempre teniendo en cuenta las recomendaciones del fabricante.

Para mejorar el movimiento de los ejes, puede utilizarse grasa de teflón. Se deberá aplicar una pequeña cantidad de grasa en cada una de las varillas después de alrededor de 150 horas de impresión. Su implementación se realiza mediante la colocación de la misma utilizando la mano y colocando la grasa en las varillas que la necesiten.

3.1.2. ESPECIFICACIONES DE MATERIALES MÁQUINAS Y EQUIPOS.

El fabricante de la máquina o elementos de la máquina a instalar serán responsables de que al salir de fábrica cumpla las condiciones necesarias para el empleo previsto así como el cumplimiento de las exigencias del Reglamento de Seguridad en Máquinas y sus Instrucciones Técnicas Complementarias.

Dichas especificaciones se podrán probar por alguna de las formas siguientes:

-Por autocertificación del fabricante.

-Mediante certificado extendido por una Entidad colaboradora, después de realizar un previo control técnico sobre la máquina o elemento de que se trate.

La máquina, elementos de la máquina o sistemas de protección que, de acuerdo con la ITC correspondiente, quedan sometidas al requisito de homologación, la seguridad equivalente de las reglamentaciones de los demás Estados miembros de la Comunidad Económica Europea deberá ser acreditada conforme a lo dispuesto en el Real Decreto 105/1988, de 12 de febrero. Cada impresora 3D o elemento de la máquina irá acompañado de las correspondientes instrucciones de montaje, uso y mantenimiento, así como de las medidas preventivas de accidente.

Todos los proveedores de componentes o piezas de la máquina darán una garantía de sus productos y un plazo de entrega de máximo 15 días, pudiendo la empresa que ejecuta el proyecto acortar los plazos de entrega de la máquina. Aun así, la empresa deberá disponer de un stock de componentes y productos comerciales almacenados para una rápida ejecución del proyecto.

Los proveedores cumplirán con los estándares de calidad para la certificación de la máquina y corresponderán con los propuestos en el documento de este proyecto; pudiendo cambiar alguno en caso necesario pero siempre y cuando se acojan a las mismas características aquí propuestas.

Los materiales utilizados en este proyecto serán de obligado cumplimiento siguiendo las especificaciones de fabricación de cada pieza con las dimensiones y acabos correspondientes detallados en la memoria descriptiva. Para determinadas piezas se realizarán ensayos por elementos finitos para comprobar los esfuerzos o tensiones a los que se someten y verificar su vida útil.

En definitiva, todos los materiales utilizados en esta máquina cumplirán con la normativa de calidad y deberán ser certificados por las entidades pertinentes para asegurar la resistencia estructural y finalmente obtener el certificado CE de la máquina.

La fabricación de las piezas impresas 3D deben realizarse atendiendo a los modelos tridimensionales. Los planos expuestos en el proyecto deben servir para verificar las dimensiones generales de la pieza y no confundirse con el resto. Las tolerancias de las piezas a fabricar dependerán de la resolución de la impresora con la cual ha sido realizada, por lo que las piezas deben fabricarse con la máxima precisión posible para evitar tener problemas de calibración en posteriores fases o la fabricación de piezas que no cumplan con las dimensiones especificadas.

3.2. CONDICIONES DE EJECUCIÓN

Los procesos de fabricación de cada pieza se han detallado en la memoria descriptiva. Aunque, cabe destacar que las piezas realizadas por corte mecanizado deberán estar perfectamente pulidas, eliminando así cualquier imperfección o sobrante en las piezas.

En cuanto a las piezas soldadas se deberá realizar con la mayor calidad y siguiendo las normativas correspondientes con este proceso (código ASME, normativa europea, ISO, etc).

En concreto la NORMA UNE-EN- 729 parte 2 ayuda a identificar los requisitos que deben cumplir todos los elementos que intervienen en la soldadura y que su aplicación correcta permite el cumplimiento también de los requisitos de calidad de la norma ISO 9001/2. En caso necesario o de piezas realmente críticas se realizarán ensayos no destructivos de rayos x para la comprobación de la soldadura, evitando así que pueda fallar alguna pieza debido a tensiones o deformaciones.

Las uniones atornilladas requieren de una precisión alta controlando el par de apriete que viene regulado con la normativa UNE 17-108-81: tornillos y tuercas de acero: momentos de apriete.

Las piezas de la máquina que sirven como protecciones o carenados, es decir que están a la vista, seguirán los acabados estipulados. En caso de que el cliente requiera de otros colores se hará constar en la firma del proyecto y se detallará en el presupuesto.

Finalmente, el montaje de la máquina se realizará con mucho detalle prestando atención al montaje de los ejes de movimiento y a los rodamientos para evitar posibles desalineaciones de los ejes y de algún modo el fallo temprano de ciertos componentes.

Una vez montada y puesta a punto la máquina, se realizarán ciertas pruebas de funcionamiento durante un período mínimo de siete días comprobando el funcionamiento de la impresora 3D antes de ser instalada en el lugar de destino o entregada al cliente.

PRESUPUESTO

Diseño de una máquina impresora 3D de bajo coste para uso en el hogar o pequeños laboratorios

1. Elaboración del presupuesto.....	3
2. Presupuesto	5
2.1 Coste del Personal	5
2.2 Coste del Software	5
2.3 coste de equipo	5
2.3 Coste de Ejecución Material (PEM).....	6
2.4. Coste de Ejecución por Contrata (PEC).....	6

1. ELABORACIÓN DEL PRESUPUESTO

Para la confección del presupuesto se elabora un inventario de todos los componentes comerciales necesarios y de todas aquellas piezas a fabricar. Durante esta fase, se ha tratado de buscar los proveedores que ofrezcan el precio más bajo de un mismo producto, con las características deseadas.

Para aquellos componentes que requieran ser fabricados se realiza una estimación de los costes.

A continuación se muestra la tabla de los componentes comerciales necesarios:

Nombre	Cantidad	Precio (€)
Correa motor	2	1
Correas	4	6
Rodamiento lineal	2	3
Rodamiento de bolas	8	4
Polea motor	2	4
Polea 8mm	9	18
Polea doble	1	3
Guías cilíndricas (12mm, 8mm y 6mm)	1	56
Bloque deslizante	4	23
Muelles de tensión bloque deslizante	1	8
Final de carrera	3	2
Motor NEMA 17 40mm (1.8° ángulo de paso)	3	33
Acople estriado para el extruir el filamento	1	7
Rodamiento Empuje filamento	1	2
Cabezal de impresión	1	85
Ventiladores trasero	1	6.64
Termopar base de desposición	1	0
Termopar	2	0
Ventiladores laterales	2	5.68
Tubo PTFE	2	5
Acopladores neumáticos	4	16
Placa PCB	1	90
Placa de pase	1	50
Tuercas placa de base	1	6
Clips	1	12.11

Guía lineal de recirculación de bolas	2	9.98
Muelles base de impresión	1	9
Placa vidrio	1	30.16
Motor NEMA 17 von tornillo sin fin	1	36
Fuente alimentación	1	45
Conector C14 220V	1	4
Driver Polulu A4988	4	0
Placa Ramps 1.4	1	12
Arduino Mega 2560	1	35
Fusible para el conector C14	1	3.6
Controlador Pantalla LCD+Lector SD		15
Alargador Macho-Hembra USB	1	4
Funda para cables	2m	3
Kit cables impresora	1	13
Perfil 20x20x395mm	4	9
Perfil 20x20x308mm	16	25
Tuercas para el perfil		8
Piezas de metacrilato	1	40
Bisagras	6	15
Tirador push-open	3	15
Pernos M3x10	2 Packs	6
Pernos M3x8mm	1 Pack	2
Pernos M3x12mm	1 Pack	2
Pernos M5x10mm	1 Pack	2
TOTAL		790.17€

Tabla 1: Presupuesto piezas comerciales

Para la estimación del precio de las placas de metacrilato se ha pedido presupuesto a la empresa de corte LaserWork SL.

Para estimar el coste de cada pieza fabricada mediante tecnología de impresión en 3D se ha tomado como referencia el precio unitario de una bobina de material polimérico, en este caso 16€ por 1 kg de hilo.

Mediante la herramienta de Solidworks® se estima el peso de las piezas impresas, y su precio se calcula multiplicando el peso de los componentes por el precio unitario por kilogramo. Mediante este método no se tiene en cuenta el material auxiliar que las impresoras suelen utilizar para poder imprimir las piezas, pero puesto que se trata de una aproximación y el precio total de impresión se establece en unos 5€, podemos ignorarlo al igual que el coste por electricidad.

Peso de los componentes impresos (Kg)	Coste por Kg de PLA (€/kg)	Precio
2.6	16	41.6€

Tabla 2: Coste fabricación piezas impresas

2. PRESUPUESTO

2.1 COSTE DEL PERSONAL

	Tiempo (Horas)	Precio (€/Hora)	Importe (€)
Ingeniero de Diseño	500	22	11000
Ingeniero Mecánico	300	22	6600
	TOTAL		17600€

Tabla 3: Coste de personal

2.2 COSTE DEL SOFTWARE

	Precio €/año	Licencia(Periodo de utilización (Días))	Importe (€)
Pack MS Office (Excel, Word)	149	300	0.50
SolidWorks	3205.7	180	17.81
Working Model	1195	40	29.88
Autocad	1175	10	117.50
	TOTAL		165.68€

Tabla 4: Coste Software

2.3 COSTE DE EQUIPO

	Precio (€)	Periodo de Amortización (Años)	Periodo de utilización (Días)	Importe (€)
Ordenador	1500	5	300	246.58
Impresora	500	5	7	1.82
	TOTAL			248.4€

2.3 COSTE DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)

Teniendo en cuenta los costes de cada uno de los apartados anteriores, se obtiene el presupuesto de ejecución material del proyecto.

Concepto	Importe (€)
Piezas comerciales	790.17 €
Piezas impresas	41.6
Personal	17600
Software	165.68 €
Equipo	248.40 €
TOTAL	18,845.85 €

Tabla 5: Coste ejecución de material

2.4. COSTE DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)

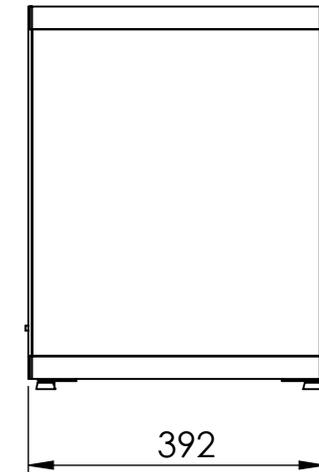
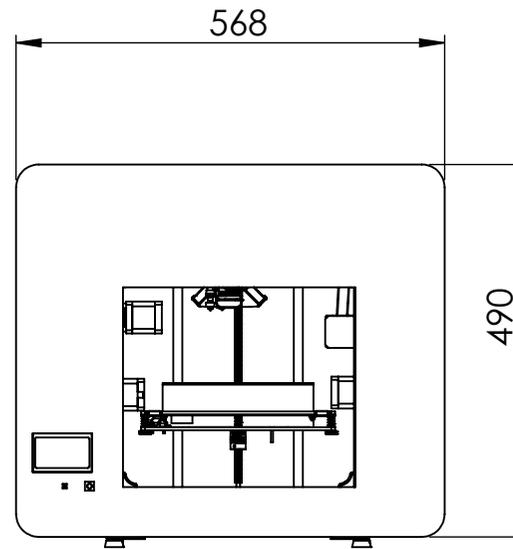
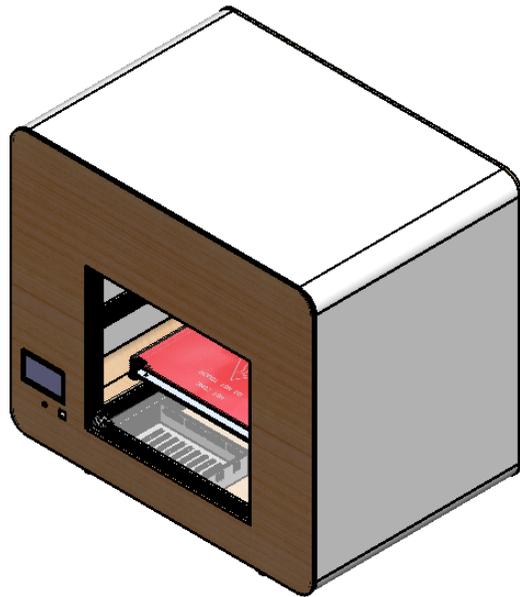
Añadiendo al coste del apartado anterior el tanto por ciento en concepto de Gastos Generales y Beneficio Industrial, se obtiene el presupuesto de ejecución por contrata.

	€
Presupuesto de ejecución material (PEM)	18,845.85 €
20% Gastos Generales y Cargas Fiscales	3,769.17 €
SUMA	22,615.02 €
6% Beneficio	1,356.90 €
TOTAL	23,971.92 €
21% IVA	5,034.10 €
TOTAL (IVA inc.)	29,006.02 €

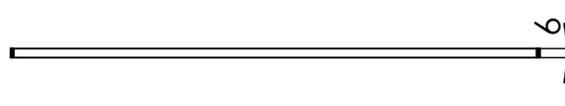
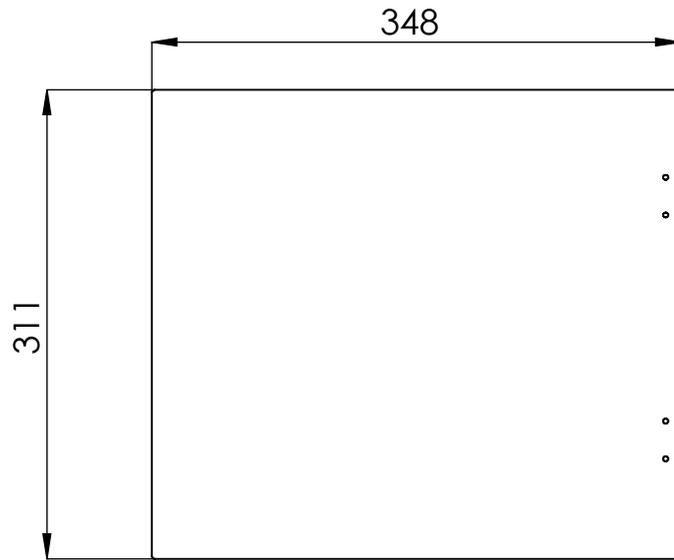
Tabla 6: Coste de ejecución por contrata

PLANOS

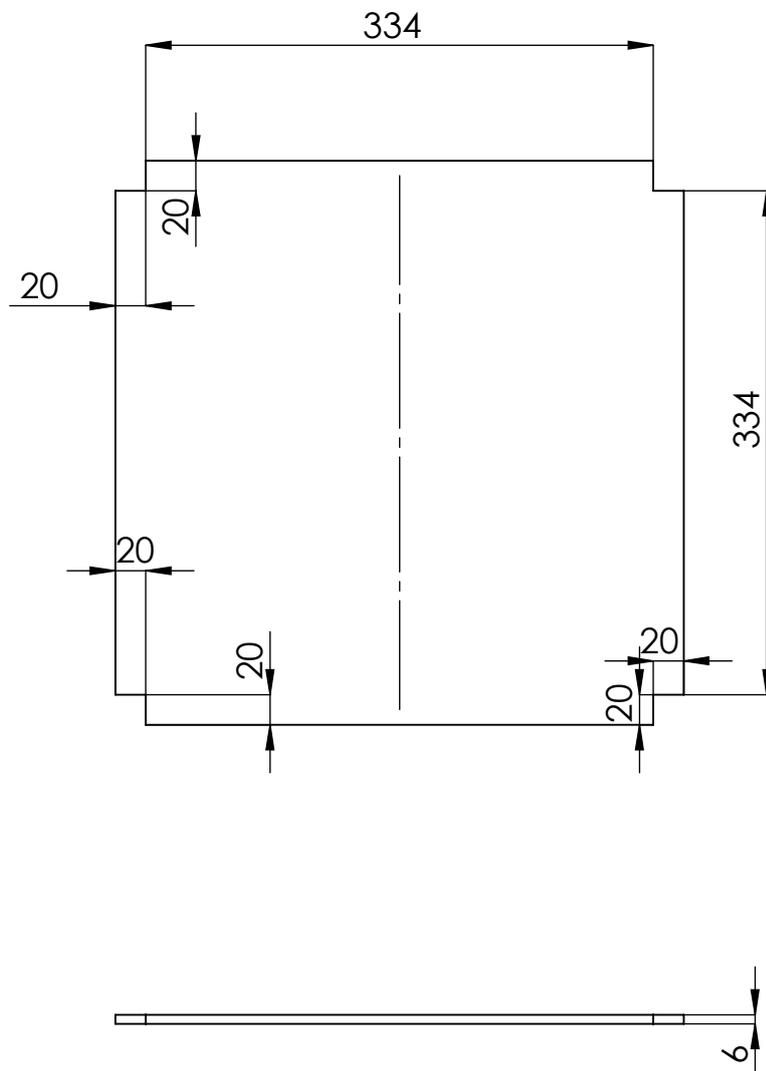
Diseño de una máquina impresora 3D de bajo coste para uso
en el hogar o pequeños laboratorios



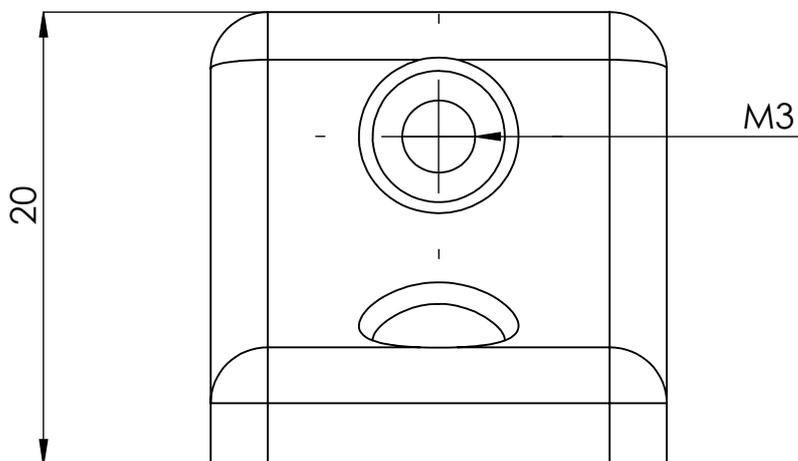
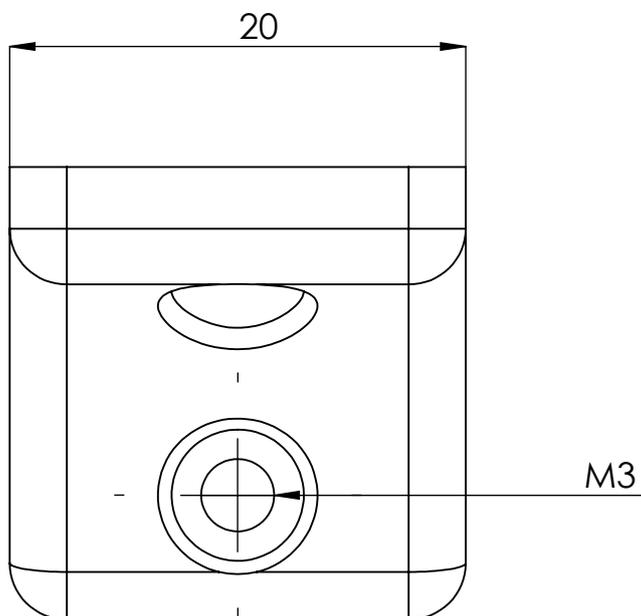
Observaciones		Título: Impresora 3D		Plano nº:
Escala		 Escuela Superior de Tecnología	Dirigido por:	Fecha:
1:10	Un. dim. mm 		Comprobado por:	Fecha:



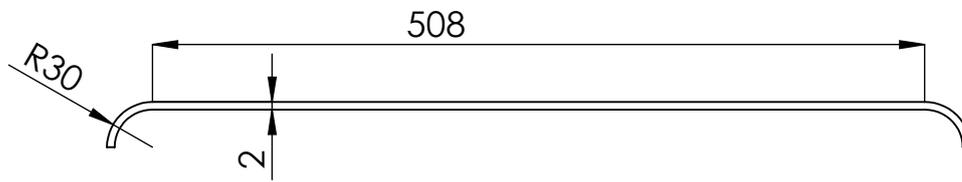
Observaciones		Título: Cristal frontal		Plano nº:
				Hoja nº:
Escala 1:5	Un. dim. mm	 Escuela Superior de Tecnología	Dirigido por:	Fecha:
			Comprobado por:	Fecha:



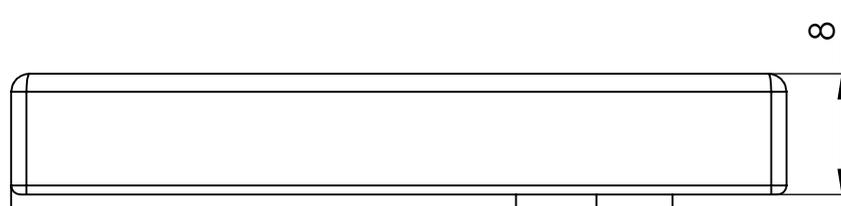
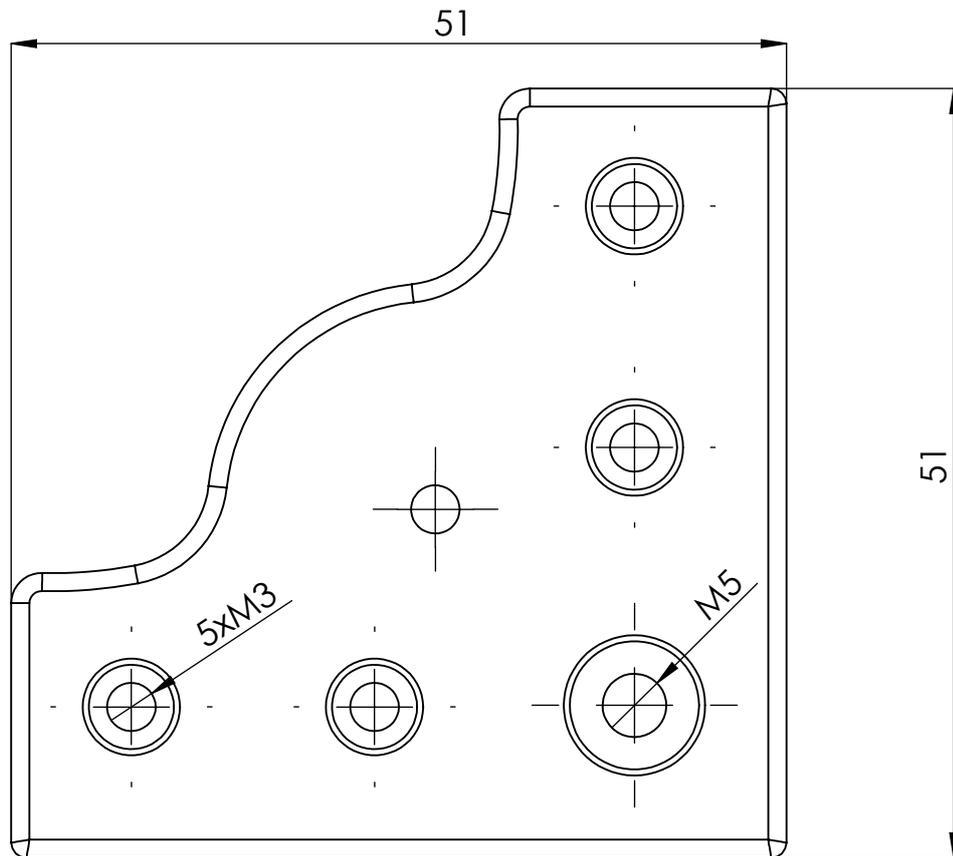
Observaciones		Título: Cristal inferior		Plano nº:
				Hoja nº:
Escala	Un. dim. mm	 Escuela Superior de Tecnología	Dirigido por:	Fecha:
1:5	 		Comprobado por:	Fecha:



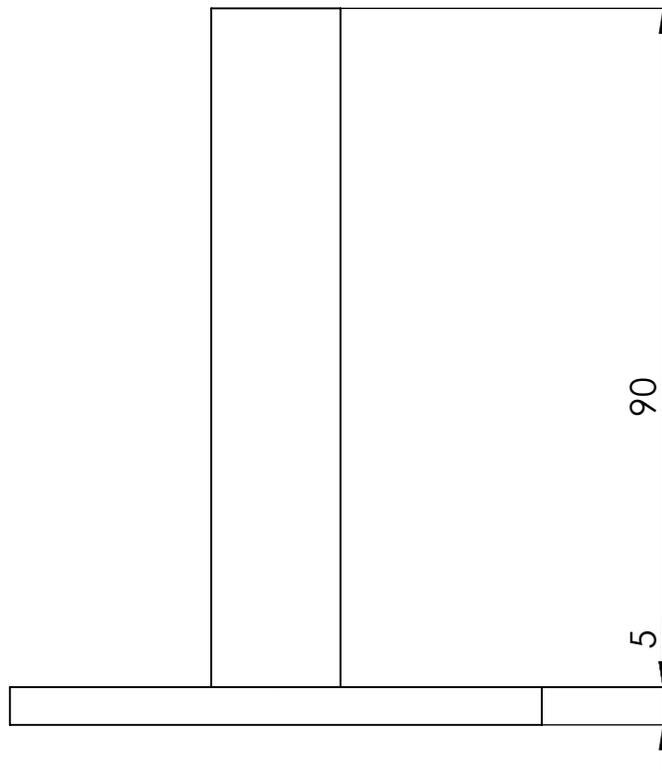
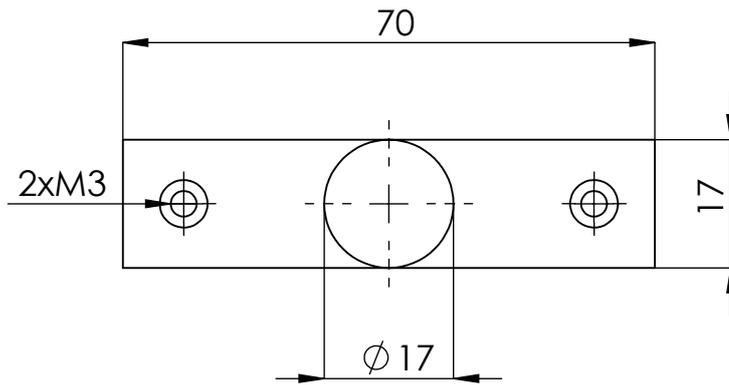
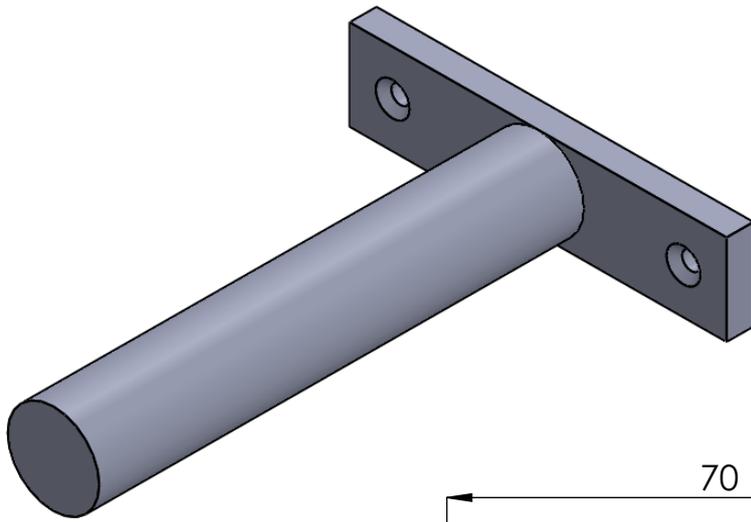
Observaciones		Título: Escuadras inferiores		Plano nº:
				Hoja nº:
Escala	Un. dim. mm	 Escuela Superior de Tecnología	Dirigido por:	Fecha:
3:1			Comprobado por:	Fecha:



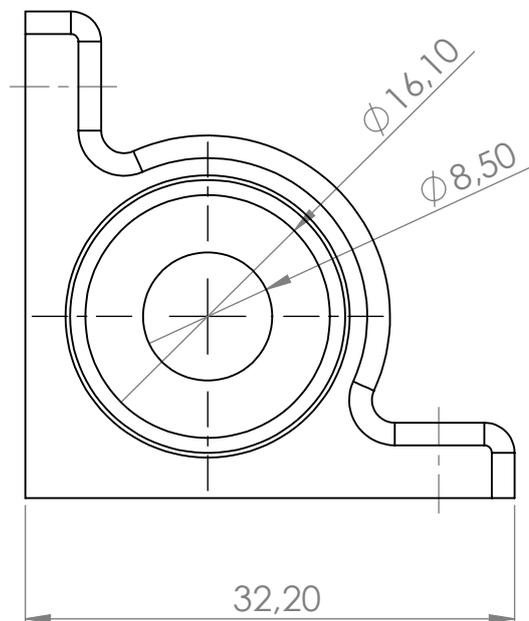
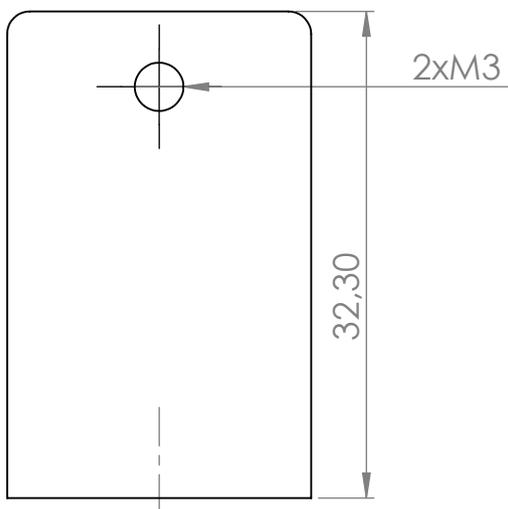
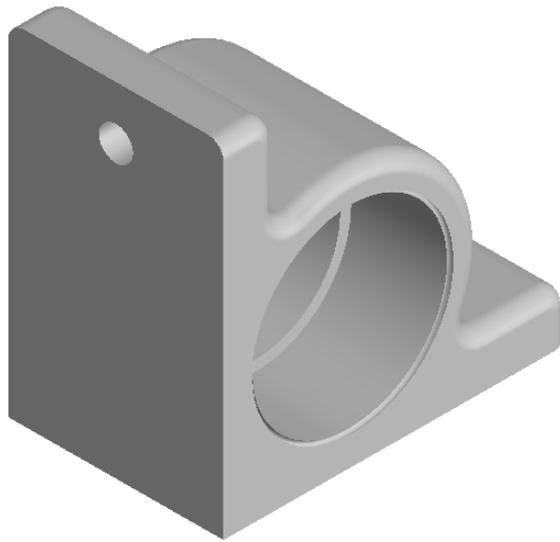
Observaciones		Título: Tapa de arriba de la carcasa		Plano nº:
				Hoja nº:
Escala	Un. dim. mm	 Escuela Superior de Tecnología	Dirigido por:	Fecha:
1:10			Comprobado por:	Fecha:



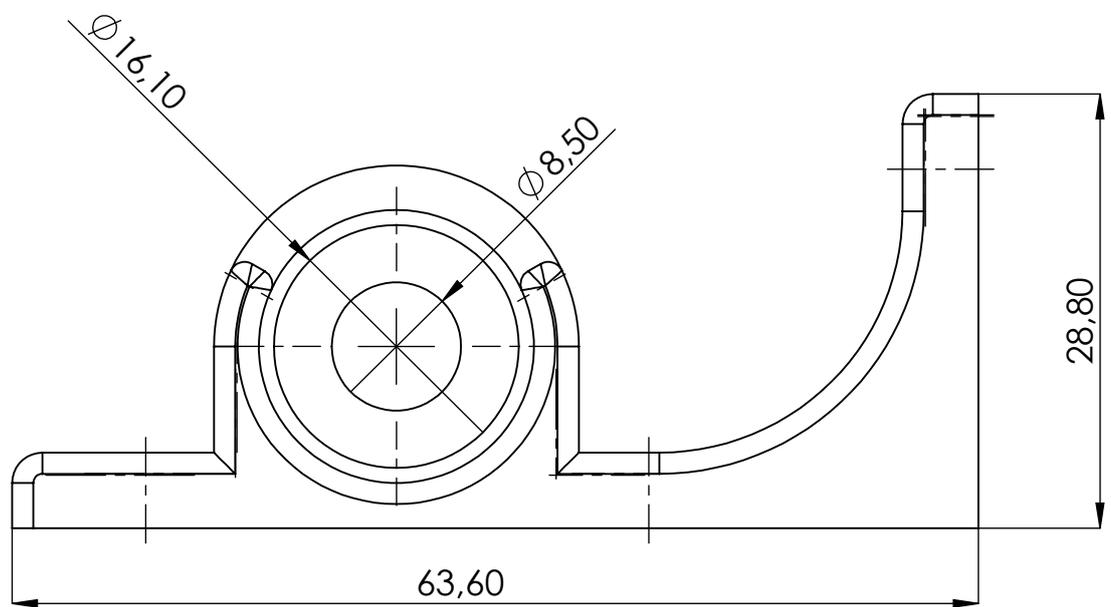
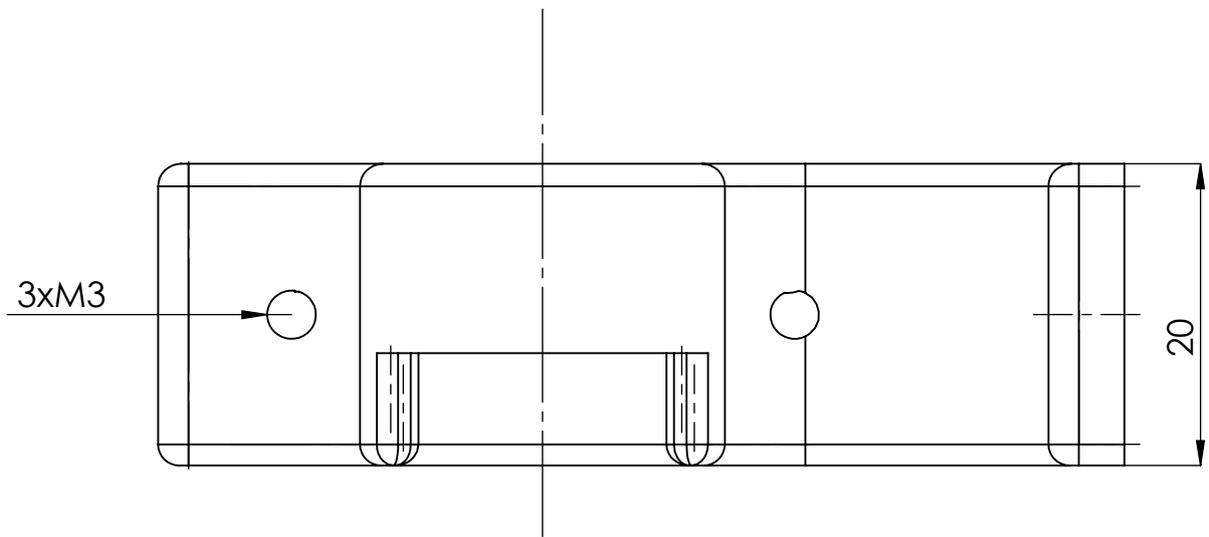
Observaciones		Título: Soporte base de la máquina		Plano nº:
				Hoja nº:
Escala	Un. dim. mm	 Escuela Superior de Tecnología	Dirigido por:	Fecha:
2:1			Comprobado por:	Fecha:



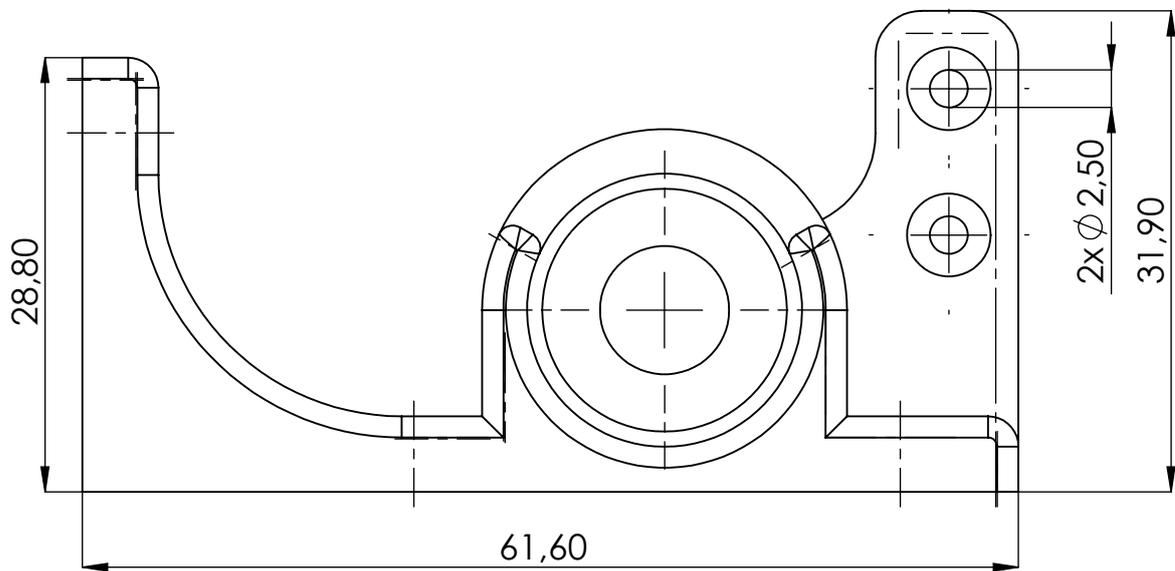
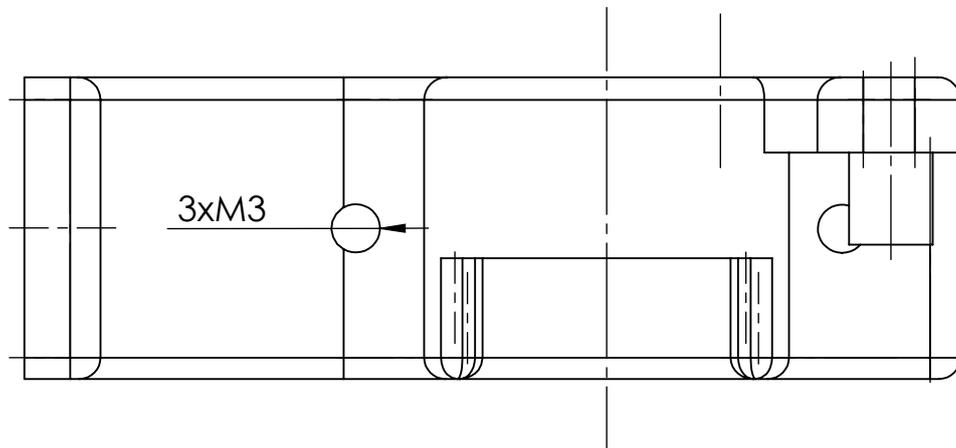
Observaciones		Título: Soporte bobina		Plano n°:
				Hoja n°:
Escala	Un. dim. mm	 Escuela Superior de Tecnología	Dirigido por:	Fecha:
1:1			Comprobado por:	Fecha:



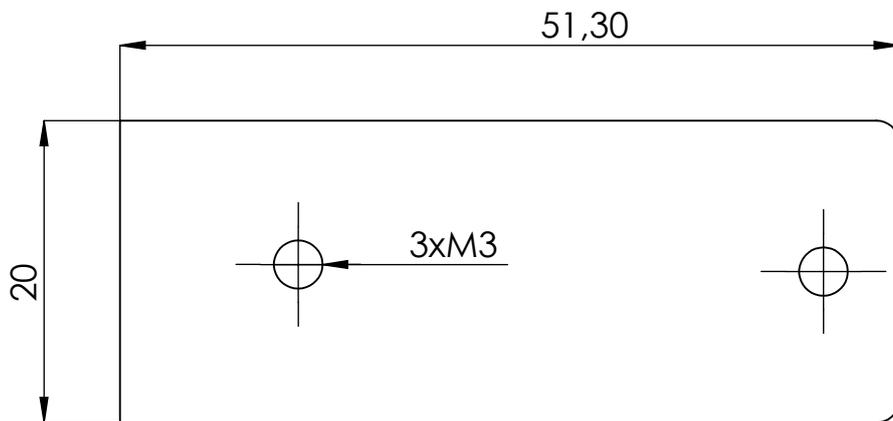
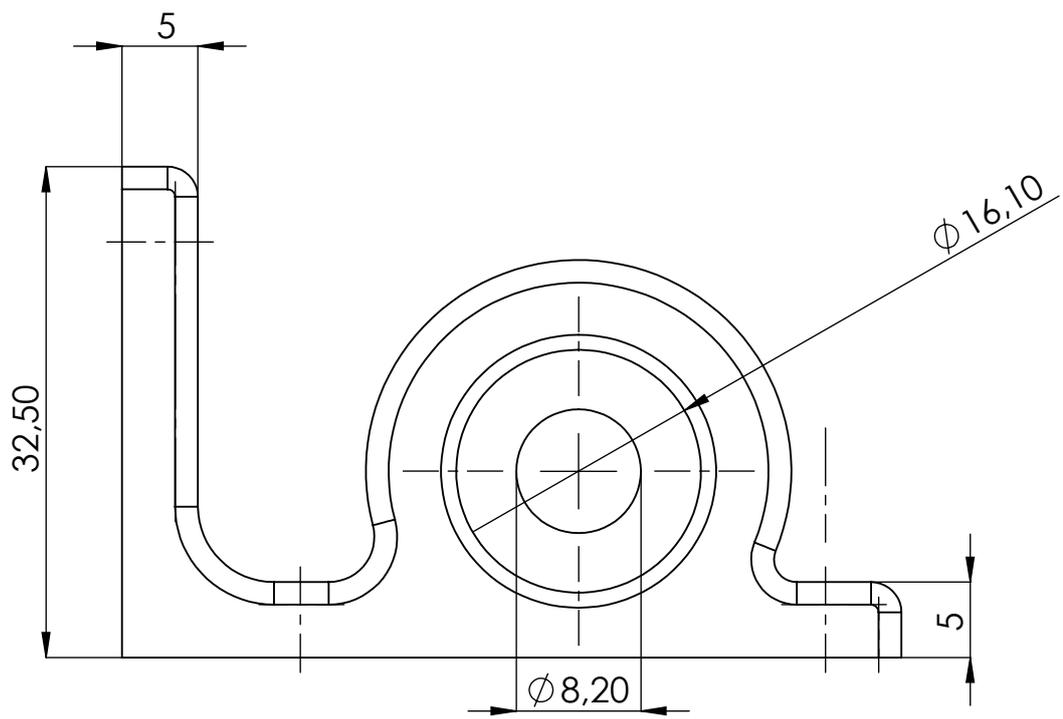
Observaciones		Título: Soporte eje X delantero		Plano nº:
				Hoja nº:
Escala 2:1	Un. dim. mm 	 Escuela Superior de Tecnología	Dirigido por:	Fecha:
			Comprobado por:	Fecha:



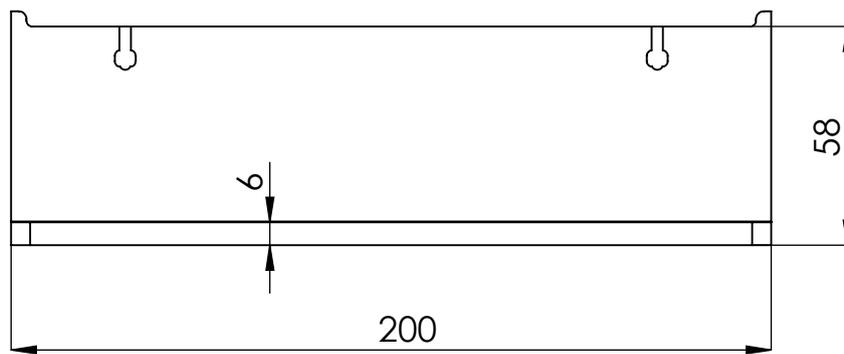
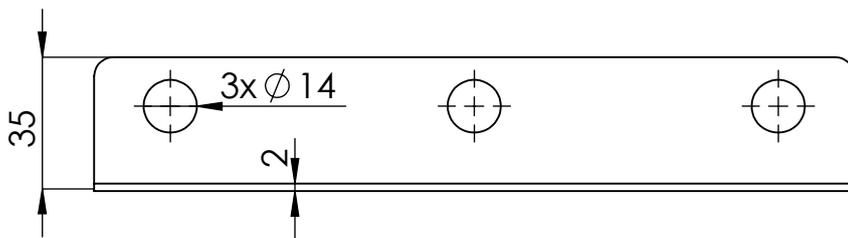
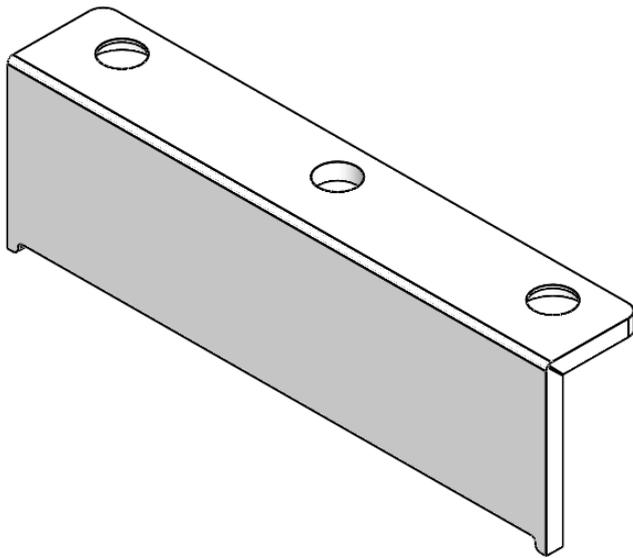
Observaciones		Título: Soporte Eje X Trasero Derecha		Plano nº:
				Hoja nº:
Escala	Un. dim. mm	 Escuela Superior de Tecnología	Dirigido por:	Fecha:
2:1			Comprobado por:	Fecha:



Observaciones		Título: Soporte Eje X Trasero Izquierda		Plano nº:
				Hoja nº:
Escala	Un. dim. mm	 Escuela Superior de Tecnología	Dirigido por:	Fecha:
2:1			Comprobado por:	Fecha:



Observaciones		Título: Soporte eje Y delantero		Plano nº:
				Hoja nº:
Escala 2:1	Un. dim. mm 	 Escuela Superior de Tecnología	Dirigido por:	Fecha:
			Comprobado por:	Fecha:



Observaciones

Título:

Soporte eje Z intermedio

Plano nº:

Hoja nº:

Escala

Un. dim. mm



Escuela Superior de
Tecnología

Dirigido por:

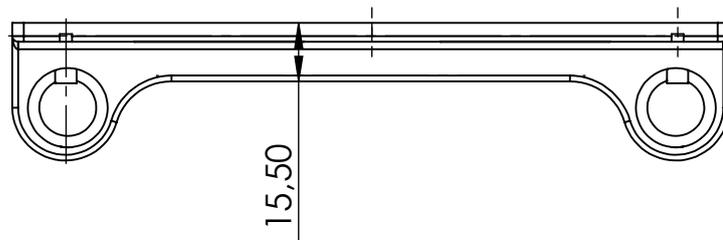
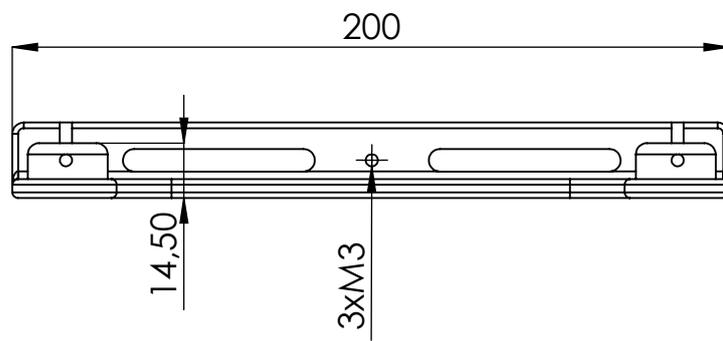
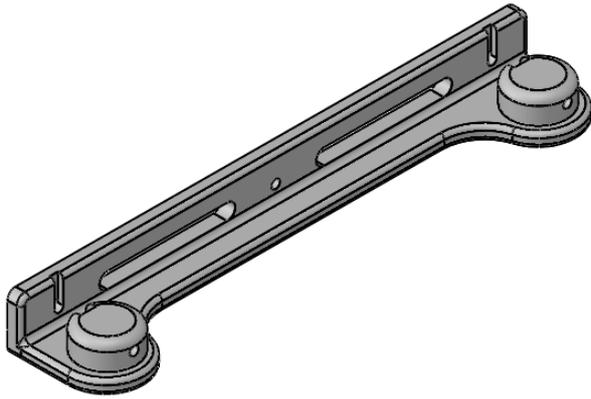
Fecha:

1:2

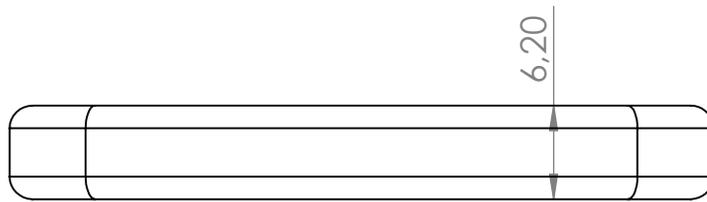
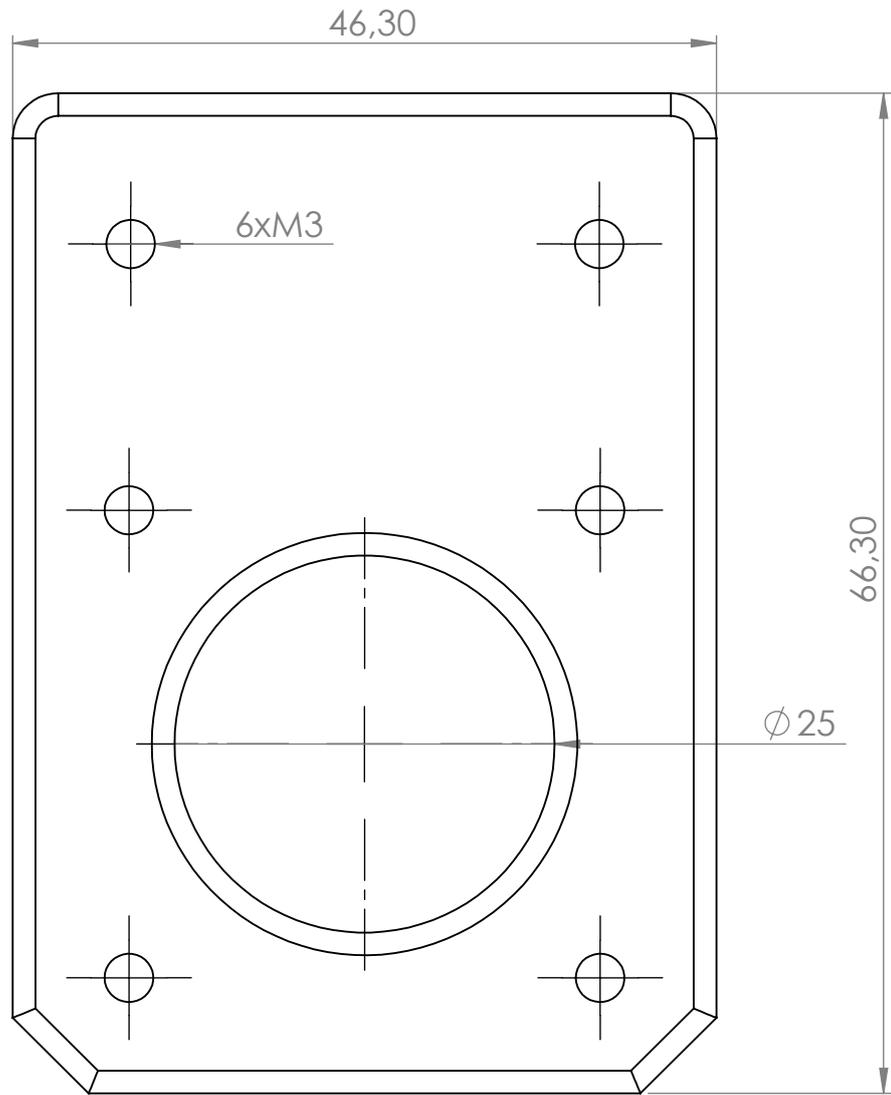


Comprobado por:

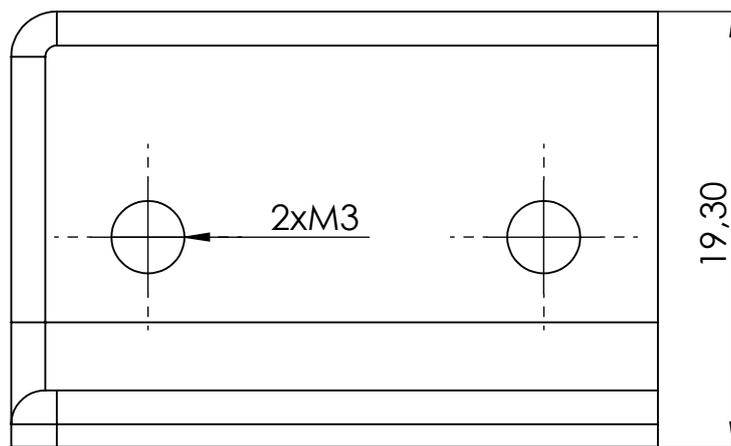
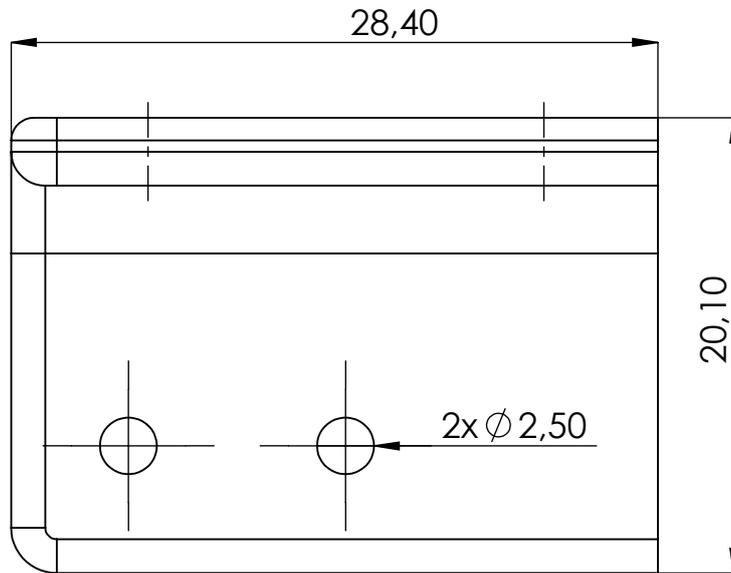
Fecha:



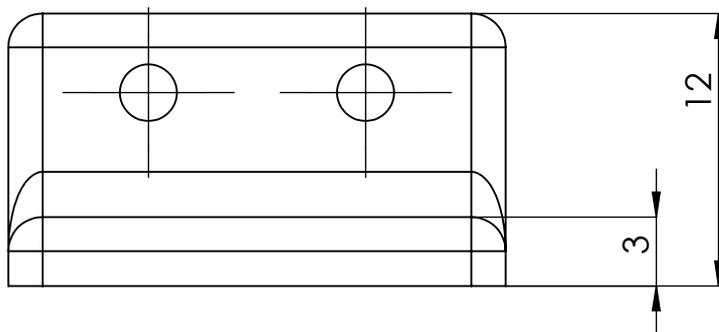
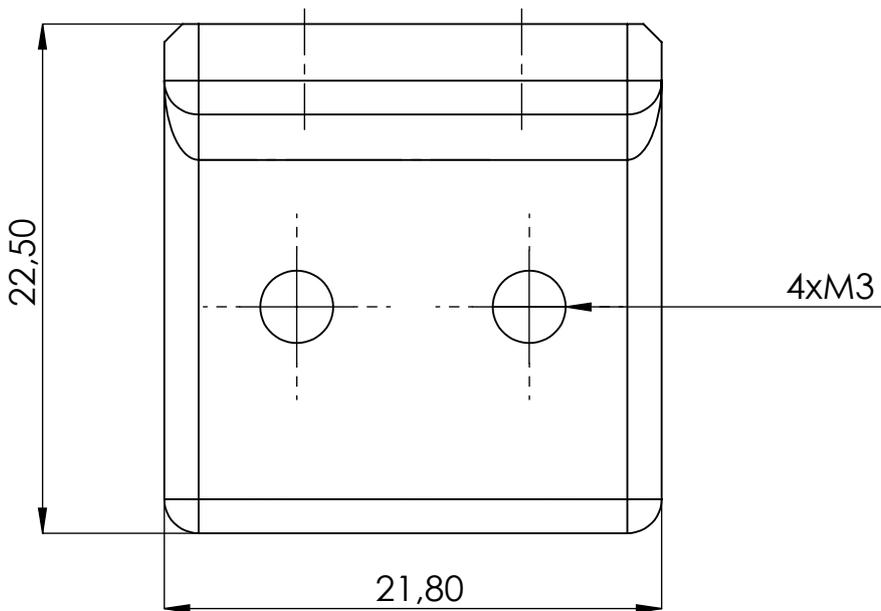
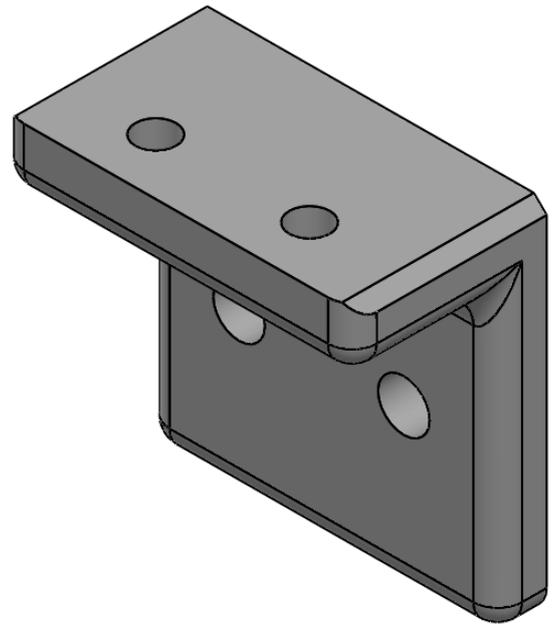
Observaciones		Título: Soporte eje Z superior		Plano nº:
				Hoja nº:
Escala	Un. dim. mm	 Escuela Superior de Tecnología	Dirigido por:	Fecha:
1:2			Comprobado por:	Fecha:



Observaciones		Título: Soporte extrusor Bowden		Plano nº:
				Hoja nº:
Escala 2:1	Un. dim. mm 	Escuela Superior de Tecnología	Dirigido por:	Fecha:
			Comprobado por:	Fecha:



Observaciones		Título: Soporte eje X		Plano nº:
				Hoja nº:
Escala	Un. dim. mm	 Escuela Superior de Tecnología	Dirigido por:	Fecha:
3:1			Comprobado por:	Fecha:



Observaciones

Título: Soporte final de carrera Eje Z

Plano nº:

Hoja nº:

Escala

Un. dim. mm



Escuela Superior de
Tecnología

Dirigido por:

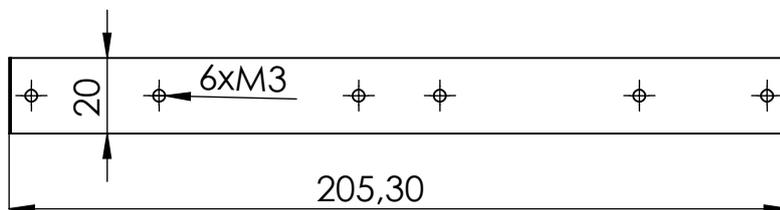
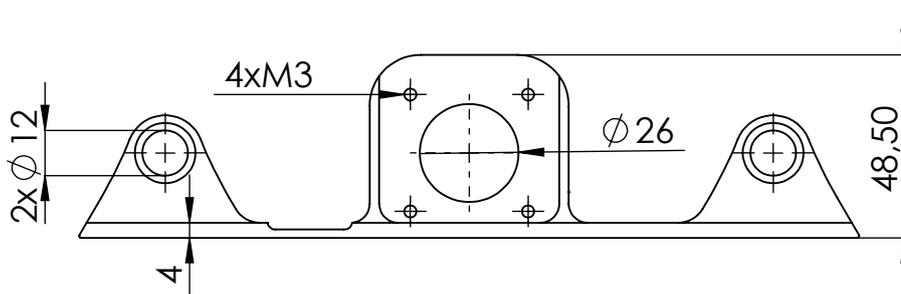
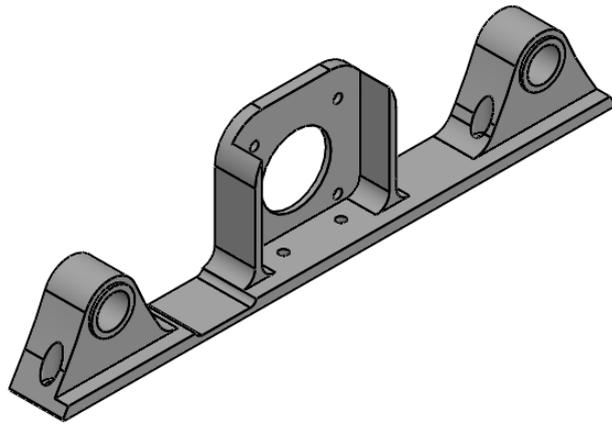
Fecha:

3:1

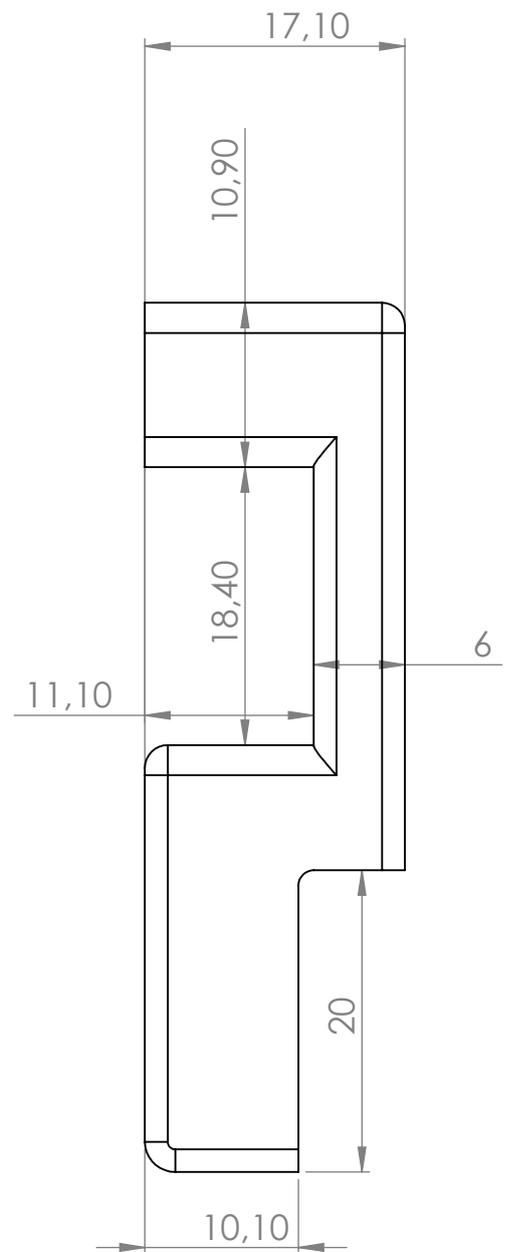
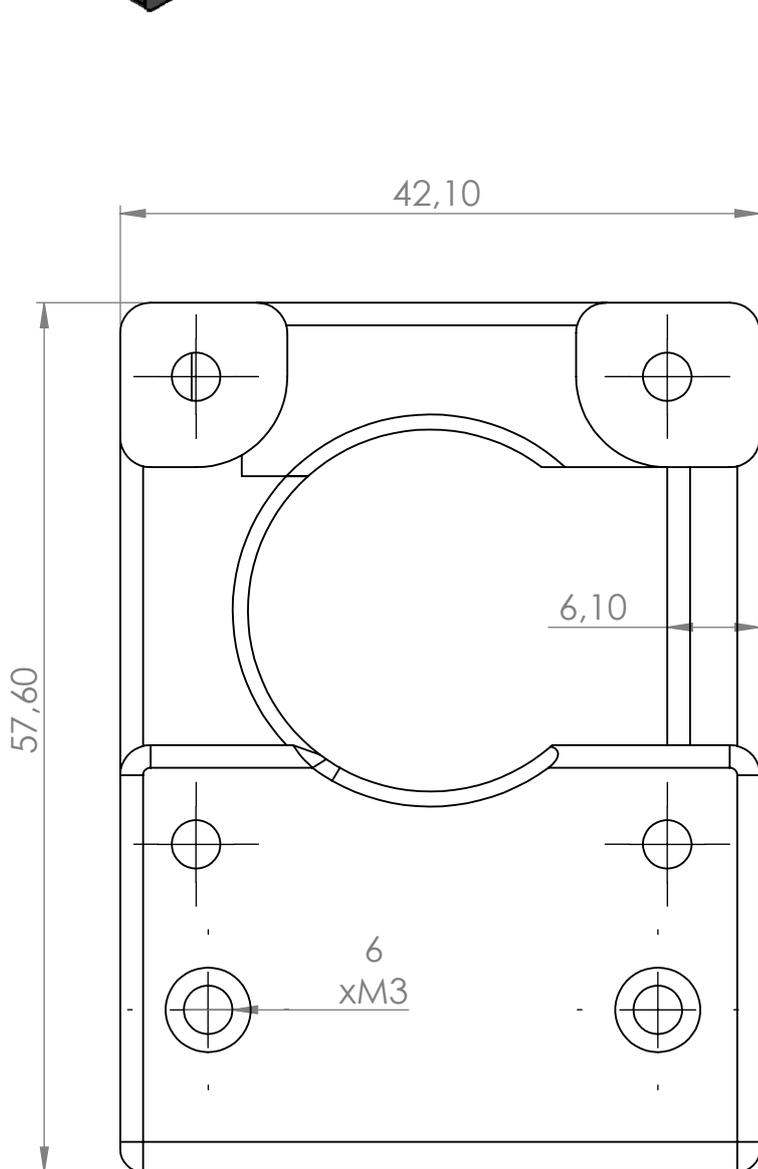
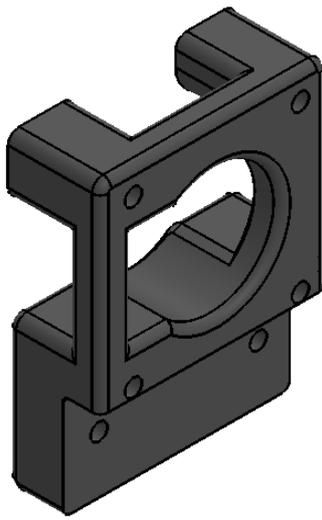


Comprobado por:

Fecha:

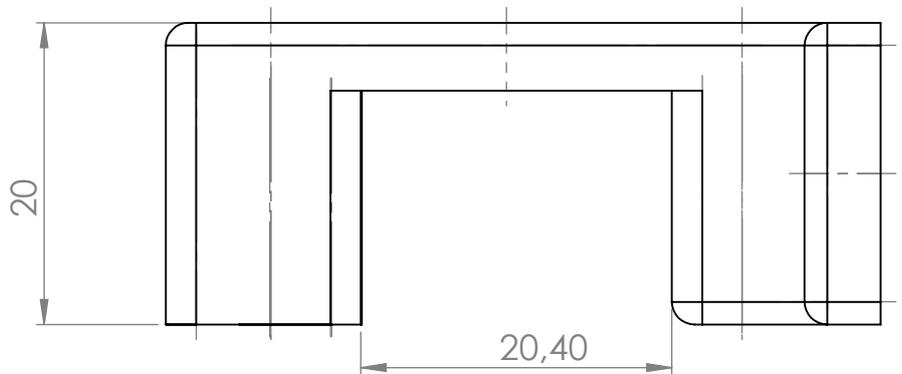
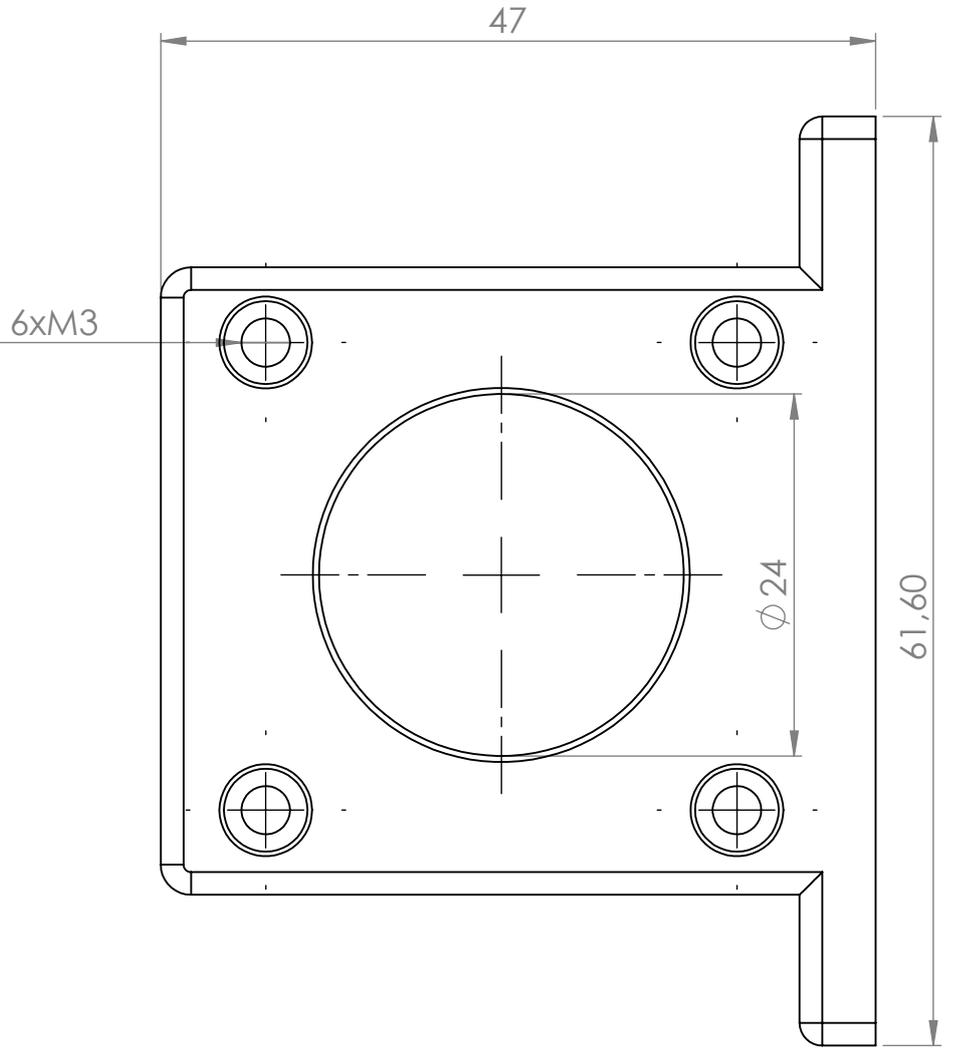
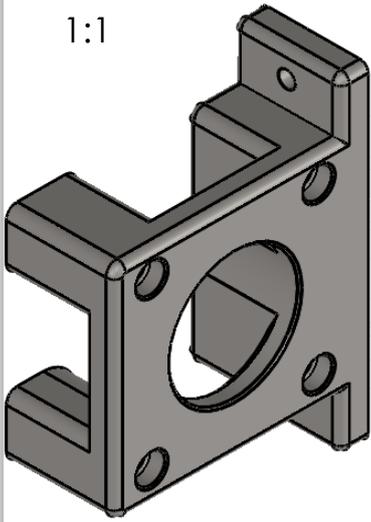


Observaciones		Título: Soporte inferior eje Z		Plano nº:
				Hoja nº:
Escala	Un. dim. mm	 Escuela Superior de Tecnología	Dirigido por:	Fecha:
1:2	 		Comprobado por:	Fecha:



Observaciones		Título: Soporte motor 1		Plano nº:
				Hoja nº:
Escala 2:1	Un. dim. mm	 Escuela Superior de Tecnología	Dirigido por:	Fecha:
			Comprobado por:	Fecha:

1:1



Observaciones

Título:

Soporte motor 2

Plano nº:

Hoja nº:

Escala

Un. dim. mm



Escuela Superior de
Tecnología

Dirigido por:

Comprobado por:

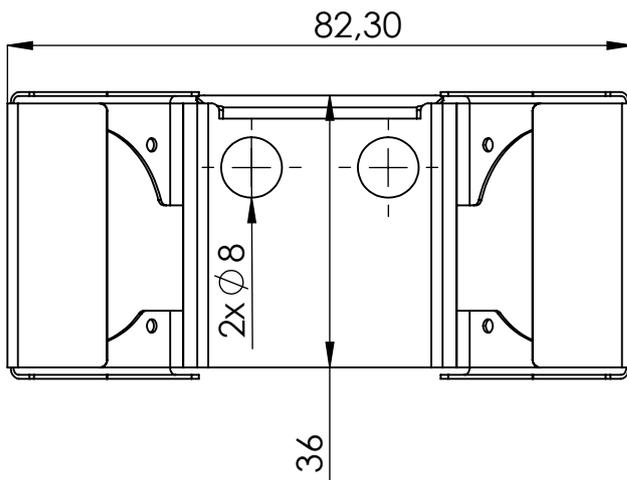
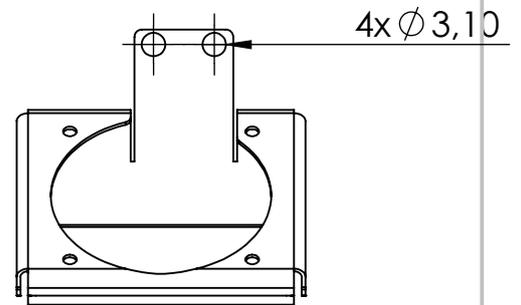
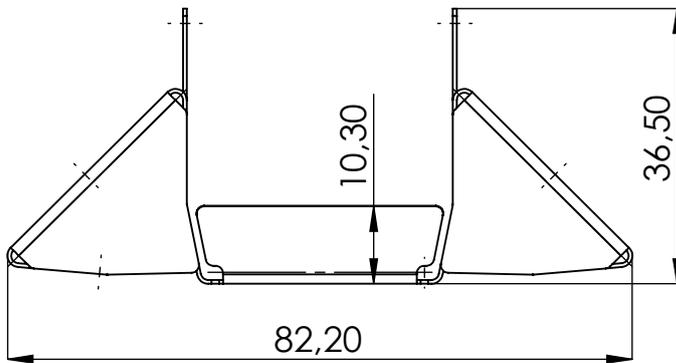
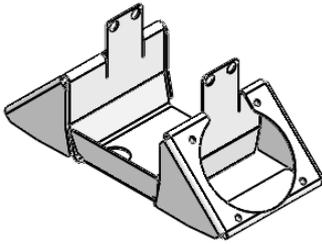
Fecha:

Fecha:

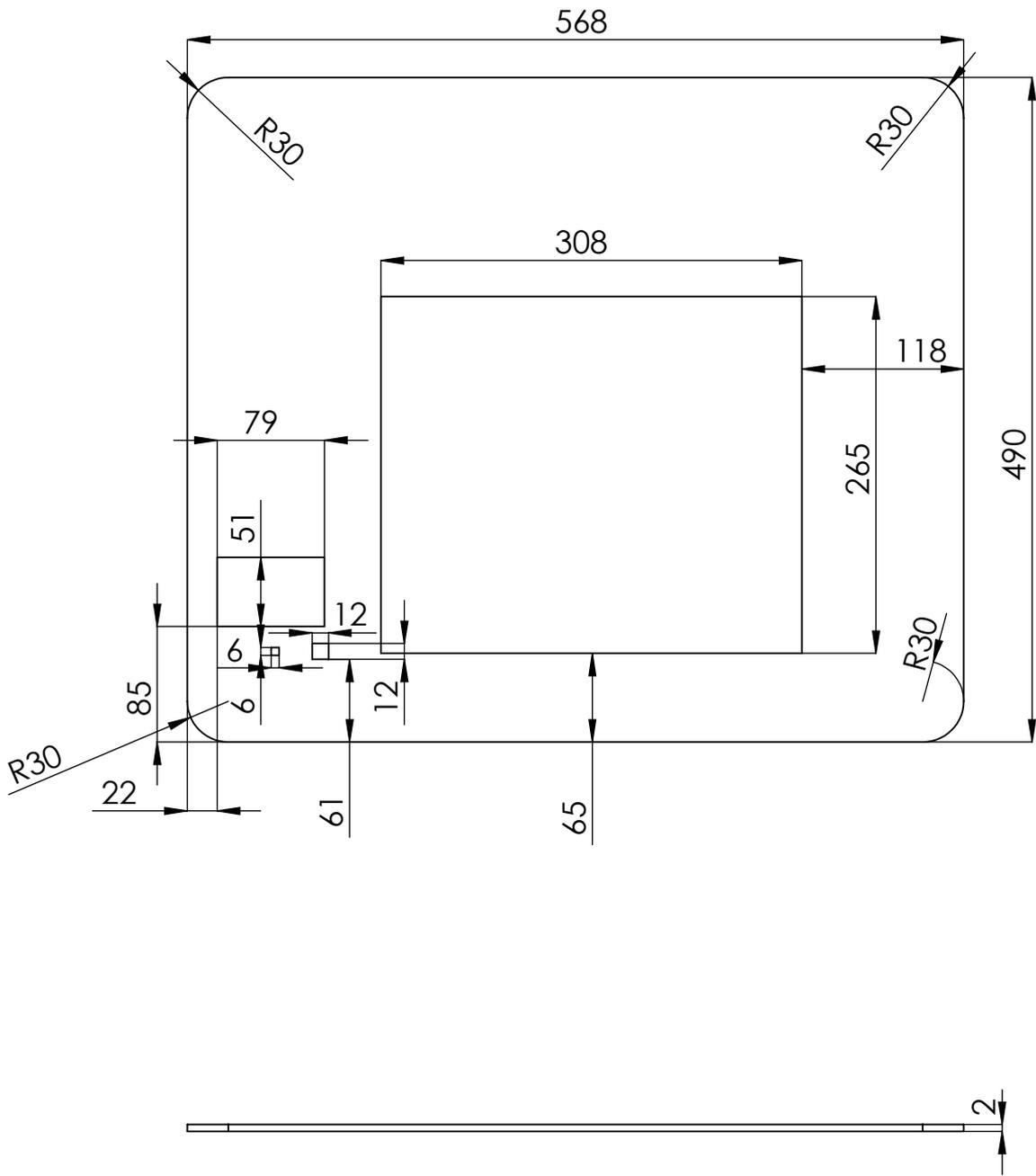
2:1



Escala 1:2



Observaciones		Título: Soporte ventiladores laterales		Plano n°:	
				Hoja n°:	
Escala 1:1	Un. dim. mm 	 Escuela Superior de Tecnología	Dirigido por:	Fecha:	
			Comprobado por:	Fecha:	



Observaciones

Título:

Tapa delantera carcasa

Plano nº:

Hoja nº:

Escala

1:5

Un. dim. mm

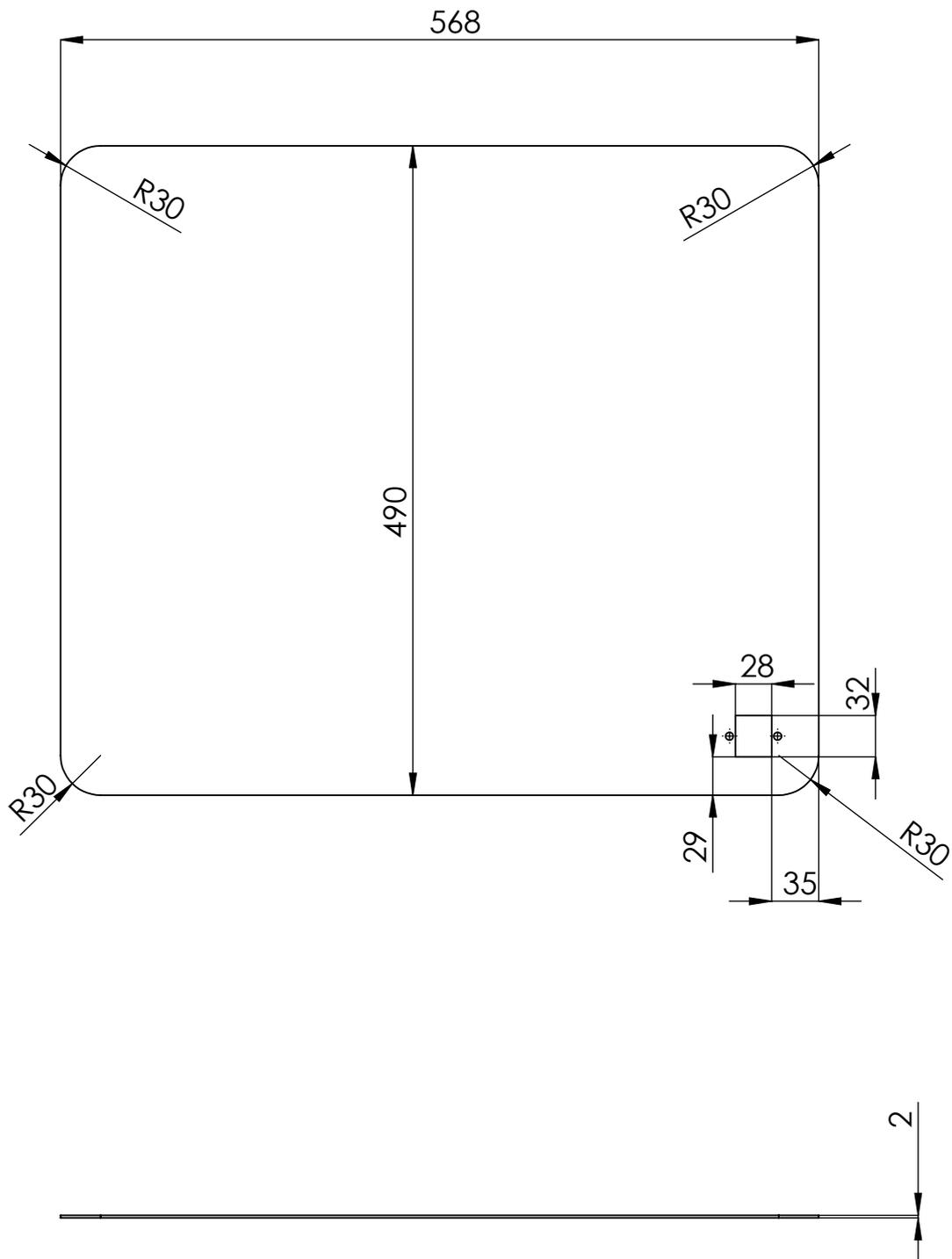


Dirigido por:

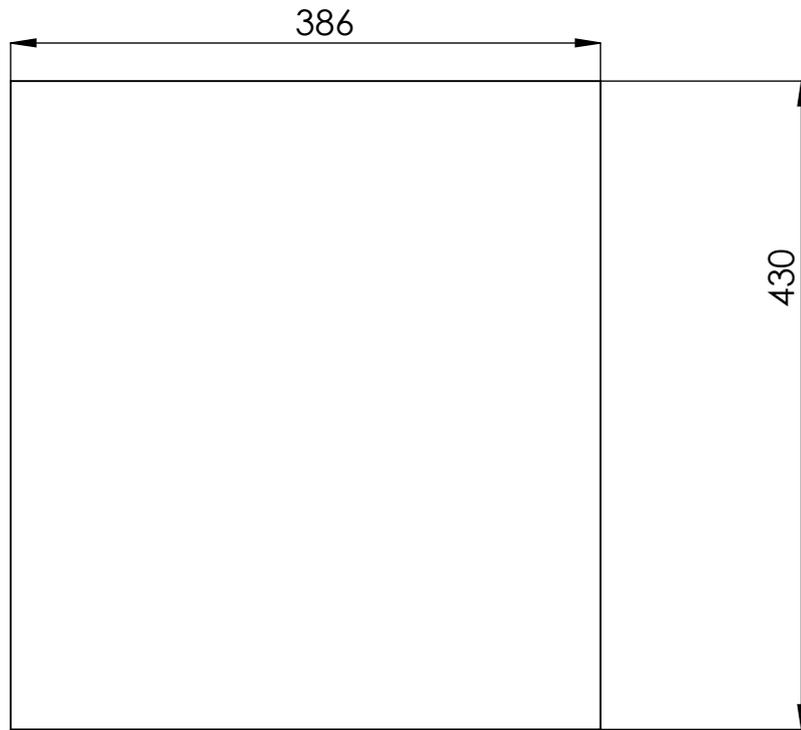
Comprobado por:

Fecha:

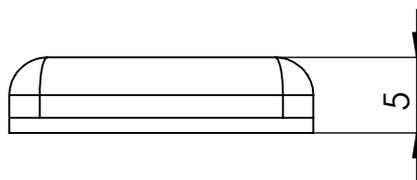
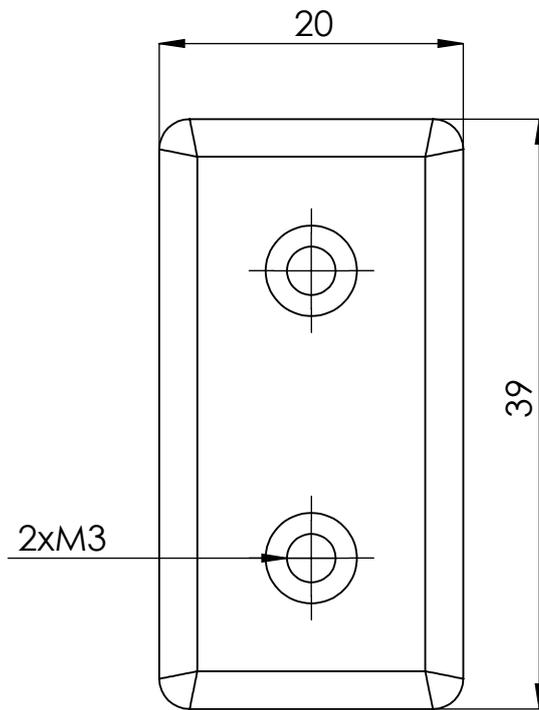
Fecha:



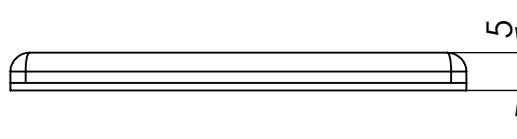
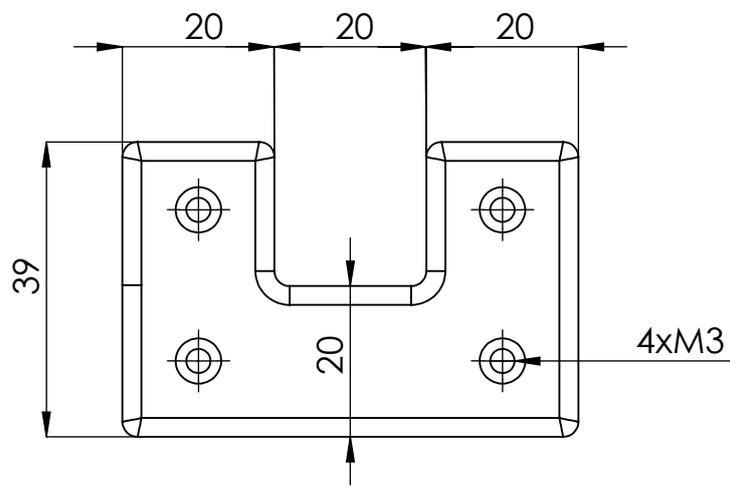
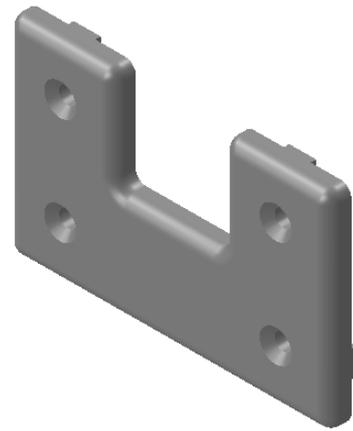
Observaciones		Título: Tapas trasera de la carcasa		Plano nº:
				Hoja nº:
Escala	Un. dim. mm	 Escuela Superior de Tecnología	Dirigido por:	Fecha:
1:5			Comprobado por:	Fecha:



Observaciones		Título: Tapa lateral de la carcasa		Plano nº:
				Hoja nº:
Escala 1:5	Un. dim. mm 	 Escuela Superior de Tecnología	Dirigido por:	Fecha:
		Comprobado por:		Fecha:



Observaciones		Título: Unión de perfiles exterior		Plano nº:
				Hoja nº:
Escala 2:1	Un. dim. mm 	Escuela Superior de Tecnología	Dirigido por:	Fecha:
			Comprobado por:	Fecha:



Observaciones		Título: Unión perfiles lateral inferior		Plano nº:
				Hoja nº:
Escala 1:1	Un. dim. mm	 Escuela Superior de Tecnología	Dirigido por:	Fecha:
			Comprobado por:	Fecha: