



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática**

**Máquina de reciclado de material para  
impresión 3D**

**Autor:**

**García Hernantes, Gonzalo**

**Tutora:**

**Pérez Barreiro, Maria Cristina  
Tecnología Electrónica**

**Valladolid, julio 2020.**



## AGRAGECIMIENTOS

*En primer lugar, el mayor agradecimiento es para mis padres y familia, por la educación y valores que me han inculcado, gracias por su confianza y apoyo.*

*A todos los que me han acompañado durante esta etapa, amigos y compañeros con los que he vivido los peores y mejores momentos que, en definitiva, me han hecho progresar.*

*Por último, quería hacer especial mención a Cristina Pérez, mi tutora, ella me ha guiado y apoyado en la elaboración de este Trabajo Fin de Grado.*

*A Eusebio de la Fuente, mi tutor de prácticas, gracias por todo su desempeño. Ellos y muchos otros han hecho posible que finalice este grado.*

## Índice

Índice de ilustraciones .....	5
Resumen .....	7
Abstract .....	7
1. Justificación de proyecto .....	8
2. Estado del arte .....	9
2.1. Antecedentes.....	9
2.2. Iniciativas influyentes en nuestra sociedad .....	10
2.3 Alternativas comerciales.....	11
3. Metodología de diseño: Trituradora y extrusora .....	16
4. Trituradora .....	19
4.1 Fundamento físico, diseño y componentes.....	19
4.1.1 Ejes hexagonales.....	20
4.1.2 Cuchillas.....	22
4.1.4 Rodamientos y sus acoples.....	23
4.1.3 Pared lateral .....	24
4.1.5 Engranajes.....	25
4.1.6 Separadores .....	28
4.1.7 Varillas roscadas, arandelas y tuercas .....	29
4.1.8 Acople motor.....	30
4.1.9 Tolva de protección.....	30
4.2 Montaje.....	31
4.3 Dificultades encontradas durante el montaje.....	33
4.3.1 Tolerancias entre las cuchillas y sus ejes .....	33
4.3.2 Rodamientos no estándar .....	33
4.3.3 Diseño de la pared, lámina de aluminio.....	33
5. Extrusora.....	35
5.1 Fundamento físico, diseño y componentes.....	35
5.1.1 Parte mecánica: Base, barril o garganta, husillo de extrusión, boquilla, sistema de enfriado, prensa, sistema de embobinado, sistemas de acople y sujeción.....	36
5.1.2 Sistema de control electrónico: Placa de control, termopar, calentador, drivers, motores, HMI y alimentación .....	46
5.2 Cableado, programación y montaje .....	56

Termopar: Funcionando junto a MAX6675 .....	56
Esquema eléctrico completo .....	58
6. Conclusiones .....	60
7. Bibliografía.....	62
8. Anexos.....	65
8.1 Planos de componentes de diseño propio .....	65
8.2 Datasheets .....	71
AMPLIFICADOR MAX6675 ISA.....	71
DATASHEET Mahor V4 Pellet Extruder.....	79
DATASHEET DRIVER BTS7960 .....	80
DATASHEET NEMA17 .....	86
DATASHEET TRIAC BTA16B .....	90
OFERTA LASER EBRO S.L.....	95
PROFORMA LASER EBRO S.L. ....	96
PLA HD Winkle .....	97
Esquemático Arduino Nano .....	98

## Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Modelos disponibles en el foro RepRap_( <a href="#">RepRap</a> , s.f.) .....	10
Ilustración 2: Primeras impresoras pertenecientes al movimiento CloneWars en España_( <a href="#">Wars</a> , s.f.).....	11
Ilustración 3: Filastruder kit con localización de componentes detallada_( <a href="#">Filastruder kit</a> , s.f.).....	12
Ilustración 4: V4 Pellet Extruder diseñado por Mahor-xyz_( <a href="#">Pellet Extruder</a> , s.f.) .....	13
Ilustración 5: Kit extrusora suministrado por megatec center_( <a href="#">kit E.</a> , s.f.) .....	14
Ilustración 6: Kit trituradora cortada por tecnología láser, suministrado por megatec center_( <a href="#">kit S.</a> , s.f.).....	15
Ilustración 7: Esquema de la metodología top-down_( <a href="#">Ilustración</a> ).....	17
Ilustración 8: Montaje con ubicación de componentes (Elaboración propia).....	20
Ilustración 9: Modelo de un eje hexagonal realizado en SolidWorks (Elaboración propia) .....	21
Ilustración 10: Cuchilla diseñada con SolidWorks (Elaboración propia).....	22
Ilustración 11: Archivo dwg proporcionado a Laser Ebro S.L. (Elaboración propia) .	22
Ilustración 12: Sección del ensamblaje completo realizada con SolidWorks (Elaboración propia) .....	24
Ilustración 13: Pared lateral diseñada con SolidWorks (Elaboración propia).....	25

Ilustración 14: Prototipo 1 de engranaje realizado en Autodesk Fusion (Elaboración propia) .....	360
Ilustración 15: Prototipo 2 de engranaje realizado en SolidWorks (Elaboración propia) .....	26
Ilustración 16: Engranaje final (prototipo 2) fabricado mediante impresión (Elaboración propia) .....	27
Ilustración 17: Separador de cuchillas diseñado con SolidWorks (Elaboración propia) .....	3D
Ilustración 18: Diseño de las varillas acopladas en las paredes laterales (Elaboración propia) .....	28
Ilustración 19: Tolva de protección con su despliegue (Elaboración propia).....	28
Ilustración 20: Componentes por separado de la trituradora (Elaboración propia).....	29
Ilustración 21: Avances en el montaje de la trituradora (Elaboración propia) .....	30
Ilustración 22: Trituradora totalmente ensamblada (Elaboración propia).....	31
Ilustración 23: Montaje con ubicación de componentes (Elaboración propia) .....	31
Ilustración 24: Base de la extrusora (Elaboración propia) .....	32
Ilustración 25: Esquema del cuerpo de la extrusora_(Parra Brito).....	36
Ilustración 26: Diseño del barril (Elaboración propia) .....	37
Ilustración 27: Diseño de brida normalizada (Elaboración propia) .....	38
Ilustración 28: Boquilla de latón (Elaboración propia) .....	39
Ilustración 29: Teoría y parámetros del husillo de extrusión_(Thermoforming of single and multilayer laminates, 2014) .....	39
Ilustración 30: Tolva de diseño propio (Elaboración propia).....	40
Ilustración 31: Diseño teórico del sistema de enfriamiento (Elaboración propia) ...	41
Ilustración 32: Prensa ensamblada en SolidWorks (Elaboración propia) .....	43
Ilustración 33: Sistema de bobinado (Elaboración propia) .....	44
Ilustración 34: Especificaciones Arduino Nano_(Arduino, s.f.) .....	45
Ilustración 35: Pinout Arduino Nano_(Arduino, s.f.).....	47
Ilustración 36: Termopar tipo K empleado en la extrusora_(Termopar I. , s.f.) .....	47
Ilustración 37: Módulo con MAX6675 integrado (Elaboración propia) .....	48
Ilustración 38: Calentador de banda específico para la extrusora_(Heater, s.f.) .....	49
Ilustración 39: Controlador de corriente alterna con dos canales independientes (dimmer, s.f.).....	50
Ilustración 40:Driver BTS7960 (Luis Llamas) .....	51
Ilustración 41: Display y módulo I2C_(Display, s.f.) .....	53
Ilustración 42: Módulo joystick_(joystick, s.f.).....	54
Ilustración 43:Driver DRV8825 y nema17_(drv8825, s.f.) .....	54
Ilustración 44: Esquema para la prueba del termopar (Elaboración propia).....	55
Ilustración 45: Visualización de la temperatura en el ensayo (Elaboración propia).....	57
Ilustración 46: Esquema eléctrico completo (Elaboración propia) .....	58
	59

## Resumen

Hoy en día, la impresión 3D está lo suficientemente desarrollada como para abarcar una parte importante de la industria. Esto permite su implementación en campos muy diversos, como la construcción o la medicina.

Muchas de las piezas realizadas son simples prototipos que se van modificando hasta alcanzar el diseño adecuado, por lo que se desechan; en los procesos de fabricación se generan restos sin ninguna utilidad. La ingeniería se compromete con el medio ambiente, y en el caso de los materiales empleados en la fabricación de piezas, es factible su reciclado.

Mediante este proyecto se pretende, contando con un presupuesto no excesivamente elevado, construir un conjunto de máquinas que, a partir de desechos, soportes o piezas formadas con polímeros, sean capaces de generar un nuevo filamento. Estarán situadas en AMUVa y serán de gran utilidad en la UVa, para que profesores y estudiantes puedan reaprovechar el material.

Palabras clave: impresión 3D, reciclaje, trituradora, extrusora, filamento.

## Abstract

Nowadays 3D printing is developed enough to cover a significant part of the industry. This allows its implementation in various sectors, such as construction or medicine.

Many of the pieces produced are simple prototypes that are modified until the appropriate design is reached, so they are thrown away; in the manufacturing process, waste is generated without another useful life. Engineering must bet on the commitment with the environment, and in the case of materials used in the manufacture of pieces, their recycling is feasible.

This work presents, with a not excessively high budget, the design and construction of a set of machines which can generate a new filament from waste, supports or parts formed with polymers. It will be located at AMUVa and will be very useful at UVa, so that teachers and students can reuse the material.

Key words: 3D printing, recycling, shredder, extruder, filament.

## 1. Justificación de proyecto

Este trabajo está enfocado al diseño y construcción de una máquina capaz de reciclar y reconvertir plástico en filamento que pueda ser utilizado en impresión 3D. Se ideará un diseño versátil que se adecue a la gama actual de impresoras y materiales diferentes.

La gran mayoría de impresoras hoy en día funcionan gracias a la tecnología FDM (Fused Deposition Modeling). Se parte de un rollo de filamento y a través de un motor PAP (paso a paso) se controla la cantidad de material que llega hasta la boquilla. Seguidamente, se calienta el polímero para que salga fundido por la boquilla y se deposite en la posición adecuada de nuestro modelo. Las impresoras 3D de este tipo suelen tener cuatro motores: uno en el extrusor y otro por cada eje xyz.

Es habitual trabajar con materiales polímeros como PLA, ABS, PET, HIPS, etc. Aunque también se han desarrollado aleaciones de estos polímeros con partículas de diferentes materiales como cobre, madera o fibra de carbono, según las propiedades que se quiera conseguir. Con esto, juntamos las ventajas de una fácil impresión además de la obtención de un producto resistente.

Relacionado con la gran cantidad de materiales e impresoras que se utilizan día a día en nuestra sociedad, surge esta solución de reciclado. Concretamente en el entorno universitario se imprimen varias piezas a lo largo del día, la mayoría de ellas son prototipos necesarios para optimizar el diseño final. Es por esto por lo que se ha pensado en comprar un módulo (trituradora y extrusora) capaz de transformar todo tipo de elementos impresos en nuevo filamento. A la hora de valorar los diseños de los productos comerciales y su correspondiente coste económico, se ha optado por construir un módulo con el mismo objetivo, pero con un diseño propio realizado completamente desde cero. Esto contribuirá a solventar el problema de reciclado en la UVA, especialmente en los laboratorios de fabricación y diseño.

Conociendo las alternativas comerciales a este tipo de máquinas, se ha optado por realizar un nuevo diseño más asequible que estará financiado por AMUVA (Asociación de Microrrobótica de la Universidad de Valladolid). Por tanto, se intentará fabricar con un presupuesto no muy extenso y, una vez construido y analizados los principales fallos, se procederá a mejorar las piezas correspondientes.

El objetivo pasa por intentar crear una máquina asequible, no pensada para un uso comercial, eficiente, fácil de utilizar y duradera. Una vez construida la máquina, quedará a expensas de la universidad, situada en AMUVA a disposición de todo el que quiera hacer uso de ella. Se pretende que este documento aúne todos los datos necesarios para la fabricación de forma que todo el que quiera realizar una máquina similar pueda encontrar toda la información en este trabajo.

## 2. Estado del arte

Previamente a comenzar a diseñar este proyecto, se ha obtenido información sobre la tecnología y productos ya existentes. Esto ayuda a conocer si realmente se necesita crear algo nuevo o, por contrario, lo óptimo es adquirir algo ya diseñado por otro equipo de ingenieros o empresas. Puede servir también como guía a la hora de comenzar a diseñar el proyecto.

En este apartado se va a repasar el estado de la técnica, recorriendo todo tipo de máquinas que ayuden a comprender el panorama actual de este sector. Primeramente, se introducirá el contexto actual de este sector, repasando los inicios en impresión 3D o iniciativas como el movimiento maker o el proyecto RepRap y su influencia en la sociedad. Seguidamente, se analizarán prototipos comerciales, diseños “open source” realizados por particulares y documentados por completo en la web.

### 2.1. Antecedentes

En 1976 comienzan a desarrollarse equipos de trabajo y sus correspondientes materiales de fabricación aditivos. Unos años más tarde se inventaron métodos de fabricación a través de un polímero fotoendurecible. A partir de ahí, en 1984 se presentaron varias patentes para el proceso de estereolitografía, siendo una de ellas finalmente rechazada por falta de perspectiva empresarial (Trends, s.f.).

En este mismo año, la patente del estadounidense Chuck Hull siguió adelante a través de 3D Systems Corporation. Desarrollaron así un sistema que añade capas de fotopolímeros que son tratados mediante láseres ultravioletas. Se construye así la primera impresora 3D del mundo, basada en estereolitografía y llamada SLA-1. Cabe destacar los avances aportados por el Dr. Hideo Kodama en 1980 en este mismo campo, patentando un sistema de prototipado rápido de polímeros.

Años más tarde, en 1989 S. Scott Crump y su pareja Lisa Crump inventan y patentan un nuevo método de fabricación, Fused Deposition Modeling (FDM) en el que se centra este trabajo. Con ello, surgen la bioimpresión haciendo posible el uso de órganos impresos en 1999. Concretamente, se realizó con éxito el trasplante de una vejiga urinaria. Seguidamente, en el año 2004, Adrian Bowyer, profesor de la Universidad de Bath, funda el proyecto RepRap que se verá en el siguiente apartado.

## 2.2. Iniciativas influyentes en nuestra sociedad

Primeramente, se describe el proyecto RepRap ya que es el de mayor importancia. Nace con las intenciones de producir un aparato que pueda fabricarse a sí mismo, con el objetivo de que cualquier individuo en el planeta pueda hacerse con uno. De esta manera, cualquier persona puede tener una pequeña fábrica en sus manos capaz de construir más máquinas y otros objetos personales.

Cuatro años más tarde, en 2008 construyen su segundo modelo de impresora 3D, la 'Mendel' con el que consiguen crear más de 100 copias distribuidas en varios países. A partir de este momento, se empiezan a replicar las máquinas de forma masiva, extendiéndose la comunidad RepRap y aportando modelos cada vez más novedosos.

Cabe destacar la importancia del modelo 'Prusa i3' diseñado por Josef Prusa. Se puede encontrar la versión original de este modelo en el foro de RepRap, pero también se pueden adquirir copias más asequibles distribuidas por empresas externas al proyecto RepRap. La gran mayoría de impresoras actualmente son una copia del modelo 'Prusa i3'. Se adjunta en la Ilustración 1 una parte de la lista de modelos disponibles en el foro RepRap (RepRap, s.f.).

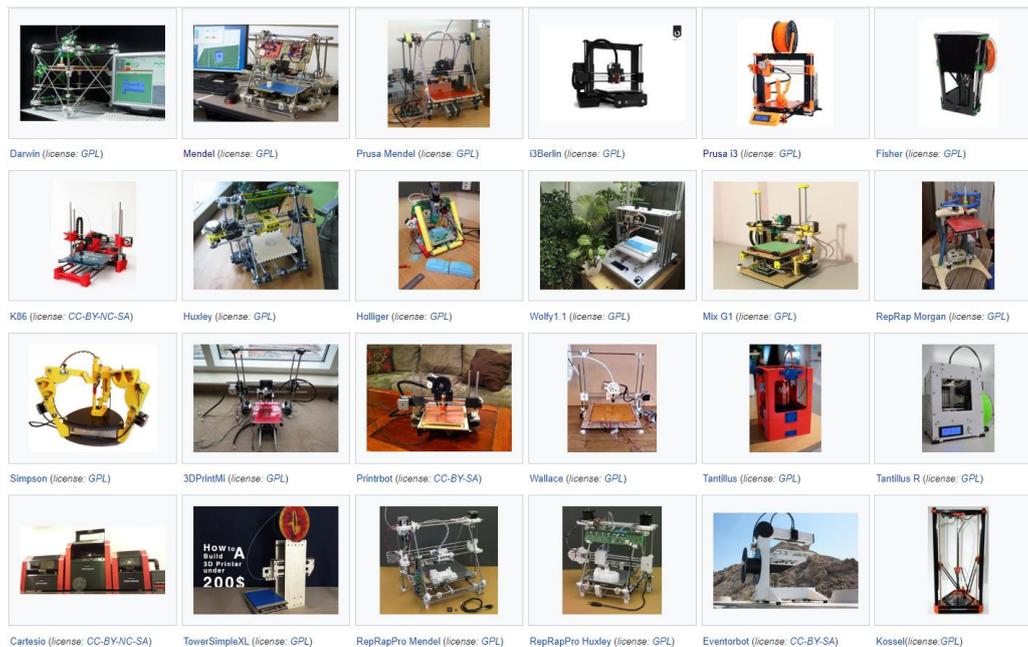
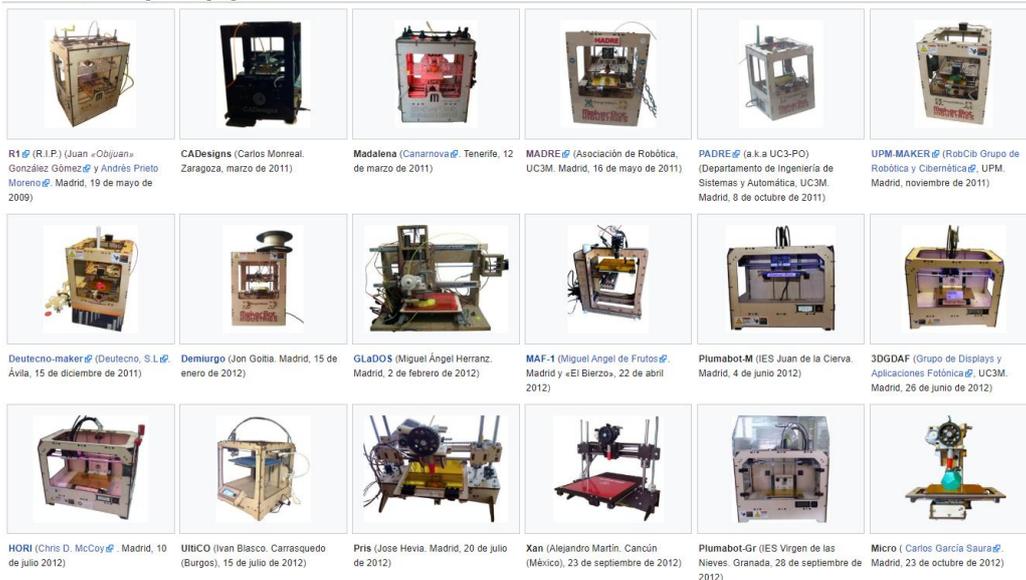


Ilustración 1: Modelos disponibles en el foro RepRap

En el ámbito nacional, se lanzó en 2011 el proyecto ClonWars, con la participación de la ASROB (Asociación de Robótica de la UC3M). Se creó así la mayor comunidad de impresión 3D en España que actualmente ha producido más de 400 impresoras, siendo su primer modelo la R1, construida por Juan González Gómez (Obijuan), Andrés Prieto-Moreno y Ricardo Gómez. Seguidamente la ASROB adquirió el modelo MADRE, con el cual pudieron comenzar a crear 'clones'. En la Ilustración 2 se muestran las primeras impresoras destinadas a crear copias (Wars, s.f.).

#### Generación 0: Las impresoras progenitoras



*Ilustración 2: Primeras impresoras pertenecientes al movimiento CloneWars en España*

De esta manera se han ido introduciendo las impresoras 3D en nuestra sociedad y ha sido posible que cualquier persona pueda adquirir una sin tener que pagar un precio elevado. El proyecto RepRap, los microcontroladores programables tipo Arduino y el Software libre han formado las bases del movimiento Maker (Maker), con sus orígenes en 2005 hasta la actualidad. Se trata de un colectivo que se identifica por realizar proyectos de una manera autónoma DIY (Do It Yourself) generalmente con ordenadores, electrónica, controladores, etc.

El crecimiento de este colectivo, a partir de 2011 generalmente, ha dado lugar a la aparición de foros en la web, 'wikis' donde cualquier persona puede obtener información de trabajos realizados por otros usuarios y así resolver sus dudas a la hora de comenzar su proyecto. Éste es el contexto en el que nos movemos actualmente, ayudándonos también de proyectos de otros colaboradores (Makers) a la hora de buscar documentación de proyectos como el que se describe en este documento.

A continuación, no se analizarán únicamente modelos comerciales, sino que también se tendrán en cuenta prototipos DIY documentados ya que estos últimos siguen creciendo en los últimos años, al igual que lo hace la comunidad Maker.

### 2.3 Alternativas comerciales

En cuanto a prototipos comerciales, existen muy buenas alternativas, todas ellas de elevado coste en comparación con el presupuesto establecido por AMUVa. Se comentará alguna de ellas, observando las similitudes y diferencias entre los diversos modelos.

## FILASTRUDER KIT

Se trata de un kit formado por todos los componentes necesarios para construir una extrusora. En cuanto a su diseño, como la mayoría de extrusores hoy en día, se compone de una garganta o tubo que guía el material hasta llevarlo a su extremo. Se calienta mediante una resistencia y se controla la temperatura con un termopar. Igualmente, se controla la velocidad del motor DC mediante PWM (Pulse Width Modulation). En la Ilustración 3 se observa esta extrusora.

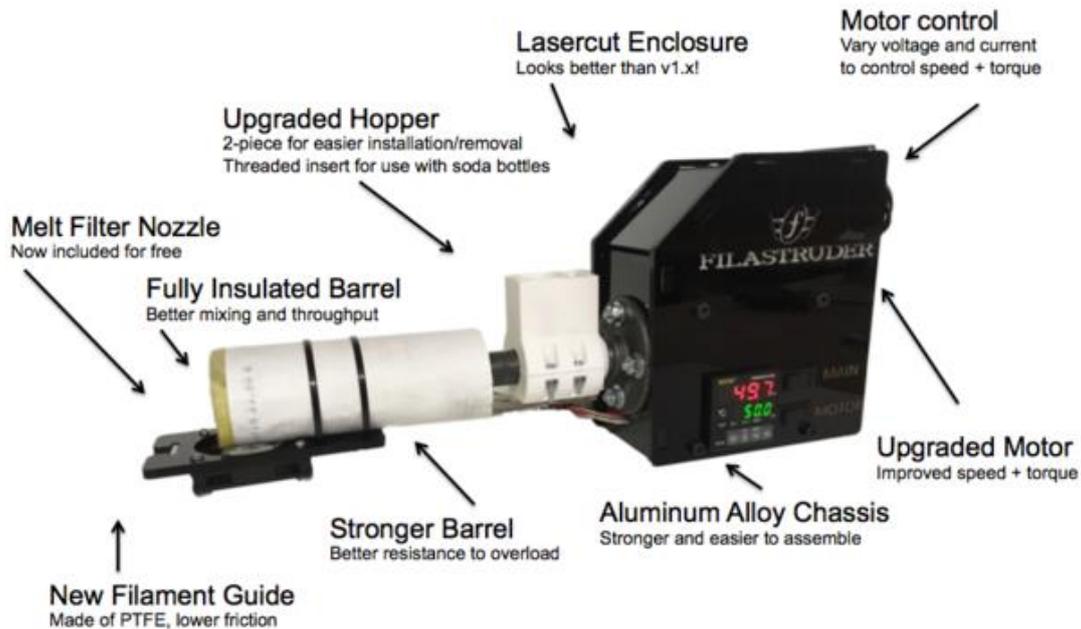


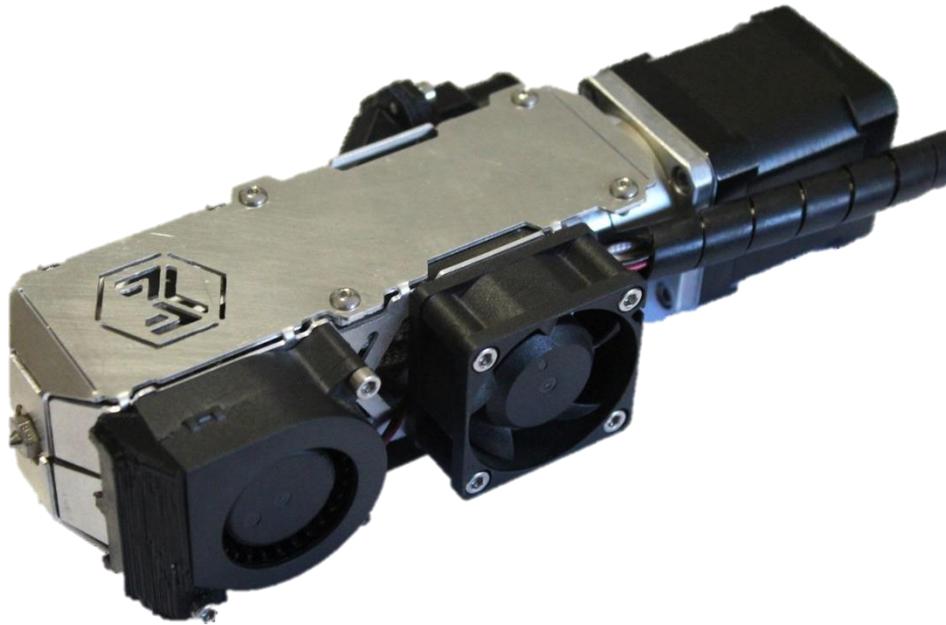
Ilustración 3: Filastruder kit con localización de componentes detallada

Se indican a continuación sus especificaciones (Filastruder kit, s.f.):

- **Rango de extrusión típico:** 5-8 horas por kilogramo, dependiendo del diámetro, material y temperatura
- **Temperatura de extrusión:** Hasta 260C, limitada por seguridad.
- **Tamaño:** 18"x6"x4"
- **Ruido:** 52dBA @ 3ft
- **Alimentación:** 110-240 VAC, 50/60Hz. Coste eléctrico de 10 céntimos por kilogramo extruido

## MAHOR V4 PELLET EXTRUDER

Se trata de una idea única en el mercado, llevada a cabo por la empresa Mahor-xyz. En vez de construir una extrusora para fabricar filamento de nuevo, han ideado un extrusor que va montado directamente en la impresora 3d. Con esto nos ahorramos un paso y, alimentando con pellet nuestra impresora, obtenemos directamente la pieza impresa. El producto actualmente tiene un precio de 495€, muy por encima de nuestro presupuesto. La Ilustración 4 muestra el producto fabricado.



*Ilustración 4: V4 Pellet Extruder diseñado por Mahor-xyz*

Indicaré a continuación alguna de sus especificaciones, no obstante, adjunto el datasheet completo en los [anexos](#) (Pellet Extruder, s.f.):

- Temperatura máxima: 300C
- Velocidad de impresión máxima: 60mm/s
- Aceleración máxima: 500mm/s

A la vista de estos datos, me parecen unas velocidades y aceleración no muy altas, esto puede implicar un aumento de los tiempos de impresión. Un factor que condiciona estos datos puede ser el gran peso del aparato y su consecuente inercia ya que posee el motor en su parte más alta.

## EXTRUSION MACHINE KIT

Se trata de un kit que contiene todo lo necesario para montar una extrusora de filamento. Existen varios tipos de kits orientados a su venta para que el comprador únicamente tenga que montar el producto y ponerlo a funcionar sin configurar una gran cantidad de parámetros. Este kit me parece el que más se adecua a mi proyecto, por eso es el que he elegido para exponer en este apartado (kit E. , s.f.).

Como es lógico, hay algún otro kit orientado a obtener un filamento de mayor calidad o a ser más productivo en términos de filamento generado por hora. El precio de los materiales elegidos influye en el precio del producto, habiendo máquinas desde los 500€ hasta más de 5.000€. Este kit en concreto cuesta actualmente 652€. Otra vez nos encontramos con un precio muy superior al establecido por AMUVa. En la Ilustración 5 se observa este kit.



*Ilustración 5: Kit extrusora suministrado por megatec center*

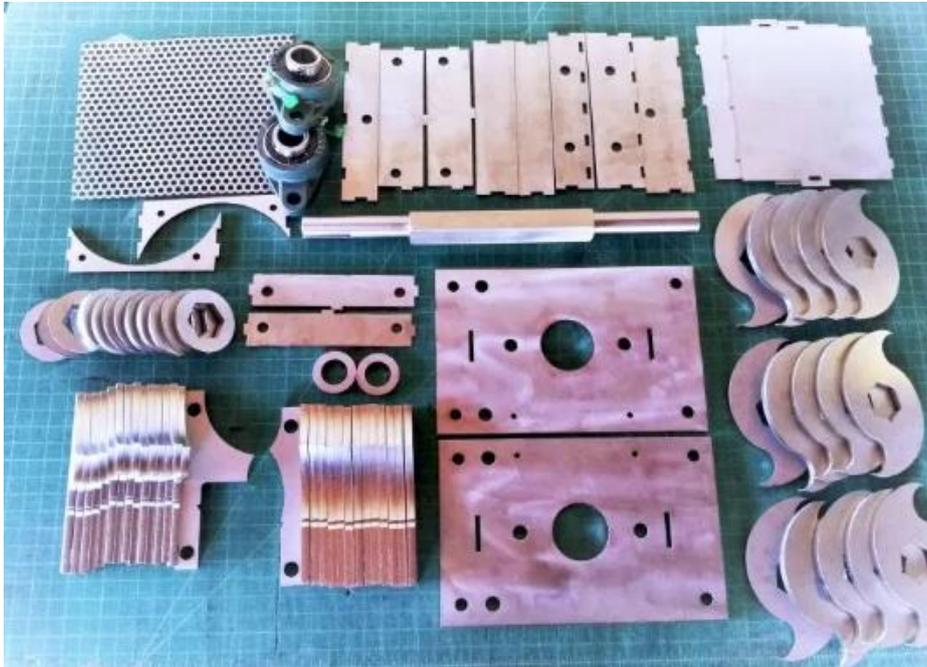
Como observamos, es un kit bastante completo y de calidad. Esto lo vemos en que posee un husillo específico para fundir plástico, el cual va variando su contorno para guiar el plástico de mejor manera. Así mismo, incluye cuatro abrazaderas calentadoras para ir calentando el plástico de forma progresiva y dos termopares para medir la temperatura en diferentes lugares. En las demás piezas se observa un acabado de gran calidad.

Especificaciones:

- Cuatro calentadores de banda de 175W
- Temperatura máxima 300C
- Cuerpo roscado de 588 mm, acero 38CrMoAlA
- Una boquilla de 1.75 mm y otra de 3 mm
- Garganta de 530mm de acero ST-52

## PLASTIC SHREDDER KIT – LASER CUT PARTS

Se trata de un kit que contiene todas las piezas necesarias para montar la trituradora. Éstas han sido cortadas por tecnología láser. Su precio actualmente varía entre 370€ y 470€. Al igual que las opciones anteriores, ésta supera el presupuesto disponible. A continuación, adjunto la Ilustración 6 donde se aprecian los componentes de este kit (kit S. , s.f.):



*Ilustración 6: Kit trituradora cortada por tecnología láser, suministrado por megatec center*

He de destacar la importancia de artículos como éste para fijarme en qué partes he hacer a medida mediante alguna empresa de mecanizado y cuáles puedo comprar con medidas normalizadas para reducir costes. De esta manera encargaré solamente lo necesario. Se pueden ahorrar costes con un diseño lo más estandarizado posible.

Las especificaciones de este kit son las siguientes:

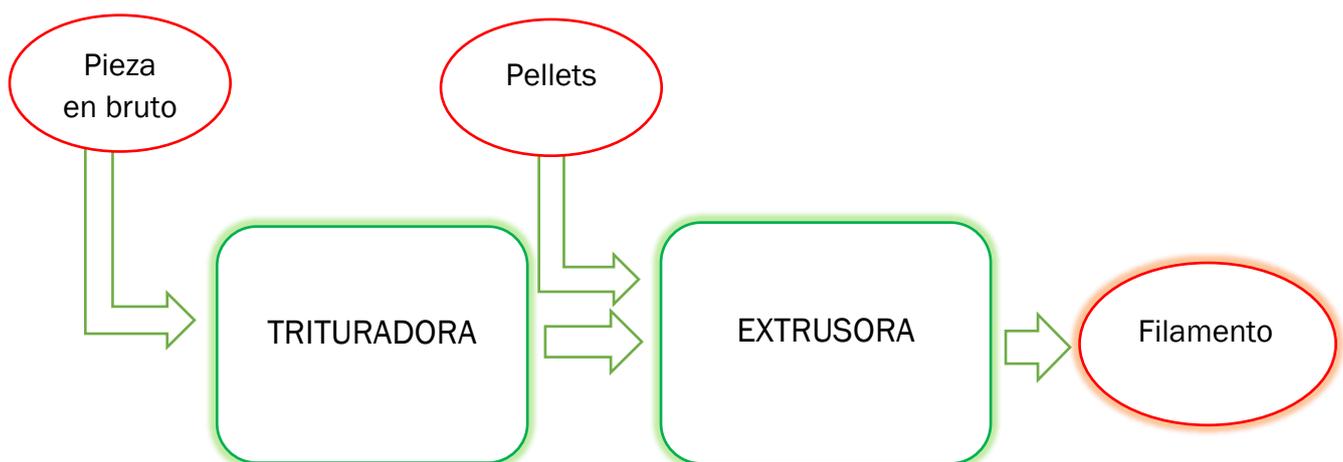
- Partes cortadas con aceros inoxidable AISI 304
- Eje hexagonal de 20mm con acoplamiento
- Rodamientos UCFL204 (2 unidades)
- Malla/pantalla perforada con agujeros de 5mm
- Todas las tuercas y tornillos necesarios para el montaje
- Peso: 14kg
- Dimensiones: 250 x 350 x 250 mm

### 3. Metodología de diseño: Trituradora y extrusora

Acudiendo al diseño de la máquina, se observan varios problemas iniciales. Lo primero a tener en cuenta, como en cualquier diseño, es conocer cuáles son las condiciones y objetivos del prototipo en cuestión. A grandes rasgos, se necesitan dos resultados: pellets de material y, a partir de éstos, se fabricará el nuevo filamento.

Tras obtener información de diferentes fuentes, se ha tomado la decisión de separar el diseño en dos máquinas independientes. Con esto se consigue un diseño modular y versátil. Se valoran varios puntos de partida: hacer uso de una pieza en bruto o, adquirir pellets de material. En este segundo caso, con hacer uso únicamente de la extrusora sería suficiente para obtener el filamento deseado.

La primera de las partes será una trituradora encargada de transformar el material en bruto a pellets. La segunda constituirá una extrusora que está ideada con el propósito de convertir los pellets de material en filamento. Este último producto debe poseer un diámetro constante con el objetivo de que pueda volver a utilizarse en impresión 3D. Se adjunta a continuación el esquema general de diseño.



Una vez se han fijado los objetivos de diseño, es hora de pasar a la acción. Para ello, se debe establecer primeramente una metodología de diseño. Lo más intuitivo es analizar el problema principal y dividirlo en diferentes problemas cada vez más sencillos. De esta manera, la solución al primer problema quedará definida por el conjunto de todas las soluciones correspondientes a los problemas más sencillos. Esta metodología es conocida hoy en día como “Top-down” o algoritmo “Divide y vencerás (DYV)”.

Se tratan de metodologías aplicables a cualquier contexto. Concretamente, el algoritmo DYV es muy utilizado en ciencias de la computación, empleado a la hora de diseñar algoritmos de ordenación de datos, búsqueda recursiva, etc. De esta manera, se puede encontrar solución a problemas aparentemente muy complejos.

En cuanto al método Top-down, puede ser utilizado para resolver cualquier tipo de problema. En este caso, se hará uso de esta metodología para poder diseñar la máquina de reciclado. Nos encontramos ante una primera fase, donde se necesita entender qué es lo que debemos resolver. La respuesta a esta primera fase es el proyecto en general, queremos diseñar y fabricar una máquina que recicle plástico para impresión 3D.

Seguidamente, se pasa a una segunda fase, la de diseño. Ésta es la parte más laboriosa y el tema principal de este proyecto. Se debe analizar aquí cada problema, con sus correspondientes subproblemas y dar solución a ellos. Una vez detallada cada solución por separado, se debe analizar la compatibilidad entre ellas para que el conjunto de soluciones forme la respuesta final a esta fase de diseño. Este documento poseerá toda la información necesaria para diseñar el prototipo en cuestión. Se detallarán las partes con mayor dificultad mientras que se le dará menos importancia a las más simples.

Por último, existe la fase de detalle, en la que se fabrica e implementa el diseño teórico descrito en la fase anterior. Es aquí donde se observan los verdaderos fallos que no se ven a primera vista mediante los programas de diseño. Es habitual que no todo funcione a la primera, por eso, se creará un apartado específico para anotar las dificultades de montaje que han ido surgiendo. La fase de detalle es por tanto muy interesante de analizar ya que se muestra en ella cómo un buen ingeniero o diseñador es capaz de solventar problemas que teóricamente no hubieran existido. La Ilustración 7 contiene un esquema que pretende aclarar esta metodología.



Ilustración 7: Esquema de la metodología top-down

Este método permite la posibilidad de trabajar en equipo, siendo cada especialista quien se encargue de los subproblemas pertenecientes a su ámbito. De esta manera se ha podido consultar información y pedir consejo a diferentes profesores, profesionales y compañeros durante la realización de este trabajo, consiguiendo entre todos la solución óptima a cada subproblema.

## 4. Trituradora

Esta máquina será una parte relevante del conjunto, de cara a que existe una gran variabilidad en los tipos de piezas impresas: soportes, desechos o piezas completas. Es importante conseguir un buen diseño y obtener una máquina que disponga de la variabilidad previamente descrita de manera que no se limiten las piezas de entrada. Se consigue, a través de la trituradora, llegar a un rango más amplio de piezas y una mayor versatilidad del prototipo. En este apartado, se detallará el estudio de la trituradora. Se explicará el diseño con detalle, dejando todo correctamente definido.

En los siguientes subapartados se describirán los componentes empleados a la hora de construir la trituradora. Éstos han sido seleccionados teniendo en cuenta las características mecánicas de cada material y otros proyectos que han servido como guía (diychen, s.f.). No se necesita realizar un diseño complejo, sino que se intentará crear una máquina simple pero efectiva, con el objetivo de documentar por completo el proceso para que todo el que se lo proponga pueda replicarla.

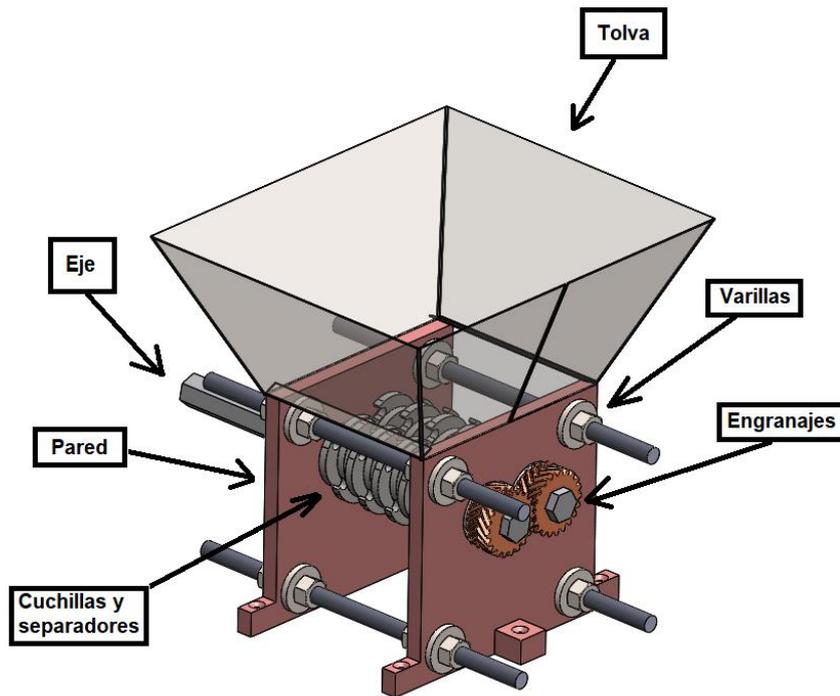
A continuación, se detallará el montaje de la máquina, observando así su correcto funcionamiento y los parámetros a mejorar. Seguidamente, se van a analizar las dificultades encontradas durante el montaje y sus respectivas soluciones. Se debe tener en cuenta que independientemente de los cálculos, se necesitarán ajustes y rediseños de piezas para optimizar el resultado final. De esta manera se mejorará la primera versión descrita en este documento.

### 4.1 Fundamento físico, diseño y componentes

Una vez obtenida la información sobre los distintos tipos de trituradoras existentes en el mercado, se comienza a idear el prototipo que ocupa este proyecto. Debe quedar muy claro que este diseño busca optimizar el coste de fabricación la máquina a la vez que trata de crear un prototipo fiable, duradero y efectivo.

Acorde con esta metodología de diseño, se intentarán utilizar componentes normalizados, en la medida de lo posible, con el fin de construir un diseño simple de replicar. Se tendrá en cuenta el empleo de componentes al alcance de todos en cualquier parte del mundo.

Con el fin de ubicar cada pieza en el ensamblaje final de la trituradora, se adjunta la Ilustración 8 donde se obtiene una idea general del conjunto. A continuación, se define cada uno de los componentes, ordenados por su correspondiente importancia en la tarea de diseño.



*Ilustración 8: Montaje con ubicación de componentes*

#### 4.1.1 Ejes hexagonales

A la hora de concretar cada componente de esta máquina, es evidente que cada parte condiciona a sus adyacentes. Se definirán primero las partes más importantes y/o costosas. De esta manera, se adaptarán las demás piezas restantes para que sean compatibles con las diseñadas previamente. Dicho esto, el primer elemento que se va a analizar es el eje empleado.

Es evidente que una trituradora debe ser robusta, alguna de sus partes como los ejes o las cuchillas van a estar sometidas a un gran esfuerzo. Por tanto, como punto de partida se buscan unos ejes de un metal duro, como puede ser el hierro, acero, aleaciones de cromo-vanadio, acero inoxidable, etc.

En lo que al material de la pieza se refiere, se ha elegido el acero inoxidable. Existen multitud de perfiles normalizados de sección cuadrada, hexagonal, rectangular, circular, etc. Además, se prefiere el inoxidable frente al acero ya que posee una mayor resistencia a la corrosión y, evidentemente, a la oxidación. Dentro del acero, existen diferentes clasificaciones que se rigen por la norma AISI (American Iron and Steel Institute). Actualmente, los más utilizados son los AISI 316 y AISI 304, ambos tienen configuración metalográfica austenítica. (316).

Una vez definido el material, únicamente queda elegir el perfil del eje. Tras ver las posibilidades existentes de adquirir un producto de estas características en Valladolid, se contactó con Suministros Industriales AZAN, una empresa situada en el polígono de Argales de Valladolid. Poseen una gran variedad de metales, plásticos y soluciones para la industria en general.

Dentro de sus productos, se ha apostado por un perfil hexagonal de acero inoxidable AISI 303. Concretamente, atendiendo a la distancia entre caras del acero de esta calidad, las medidas normalizadas son de 14, 17, 19 o 22 mm, entre otras. En la Ilustración 9 se muestra el modelo del eje descrito.



*Ilustración 9: Modelo del un eje hexagonal realizado en SolidWorks*

Se ha elegido para este proyecto el perfil hexagonal de 17mm entre caras. Se valoró la posibilidad de escoger el perfil de diámetro inmediatamente superior pero no estaba disponible temporalmente en Suministros Industriales AZAN. Con esto se quiere decir que era prácticamente imposible encontrar un perfil hexagonal de un diámetro inmediatamente superior al escogido en todo el país. Mediante una búsqueda de estos componentes, únicamente se encontraron empresas con disponibilidad en Madrid y Barcelona, por lo que se deberían sumar los costes de envío. Este ha sido el motivo por el que la búsqueda de material se ha centrado en la empresa previamente citada. En decisiones como ésta es donde se aprecia la dificultad añadida del trabajo práctico ya que en este caso se debe conocer al menos la industria de la provincia y adecuarla a las ideas y el diseño propuesto.

Valorando la elección de un perfil con distancia entre caras de 22 milímetros, se consideró que era demasiado grande para el proyecto. Esto encarecería el producto final ya que no solo se invierte más dinero en el eje, sino que se necesitarían unas cuchillas más grandes, aumentando así su precio unitario. Por último, cabe destacar que una máquina de mayores dimensiones es útil en términos de rendimiento ya que puede procesar más cantidad de material por hora. Esto no quiere decir que por construir una trituradora más grande, se vaya a obtener un producto de mayor calidad, se debe pensar un diseño acorde a las necesidades y objetivos propuestos.

#### 4.1.2 Cuchillas

Desde los inicios de este proyecto, se aclaró que era necesario mandar a fabricar este elemento fundamental a una empresa de corte por láser, chorro de agua o similar. Se valoró también la opción de hacer una compra de cuchillas por la red, ya que hay varios particulares que las suministran para fines como el de este proyecto.

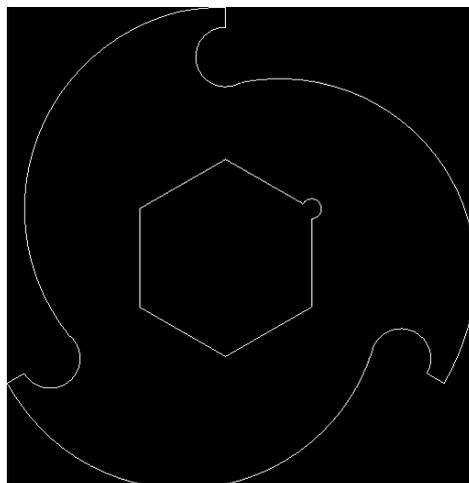
Una vez analizadas las opciones, se han buscado empresas en Valladolid que puedan realizar el trabajo. Concretamente existen varias alternativas, todas ellas situadas en el Polígono Industrial de San Cristóbal. Se contactó con estas empresas detallando la propuesta de compra y, la que nos ofreció una propuesta más interesante fue Laser Ebro S.L. por tanto, decidimos encargarles el producto.

El siguiente paso fue diseñar el prototipo de la cuchilla, que posteriormente se envió a la empresa de corte. Para ello, se tuvieron en cuenta las medidas de los ejes hexagonales concretados anteriormente. Se adjunta a continuación la Ilustración 10 con el modelo de cuchilla diseñado.



*Ilustración 10: Cuchilla diseñada con SolidWorks*

Concretamente, se solicitó un archivo con extensión dwg o dxf que se generó a partir del modelo 3D y se envió a la empresa posteriormente. En la Ilustración 11 se muestra este archivo dwg.



*Ilustración 11: Archivo dwg proporcionado a Laser Ebro S.L.*

Seguidamente, llegó la oferta por parte del fabricante. En cuanto al grosor de la pieza, se pidió opinión a un profesional con experiencia de la empresa encargada, la cual ofrecía una gama de grosores entre 5 y 15 mm. Siguiendo su valoración, finalmente se eligió un grosor de 5mm que cumplía sobradamente las expectativas. La oferta se adjunta en los [anexos](#).

Se contrastó el presupuesto con los demás vistos por la web y, finalmente, se encargó el pedido a Laser Ebro S.L. Por último, se nos envió la [factura final](#) y se acudió a sus instalaciones para recoger el pedido.

Cabe destacar que las cuchillas, al igual que los ejes, están fabricadas en acero inoxidable, en este caso AISI 304 laminado en caliente. Con este material conseguimos no contaminar de virutas metálicas el plástico procesado ya que, la capa de cromo que posee el acero inoxidable, lo protege de la corrosión.

Finaliza aquí la descripción detallada de cómo se consiguieron las veinte cuchillas utilizadas en el proyecto. Se mencionarán más adelante los problemas de tolerancias solventados con un rediseño de los componentes.

#### 4.1.4 Rodamientos y sus acoples

Una vez seleccionados los ejes y cuchillas adecuados, se procede a escoger los rodamientos necesarios para acoplar los ejes con la pared de sujeción. Estos elementos son necesarios para que los ejes deslicen homogéneamente y sin problemas.

Debido a que los rodamientos no van a soportar grandes cargas y su trabajo es únicamente el de mover los ejes correctamente, se emplearán unos rodamientos rígidos de una hilera de bolas. A la hora de escoger su tamaño, se han de tener en cuenta tanto las dimensiones de ejes y cuchillas como su posición espacial.

Aunque no se han definido todavía, las cuchillas de cada eje irán colocadas con un separador de su mismo grosor de manera que no quede holgura entre los componentes. Atendiendo a la disposición entre cuchillas, cada una irá enfrentada con un separador del eje opuesto de manera que se vayan alternando las cuchillas y separadores de cada eje.

De esta manera, las medidas de los separadores y cuchillas definirá la distancia mínima entre ejes y, por tanto, las dimensiones de los rodamientos. Se adjunta a continuación en la Ilustración 12 una sección de la trituradora ensamblada, con la finalidad de ayudar a comprender mejor el modelo.

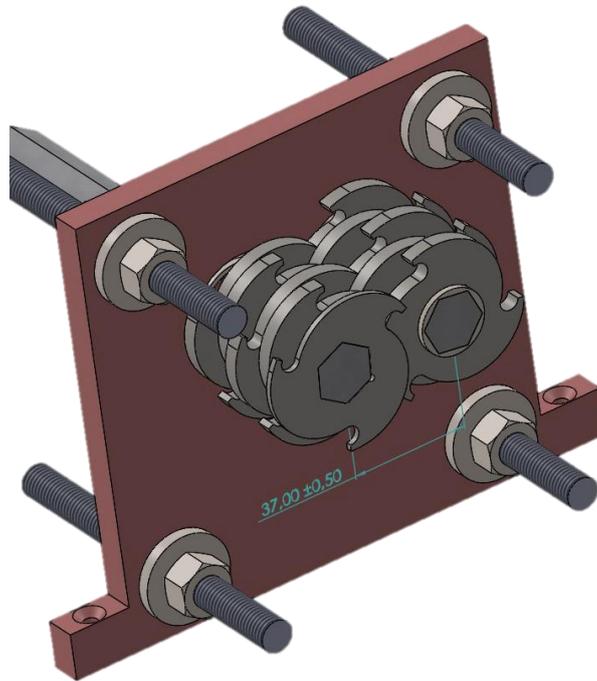


Ilustración 12: Sección del ensamblaje completo realizada con SolidWorks

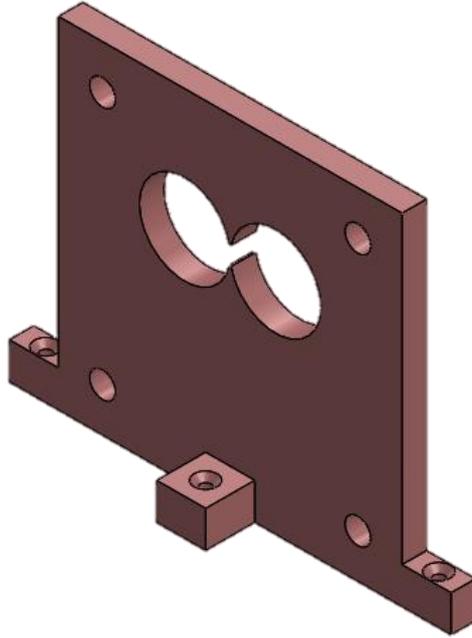
Como se aprecia en la Ilustración 12, la distancia entre ejes es de 37mm. Esto también se obtiene realizando unos sencillos cálculos. Se conoce el radio de la cuchilla, 25 mm y, el del separador, unos 10 mm, por tanto, sumados hacen una distancia de 35 mm. Se debe dejar un espacio entre ellos para que no choquen. Se fija por tanto la distancia entre ejes de 37 mm, dejando dos milímetros de separación por donde fluirá el material extruido. Gracias a este cálculo, se obtiene el diámetro exterior de los rodamientos necesarios.

Para definir el diámetro interno de los rodamientos, disponemos de varias opciones. Este puede ser de 20, 22, 25 y 28 mm, acudiendo a los tamaños normalizados de rodamientos rígidos de bolas. Entre esas opciones, teniendo en cuenta que el eje posee un diámetro de unos 20 milímetros, apostamos por el rodamiento de diámetro interno 25 y diámetro externo 37 mm. Concretamente se han escogido cuatro rodamientos iguales de código 6805ZZ.

A la hora de adquirir rodamientos hay que tener en cuenta sus tolerancias. Estos se clasifican por el sistema ABEC (Annular Bearing Engineers Committee), las categorías establecidas comienzan en el ABEC 1 hasta el 11, incluyendo únicamente números enteros impares y siendo la ABEC 11 de mayor calidad (ABEC, 2020).

#### 4.1.3 Pared lateral

En el diseño de este elemento se deben tener en cuenta las medidas de las partes diseñadas anteriormente. La pared lateral tiene como función sostener todo el conjunto y fijarlo a un plano de trabajo. Es una pieza sencilla, inicialmente fabricada mediante impresión 3D que no está sometida a grandes esfuerzos. Ésta se muestra en la Ilustración 13.



*Ilustración 13: Pared lateral diseñada con SolidWorks*

Como se aprecia, posee dos alojamientos donde encajan sendos rodamientos, cuatro agujeros donde irán colocadas las varillas de sujeción y tres salientes para atornillar la trituradora a una base.

Inicialmente se realizará una pieza de [PLA HD de Winkle](#), en los anexos se adjuntan sus especificaciones. En los parámetros de impresión, se ha de elegir un porcentaje de relleno elevado con la finalidad de construir una pieza más resistente. En caso de no ser suficiente, se han pensado alternativas a esta pieza. La primera opción sería mandar realizar un rectángulo que abarque los alojamientos de los engranajes a una empresa de corte por láser, como puede ser Laser Ebro. Esta pequeña pieza se incrustaría más adelante en otro prototipo de pared lateral. De esta manera, se emplean materiales más resistentes como acero en las zonas que así lo requieran y plástico en las zonas que no estén sometidas a cargas externas.

#### 4.1.5 Engranajes

A la hora de pensar en los engranajes, se ha de tener en cuenta que van acoplados en un eje hexagonal y la distancia existente entre los ejes. Por ello, se han diseñado unos engranajes específicos en vez de comprarlos, ya que no hay oferta que se adecue a las necesidades.

Se comenzó con un diseño básico de engranajes con el software Autodesk Fusion 360. Con la ayuda de la herramienta de engranajes, se consiguió realizar un par de engranajes de dientes rectos como el de la Ilustración 14.

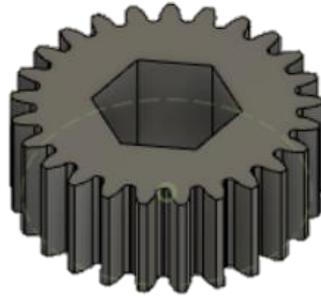


Ilustración 14: Prototipo 1 de engranaje realizado en Autodesk Fusion 360

A la hora de diseñarlo, el propio diseño detallado anteriormente condiciona el que su diámetro principal ( $D_p$ ) sea de 37 mm. Para ello, se ajusta el módulo ( $m$ ) y número de dientes ( $z$ ). Teniendo en cuenta la siguiente relación:  $m = \frac{D_p}{z}$ .

Por tanto, si se elige un módulo de 1.5 y 25 dientes, queda un diámetro de:

$$D_p = m * z = 1.5 * 25 = 37,5 \text{ mm.}$$

Se pasa en exceso medio milímetro del diámetro teórico, pero teniendo en cuenta que el engranaje se realizará en PLA, es mejor diseñar un engranaje algo más grande a que se quede corto y se ajuste peor. A la hora de montar estos engranajes en los ejes, encajaron perfectamente en sus ejes y parecían robustos.

No conforme con unos engranajes tan simples como los anteriores, se diseñó una segunda versión con el software SolidWorks. Fue así posible diseñar unos engranajes helicoidales dobles que poseen varias ventajas frente a los de dientes rectos:

- Mayor superficie de contacto entre dientes en un engranaje helicoidal comparado con uno de dientes rectos de su mismo diámetro.
- Los engranajes helicoidales dobles absorben el empuje axial a la vez que no dejan posibilidad de que resbalen dientes entre ellos
- Son los adecuados para trabajar con grandes cargas.

A la hora de calcular sus parámetros, las ecuaciones son ligeramente diferentes a las empleadas en el diseño de engranajes con dientes rectos. Para ello, se consultaron numerosas fuentes para conseguir la información necesaria, utilizando (Fadón Salazar, Cerón Hoyos, & Díez Guitiérrez, 2016) como principal referente.

La principal diferencia que se debe tener en cuenta es que ahora contamos con el parámetro  $\beta$ , entre otros. El ángulo  $\beta$  es el que forman los dientes de los engranajes con el eje. Se definen dos módulos, relacionados a través del ángulo  $\beta$ :

$$\begin{cases} \text{módulo circunferencial} = mc = \frac{Dp}{z} \\ \text{módulo normal} = mn = mc * \cos(\beta) \end{cases}$$

Combinando las ecuaciones anteriores se obtiene  $\frac{Dp}{z} = \frac{mn}{\cos(\beta)} \Rightarrow Dp = \frac{mn * z}{\cos(\beta)}$

Siendo mc el módulo circunferencial y mn el módulo normal.

Al igual que antes, se necesita que el diámetro principal (Dp) del engranaje sea igual a la distancia entre ejes, 37mm. En SolidWorks se puede configurar el módulo normal, número de dientes y  $\beta$ .

Con distintas combinaciones de estos valores, se obtienen dos posibles engranajes:

$$\begin{cases} mn = 1.375 \\ z = 19 \\ \beta = 45^\circ \end{cases} \Rightarrow Dp = \frac{1.375 * 19}{\cos(45)} = 36.94mm$$

Con un diente más,  $z = 20$ , pasamos a un diámetro de  $Dp = 38.89mm$  muy lejos del teórico.

La segunda opción sería con los siguientes parámetros:

$$\begin{cases} mn = 1.25 \\ z = 21 \\ \beta = 45^\circ \end{cases} \Rightarrow Dp = \frac{1.25 * 21}{\cos(45)} = 37.12mm$$

Finalmente se escoge con esta segunda opción ya que, como se ha explicado anteriormente, se prefiere fabricar una pieza con un diámetro en exceso que quedarse corto y no engranen los dientes posteriormente. A continuación, se mostrarán las Ilustración 15 e Ilustración 16 con el diseño en SolidWorks y del engranaje impreso.



Ilustración 15: Prototipo 2 de engranaje realizado en SolidWorks



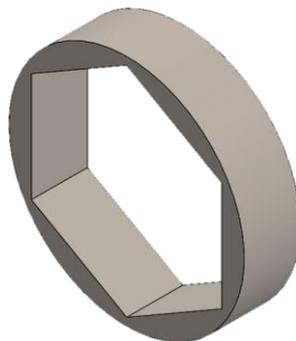
*Ilustración 16: Engranaje final (prototipo 2) fabricado mediante impresión 3D*

#### 4.1.6 Separadores

Estas piezas tienen la función de sujetar y colocar cada cuchilla en su posición de manera que no queden holguras entre ellas. Si no se pusiera alguna pieza que elimine las holguras en los ejes, existiría la posibilidad de que choque una cuchilla con la del eje opuesto, ocasionando daños temporales o permanentes en el sistema.

A la hora de diseñar estos separadores, únicamente debemos tener en cuenta que su diámetro interior no sea inferior a 19mm y el exterior no sobrepase los 21mm ya que rozaría con la cuchilla enfrentada. Su grosor coincide con el de las cuchillas, 5 milímetros. Ante estos requisitos de diseño, puede servir un tubo de aluminio de sección circular con los diámetros especificados. En el taller de diseño se realizará el corte de 5 mm exacto haciendo uso de la maquinaria allí disponible.

Como segunda opción, existe la posibilidad de mandar cortar a una empresa de corte por láser veinte separadores ya que ellos disponen de planchas de 5mm de espesor. Se tendrá esto en cuenta si falla la primera alternativa de diseño. En cuanto al presupuesto, esta última opción será algo más cara pero igualmente asequible ya que estamos hablando de piezas pequeñas. Se ha de tener en cuenta que este tipo de empresas cobran el producto según la superficie de material empleada. El separador quedaría como el mostrado en la Ilustración 17.

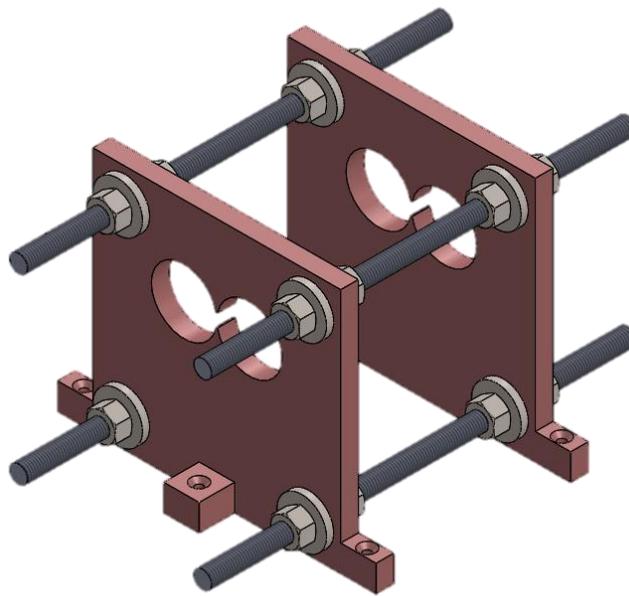


*Ilustración 17: Separador de cuchillas diseñado con SolidWorks*

#### 4.1.7 Varillas roscadas, arandelas y tuercas

Para finalizar el diseño de la trituradora, se fortalecen y asegura el prototipo. Esto se realiza mediante la inserción de unas varillas roscadas con sus tuercas y arandelas correspondientes. De esta manera se puede regular con mucha precisión la distancia entre paredes a la vez que se da rigidez a todo el conjunto.

Se han escogido varillas en vez de planchas de acero ya que hacen la máquina más observable, facilita el análisis de su funcionamiento. Si bien es cierto que las planchas de acero aportarían mayor rigidez al modelo, éstas complicarían el diseño y lo harían más tosco. Con unas buenas varillas de M10 será suficiente para soportar las pequeñas cargas axiales que pueda generar la máquina. En la Ilustración 18 se puede ver la ubicación de estos componentes.



*Ilustración 18: Diseño de las varillas acopladas en las paredes laterales*

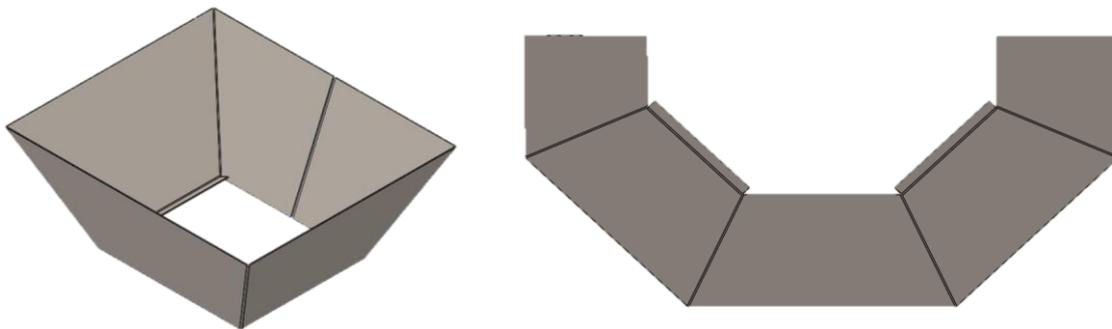
#### 4.1.8 Acople motor

Si bien es cierto que se ha definido la trituradora por completo, se echa en falta un sistema que la dote de movimiento para que pueda cumplir con su función, es decir, un motor. De esta manera, este pequeño apartado se centrará en describir el motor que dará vida a la trituradora.

Este componente irá montado en el eje hexagonal más largo de la máquina que transmitirá el movimiento al otro eje a través de los engranajes. Es conocido que los ejes de los motores suelen ser de sección circular mientras que el de la trituradora no lo es, se necesitará por tanto uno o varios acoples. Acorde con la metodología de priorizar los componentes normalizados, se ha elegido un vaso de 17 milímetros que, junto a un extensor, encaja perfectamente con el eje del motor. Cabe destacar que estos componentes son fabricados utilizando una aleación de acero con cromo y vanadio, lo cual le dota de una alta resistencia y dureza.

#### 4.1.9 Tolva de protección.

Para terminar con el diseño de la extrusora, se ha diseñado una tolva a partir de una lámina de metal con el objetivo de incrementar la seguridad del operario. Se trata de un elemento sencillo que evita que el operario pueda introducir alguna extremidad en el cuerpo de la máquina. A continuación, en la Ilustración 19 se puede ver tanto la pieza diseñada como su correspondiente despliegue para fabricarlo a partir de un pedazo de chapa.

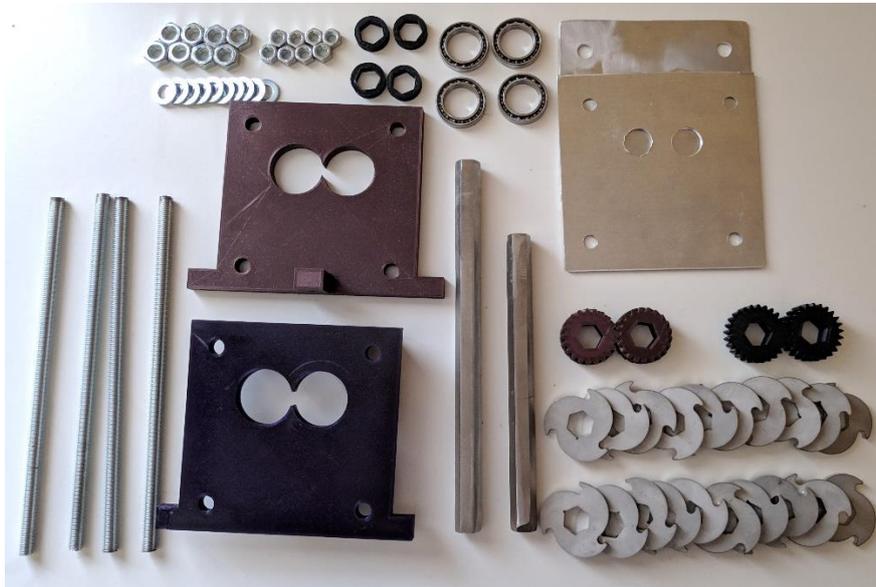


*Ilustración 19: Tolva de protección con su despliegue*

En caso de que esta protección no fuera suficiente, se ha dejado espacio para implementar otros sistemas de seguridad. Un ejemplo son los mandos bimanuales, de esta manera nos aseguramos que el operario deba pulsar simultáneamente los dos botones para activar la máquina.

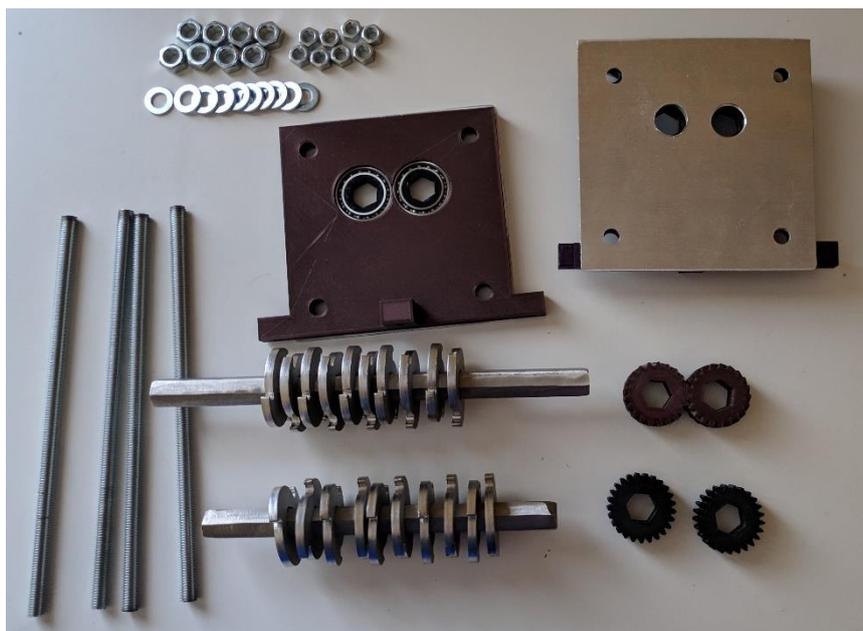
## 4.2 Montaje

El montaje de la trituradora es la fase a la que se quiere llegar después de diseñar por completo la máquina. Esta parte práctica supone una dificultad añadida al proyecto ya que, pese a haber realizado el diseño teórico por completo, éste debe ser funcional en la realidad. Se parten de las piezas anteriormente descritas, todas ellas visibles en la Ilustración 20.



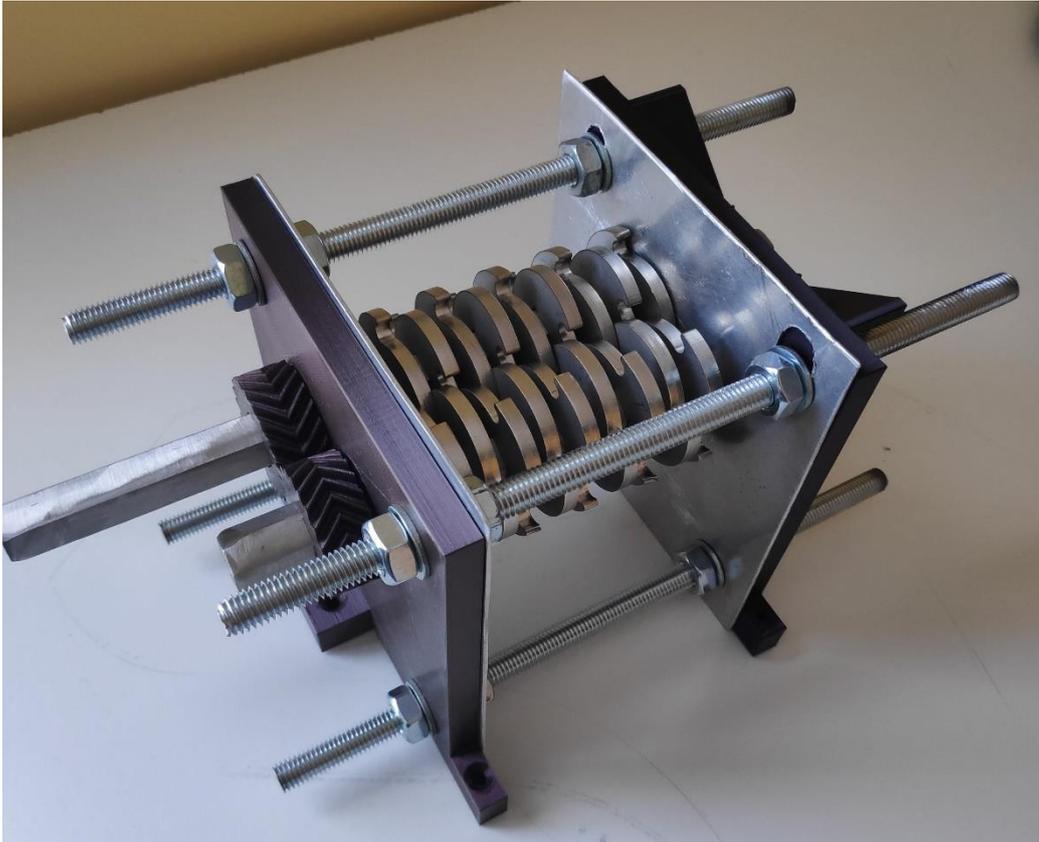
*Ilustración 20: Componentes por separado de la trituradora*

Seguidamente, se ensamblan las cuchillas con sus ejes, teniendo en cuenta su posición. Se insertan los acoples y rodamientos en las paredes, también se presenta cada chapa en su pared correspondiente. Pese a que pueda parecer un trabajo sencillo, cada paso debe realizarse cuidadosamente para obtener el resultado esperado. En la Ilustración 21 se observan los avances.



*Ilustración 21: Avances en el montaje de la trituradora*

Para finalizar con el ensamblado de la máquina, deben introducirse los ejes en cada pared, ayudándose de las varillas roscadas que actúan como sujeción entre paredes, a través de éstas se regula la anchura de la máquina. En el último paso del montaje se insertarán los engranajes acoplados en los ejes hexagonales, de esta manera se transmite el movimiento del eje conductor al conducido. Pese a que el proceso de montaje parezca trivial, se han ido ajustando y rediseñando componentes hasta que se ha podido montar la máquina por completo. En la Ilustración 22 se muestra la trituradora creada.



*Ilustración 22: Trituradora totalmente ensamblada*

### 4.3 Dificultades encontradas durante el montaje

Este apartado servirá para documentar los problemas que se han ido encontrando durante la fase de montaje. Se expondrán las dificultades no apreciables en el ensamblaje construido mediante SolidWorks o detalles a tener en cuenta a la hora de comprar los componentes.

#### 4.3.1 Tolerancias entre las cuchillas y sus ejes

A la hora de diseñar las cuchillas, se pensó en dejar una pequeña distancia para que hubiera juego entre los ejes y las cuchillas. De esta manera, se podrían acoplar sin ningún esfuerzo. Nuestro eje posee una distancia entre caras del hexágono de 17mm, se pensó en diseñar las cuchillas con un hueco hexagonal central de 17,2mm entre sus lados paralelos, de esta manera, todo encaja.

La realidad es que no se consiguió suficiente holgura y, debido a tanto las imperfecciones del cortado con láser como a las de los perfiles hexagonales, fue imposible acoplar las cuchillas con sus ejes. Ante esta situación, se pensaron varias soluciones. Una de ellas pasaba por la compra de unos nuevos ejes más pequeños, de 15 o 16 milímetros entre caras paralelas. Esta alternativa era asequible, comparándola con la fabricación de otras veinte cuchillas a medida. Se estudió la compra de estos ejes, los cuales no se podían adquirir en Valladolid y era difícil localizarlos en España, esto sumaba costos de envío y tiempo esperando su llegada. Con todo, seguía siendo una opción viable.

Ante esta situación y debido a que los ejes no tenían ninguna utilidad, se optó por reducir su sección. Conseguimos limar y reducir los ejes mediante un cuidadoso trabajo con la amoladora recta (radial) y sus correspondientes discos para limar, lijar y pulir. Una vez realizado este trabajo se comprobó que, gracias a esta reducción, las cuchillas se acoplaban perfectamente con los ejes. Esto se llevó a cabo con la colaboración de un miembro de AMUVa, José Antonio Astruga.

#### 4.3.2 Rodamientos no estándar

En cuanto a los rodamientos escogidos, su obtención fue más complicada de lo esperado. Pese a ser componentes normalizados, no se encuentran fácilmente. Los proveedores localizados en Valladolid ofrecían con un diámetro exterior (D) mayor, de 47 o 52 milímetros, pero hemos de ajustarnos al diseño. Por esta razón, se optó por la compra online. Si bien es cierto que existen varias empresas que poseen los rodamientos requeridos, se optó por adquirirlos mediante un proveedor situado en Alemania, decantándonos por éste debido a su relación calidad-precio.

#### 4.3.3 Diseño de la pared, lámina de aluminio

La pared está fabricada en PLA mediante una impresora 3D. De este modo disminuye el costo total de la máquina final. Los esfuerzos axiales a los que esta pieza está sometida se pueden despreciar, ya que, las cuchillas empujarán el material a procesar contra el eje opuesto, provocando cargas en la dirección radial.

Teniendo lo anterior en cuenta, únicamente queda analizar el posible desgaste entre la pared y su cuchilla contigua. Es evidente que este desgaste llegará a romper la pared con el paso del tiempo, pues es la más débil, plástico contra acero inoxidable. Con el fin de evitar este desgaste y aumentar la vida útil del prototipo, se colocará una fina lámina de metal (aluminio o acero) entre la pared y la cuchilla. Se utilizará la pared como plantilla para marcar y fabricar la chapa in situ, necesitando dos placas idénticas, una para cada pared. De esta manera se consigue un diseño robusto, fiable y económico. Dichas láminas serán construidas en el laboratorio de diseño, con la ayuda del técnico de laboratorio Enrique, su experiencia y sus herramientas.

## 5. Extrusora

Una vez finalizado por completo el diseño de la trituradora, se procede a documentar el prototipo de la segunda máquina que ocupa este trabajo: la extrusora. Con el objetivo de añadir claridad al proyecto, se estructurará siguiendo el patrón empleado en la trituradora. De esta manera, se describirán los componentes mecánicos y fundamento físico en primer lugar. Seguidamente y a diferencia con la trituradora, se relatará la parte electrónica del sistema y su correspondiente programación, detallando los fragmentos más relevantes del código.

De la misma manera que con la trituradora, el proceso para diseñar esta máquina ha comenzado por el análisis de otras extrusoras ya existentes. Se han extraído las mejores características de cada proyecto analizado para sintetizarlas en este diseño. Es necesario hacer mención especial a dos proyectos que han servido de base para comenzar este diseño: Tesis de la USM (Parra Brito) y el siguiente artículo de la MTU (Aubrey L. Woern).

Por último y en contraste con la trituradora, no se analizarán las dificultades de montaje. Debido a la situación extraordinaria que nos ha tocado vivir (COVID-19), no se ha podido realizar el montaje de esta máquina. Esto no conlleva un diseño incompleto ya que se describirá cada componente del prototipo, finalizando con la definición completa del mismo, al menos en el ámbito teórico.

### 5.1 Fundamento físico, diseño y componentes

Una vez descrita la metodología de diseño que se empleará en este proyecto y las fuentes más reseñables en las que se ha confiado, procede continuar con la presentación de los componentes de la máquina. De este modo quedará la extrusora completamente definida una vez que se conozcan por completo todas sus partes, tanto mecánicas como electrónicas.

De igual manera que se hizo con el diseño de la trituradora, se tenderá a utilizar componentes normalizados con el objetivo de reducir costes sin perder calidad de acabado. En líneas generales, se diseñarán componentes específicos para un buen funcionamiento de la máquina, optando por piezas normalizadas en los módulos clave. Se adjunta a continuación la Ilustración 23 que muestra un esquema de la máquina completamente ensamblada.

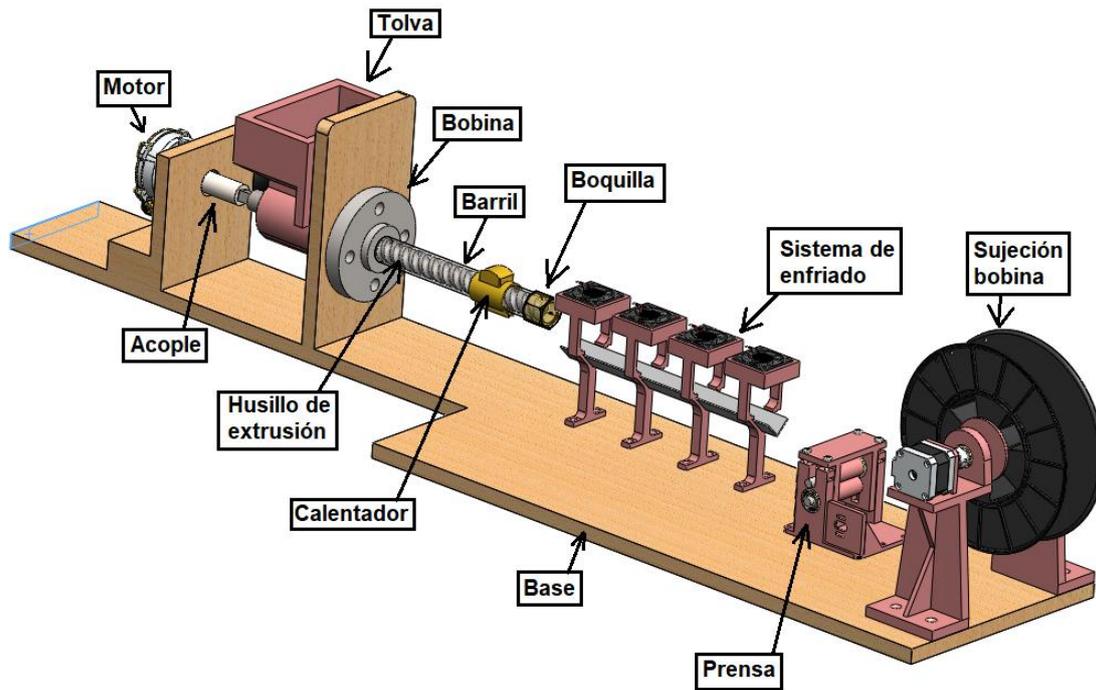


Ilustración 23: Montaje con ubicación de componentes

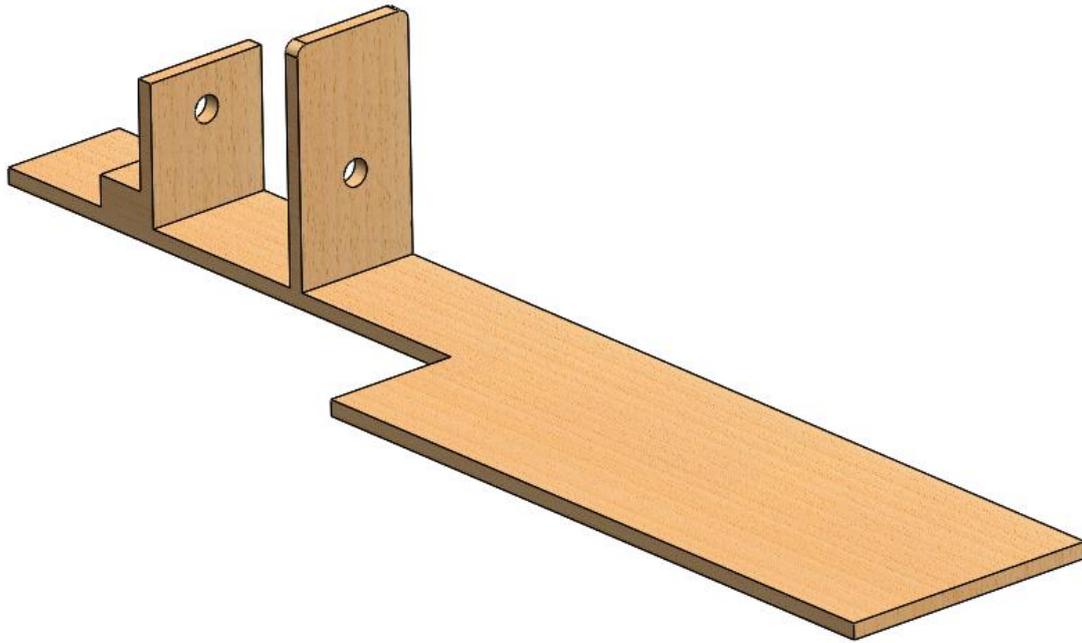
5.1.1 Parte mecánica: Base, barril o garganta, husillo de extrusión, boquilla, sistema de enfriado, prensa, sistema de embobinado, sistemas de acople y sujeción.

Debido a la gran cantidad de componentes que constituyen esta máquina, se ha decidido dividirlos en dos categorías: mecánicos y eléctricos. De esta manera se aporta claridad al documento a la vez que se facilita su lectura y comprensión.

### Base de madera

Primeramente, a la hora de detallar cada componente, es lógico comenzar por la base. Se utilizará un tablero de aglomerado que simplemente posee la función de soportar el conjunto y darle rigidez.

Este tablero contará con los cortes y agujeros necesarios para sustentar tanto el cuerpo de la máquina como su fuente de alimentación, bobina de plástico, interfaz HMI, motor y otros componentes. El diseño de esta base se adjunta en la Ilustración 24.



*Ilustración 24: Base de la extrusora*

Como se observa en la imagen, el procesado de la tabla base es algo laborioso que, una vez hecho, evitará problemas futuros y fijará todo en su preciso lugar. A pesar de parecer una pieza trivial, el diseño se ha tenido que ir modificando mientras se desarrollaban las demás piezas, de manera que se no se obtiene el tablero final hasta que el diseño de la extrusora no está prácticamente terminado. En definitiva, aunque por intuición la base sea la primera pieza por diseñar, ésta va modificándose mientras se diseñan los demás componentes de la máquina. Es por ello que hasta que no se finalice por completo el diseño del ensamblaje, no se puede asegurar una base correcta y funcional.

### **Unidad extrusora: Barril o garganta, brida y boquilla**

Estos tres componentes constituyen el cuerpo de la máquina, por tanto, su documentación es prioritaria a otros componentes que se apoyarán en estos. Conforman el corazón de la extrusora, realizan su función principal, el barril se alimentará de pellets de material y obtendremos el nuevo filamento a partir de éste.

Existen diferentes tipos de métodos de extrusión de plástico, en este proyecto se ha optado por un sistema que empuja los pellets por el interior de la garganta, mediante un husillo de sección variable. A medida que avanzan los pellets, va aumentando la temperatura de éstos gracias a un sistema de calentamiento del barril, de esta manera se van fundiendo mientras progresan, en esta zona intermedia el material ya adquiere una consistencia líquida.

Seguidamente, llega a la parte final de la garganta donde el husillo tiene una menor sección para conseguir la compresión del plástico y evacuar el aire existente entre los pellets. Esta última zona se encarga de filtrar y homogenizar el material en estado líquido, gracias a la placa rompedora, esto garantiza que el producto vuelva a recomponerse de manera uniforme e independiente de su recorrido anterior. Por último, el material fundido se bombea a presión a través de la boquilla obteniéndose así un filamento de sección y densidad uniforme. El siguiente paso será hacer llegar este filamento a la bobina para enrollarlo una vez que esté a temperatura ambiente. En la Ilustración 25 se muestra el esquema de funcionamiento.

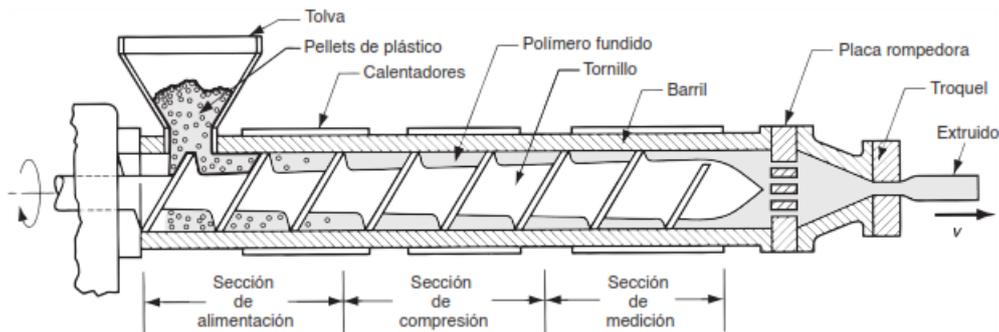


Ilustración 25: Esquema del cuerpo de la extrusora

Si bien es cierto que diseñar una unidad de extrusión puede conllevar una gran carga económica, el objetivo de este proyecto es facilitar el diseño de una máquina asequible sin que esto repercuta en la calidad del producto. Es por ello que, a la vista de las fuentes consultadas, se ha concluido que, en cuanto al cuerpo de la máquina, la opción más eficiente pasa por construirlo haciendo uso de diferentes elementos de fontanería como base.

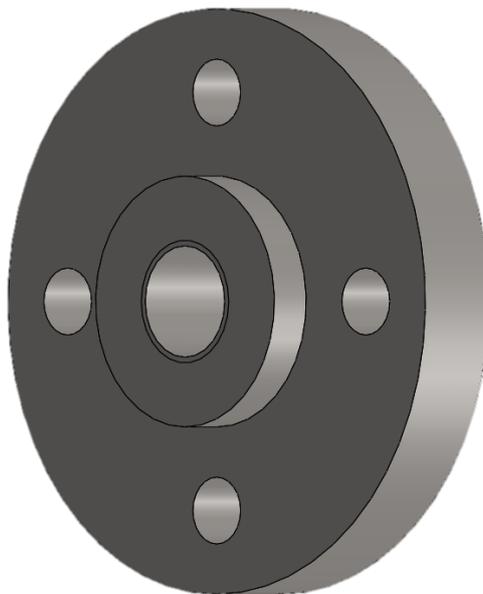
Dentro de este marco se comenzará con el diseño del propio cuerpo, la garganta o barril ya que los demás elementos de extrusión y accesorios irán colocados sobre ésta. Vinculado a los elementos de fontanería previamente comentados, la garganta consistirá en un tubo de metal de sección circular y uniforme. Es por ello que se ha optado por escoger una bobina de hierro galvanizado como cuerpo de la extrusora. Al ser elementos normalizados para la fontanería, se pueden escoger longitudes y diámetros de la pieza prácticamente a medida, sin obviar que estos últimos estarán medidos en pulgadas. La gran ventaja de escoger estas bobinas es, además de su bajo costo, que vienen roscadas por ambos extremos con roscas BSPT cónicas que cumplen con la norma ISO 7-1 (BSPT). Estas roscas serán de gran utilidad a la hora de sujetar la bobina con la pared mediante una brida (otro elemento de fontanería) y de acoplar e intercambiar boquillas sin que esto suponga una dificultad adicional. En cuanto a las medidas de la bobina, una única unidad de 200 mm de longitud y  $\frac{3}{4}$ " de diámetro se ajustará perfectamente al proyecto. En la Ilustración 26 se muestra su diseño.



*Ilustración 26: Diseño del barril*

Aunado al diseño de la garganta, procede describir la brida que servirá de elemento de unión entre la bobina de hierro galvanizado y la pared. Se trata de una pieza sencilla y asequible que cumple perfectamente con su función. Aunque a simple vista puede parecer algo trivial, el diseño de este componente es vital para el correcto funcionamiento del conjunto ya que será el punto de apoyo. Se obtendrá una unión robusta capaz de resistir tanto fuerzas externas como altas temperaturas de funcionamiento.

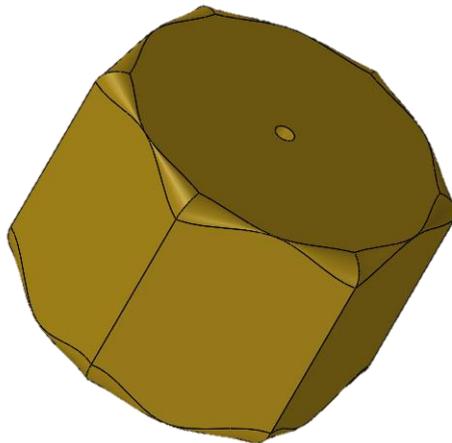
Se muestra a continuación un modelo de la pieza en 3D, la cual posee una rosca interna que permitirá un acople perfecto con la bobina. Concretamente se trata de una brida DIN plana roscada de diámetro  $\frac{3}{4}$ ", fabricada en acero inoxidable, compatible con la bobina seleccionada anteriormente. Ésta se muestra en la Ilustración 27.



*Ilustración 27: Diseño de brida normalizada*

Para terminar con el diseño de la unidad extrusora, queda describir la boquilla que se ha elegido. Constituye la parte final del cuerpo, se encargará de dar paso al fino hilo de plástico líquido que inunda esta parte de la máquina. Su función es sencilla a la vez que significativa, pues se liberará el filamento a través del pequeño orificio situado en el centro de la boquilla. De esta manera se podrá generar un filamento de sección controlada, siendo los diámetros de 1,75 y 3 mm los más utilizados en impresión 3D.

Por último, cabe destacar que, en esta última parte del cuerpo de extrusión, un cono interno que desemboque en el orificio final ayudará a dar una mayor fluidez al plástico y evitará la mayoría de las turbulencias después del filtrado. Este cono puede lograrse mediante una reducción de fontanería, en particular sería útil una reducción con una rosca hembra de  $\frac{3}{4}$ " y otra macho de  $\frac{1}{2}$ " donde se colocaría la boquilla final. Ambas piezas son fabricadas a partir de latón, una aleación conveniente para ser procesada sin ninguna dificultad. En la Ilustración 28 se puede ver la boquilla.



*Ilustración 28: Boquilla de latón*

### **Husillo de extrusión**

Del mismo modo que se ha descrito la envolvente que conforma el cuerpo de la extrusora, quedará definido en este subapartado el husillo interior. Éste posee una doble finalidad: guiar el plástico hacia la boquilla a la vez que este se calienta y comprime mientras que se expulsa el aire por la entrada. De este modo es importante controlar el juego entre el barril y el husillo, así como el rozamiento y desgaste de ambas piezas, es necesario un acople riguroso para que todo funcione correctamente.

A grandes rasgos, el trabajo de esta pieza clave es sencillo, se basa en el funcionamiento de un tornillo sinfín, aprovecha el movimiento relativo entre este husillo y el barril para desplazar el material a través de éste. En cuanto a las características principales de este componente, cabe resaltar su forma cilíndrica que permite definir parámetros como su diámetro, longitud, paso de rosca y ángulo del filete. Todos ellos influyen en el comportamiento de la máquina y calidad del producto final.

Es así como se va a pensar en el diseño óptimo del husillo de extrusión. Atendiendo a los componentes de máquinas industriales de extrusión, se abstraen unas características comunes a sus respectivos husillos. Todos ellos poseen un canal variable tanto en longitud como en anchura de manera que se facilita la compresión del plástico mientras avanza por el barril. Se optará por un husillo de estas características con el fin de obtener la máxima calidad. La Ilustración 29 trata de un esquema que ayuda a comprender el funcionamiento de la máquina.

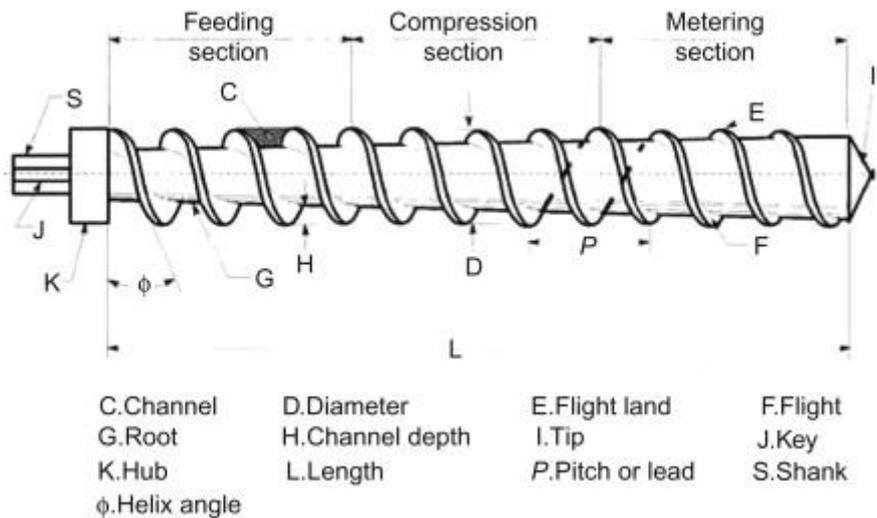


Ilustración 29: Teoría y parámetros del husillo de extrusión

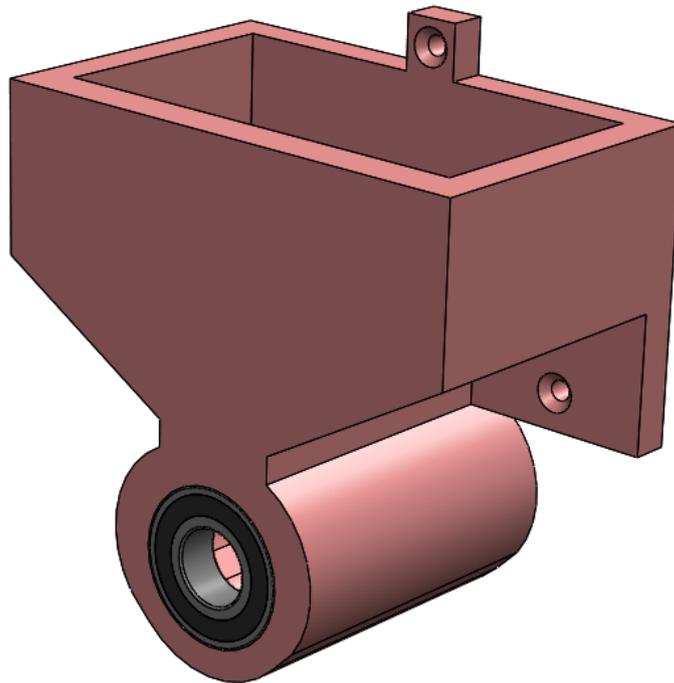
Atendiendo al objetivo de este trabajo, se incluye otra opción más asequible e igual de efectiva para la calidad de acabado deseada. Esta alternativa pasa por seleccionar una broca helicoidal para madera, fabricada en acero al carbono. En la práctica, existe una gran cantidad de proyectos similares a éste que se inclinan por esta última opción ya que la pérdida de calidad puede ser insignificante para el uso que se le va a dar al nuevo filamento. En cualquier caso, si se desea obtener el mejor acabado, se deberá realizar una mayor inversión y dotar a la extrusora de los mejores componentes existentes.

## Tolva

La tolva es el elemento encargado de recibir los pellets de material y guiarlos hasta el comienzo del barril. Al ser una pieza que no va a estar sometida a grandes esfuerzos ni altas temperaturas, se ha optado por diseñarla e imprimirla en PLA mediante cualquier impresora 3D.

A la hora de idear el diseño en SolidWorks se ha tenido en cuenta tanto el método de fabricación (impresión 3D) como la funcionalidad de la pieza, valorando así un diseño compacto y fácil de imprimir. Con respecto a la forma de la tolva, se pueden distinguir tres secciones divididas verticalmente. En la parte más alta se observa la tolva propiamente dicha, donde se almacenará el material listo para ser procesado.

Seguidamente se observa un cuello que sirve de transición entre la tolva y la cámara de presión inferior. En esta última parte, la cámara de presión trata de comprimir el material evitando su retorno hacia el cuello. Con esta finalidad se ha diseñado la forma de la cámara, intentando que cumpla con su cometido. Por último, se ha implementado un cono interno a la cámara para facilitar el movimiento de los pellets y un rodamiento 6004RS de diámetro interior 20mm, exterior de 42mm y anchura de 12mm para evitar la fricción del husillo con la pared de PLA y el desgaste de ésta. En la Ilustración 30 se muestra la pieza diseñada.



*Ilustración 30: Tolva de diseño propio*

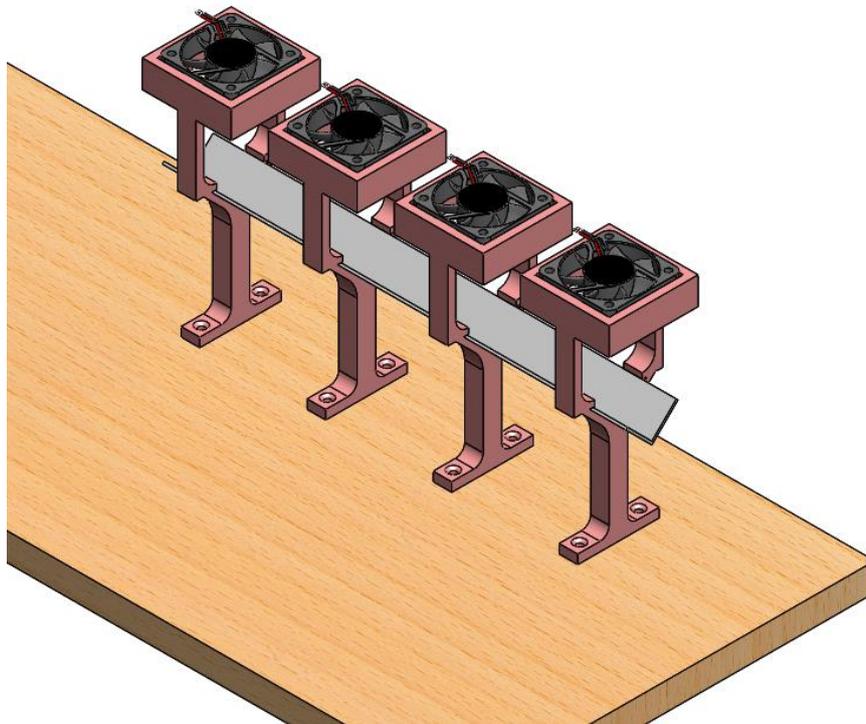
### **Sistema de enfriado**

Siguiendo el mismo camino que realiza el material a través de la extrusora, es hora de documentar la fase de enfriado. Una vez finaliza la fase de extrusión propiamente dicha, se debe enfriar y bobinar el filamento de manera que pueda ser reutilizado en cualquier máquina como si de un material nuevo se tratara. Por ello, el objetivo de esta fase será el de llevar el filamento a temperatura ambiente y guiarlo hasta la prensa.

Respecto al método empleado para enfriar el material, se ha elegido la ventilación por aire forzado. En este mismo contexto se valoró la implementación de un sistema basado en la refrigeración por fluido de manera que el filamento cede su energía calorífica al líquido, este último se recircula mediante una bomba. La principal desventaja que se ha observado en esta última alternativa es la humedad que puede adquirir el filamento procesado.

Es conocido que la humedad degrada los filamentos, puede producir atascos de impresión, microrroturas internas y una reducción de la vida útil del producto. Por ello los filamentos siempre vienen envasados al vacío y existen máquinas deshumidificadoras específicas para bobinas de plástico. De esto se desprende la decisión de implementar ventilación por aire en vez de por agua, además que es más sencilla y económica.

Desde el punto de vista de la ingeniería, este módulo consiste un sistema electromecánico, formado por unos ventiladores encargados de enfriar el material y unas guías y soportes para conducir el filamento hasta la siguiente fase. La idea de diseño se inspiró en (Aubrey L. Woern), incorporándose así la guía y los ventiladores, y siendo de diseño propio la estructura que soporta el conjunto. Se adjunta la Ilustración 31 que muestra el diseño del sistema completo.



*Ilustración 31: Diseño teórico del sistema de enfriamiento*

A diferencia con el diseño original del trabajo previamente citado, se ha aumentado la distancia entre los ventiladores y el canal para reducir las fuerzas externas en el filamento y evitar su deformación. En este mismo contexto, se ha optimizado el diseño de los soportes impresos en PLA ya que inicialmente unos sujetaban el carril mientras que otros sirven de apoyo para los ventiladores, en este diseño el mismo soporte cumple las dos funciones simultáneamente.

## Prensa

La prensa es el elemento contiguo al sistema de enfriamiento. Posee la función de guiar el filamento y facilitar el movimiento de éste a través de la máquina. La prensa recibe el material a temperatura ambiente y lo guía hasta la siguiente fase: bobinado. El diseño está pensado para poder ajustar la presión que ejercen los rodillos sobre el filamento e incorporar un motor de corriente continua o un PAP para mejorar el proceso de extrusión. Esto ayudará a mantener un diámetro constante de filamento y aumentar la calidad del producto final. El diseño de esta prensa se encuentra en (Wingmaster, 2015) que es una modificación de (Lyman, 2014).

Haciendo referencia al diseño original, este posee una serie de engranajes para transmitir el movimiento del motor al rodillo inferior y ayudar así al movimiento del filamento. En el diseño final implementado de este trabajo se ha prescindido tanto del motor como de los engranajes ya que el sistema de bobinado posterior posee su propio motor. Éste se encargará de sincronizar su velocidad de giro con la velocidad de extrusión de la máquina. De esta manera se consigue prescindir del motor de la prensa y se evita su sincronización con el resto de los motores, dando lugar a un diseño más simple e igualmente efectivo.

Por último, resaltar que la prensa posee varias piezas que se acoplan a las piezas impresas para conformar el conjunto. Estas piezas son las que se pueden ver en la Ilustración 32: rodamientos 608ZZ (x4), varillas de 8x90mm (x2), tuercas M4 (x4), tornillos M4x30 (x4) y muelles (x4).

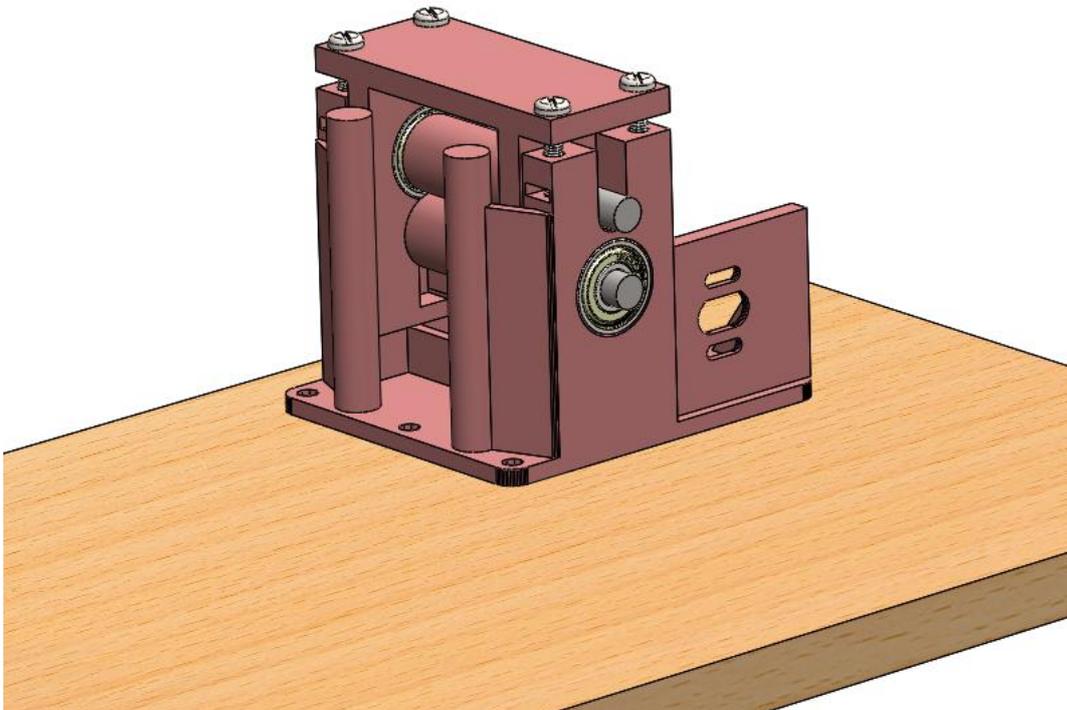


Ilustración 32: Prensa ensamblada en SolidWorks

## Sistema de embobinado

El componente diseñado para sujetar la bobina y enrollar el filamento constituye la parte final de la extrusora. Se trata de un conjunto de piezas que, mediante un motor PAP, resuelven el embobinado del filamento. De esta manera el producto está totalmente preparado para incorporarse en una impresora 3D.

El sistema de embobinado lo conforman los siguientes componentes: dos soportes impresos en 3D, un motor nema 17, un adaptador 5mm a 8mm, un eje de 8mm, dos adaptadores de eje a bobina, dos rodamientos 608ZZ y dos tuercas M8. Está diseñado de manera que se puedan acoplar diferentes tipos de bobinas, siendo la estándar de diámetro interior 56mm, éstas se reutilizarán de filamentos comprados anteriormente. Las tuercas servirán de sujeción entre la bobina y el eje, de manera que el motor sea el encargado de mover el conjunto.

Además, el motor paso a paso permite un control muy preciso de la velocidad de giro, controlando así el avance del filamento. Como ya se ha explicado en apartados anteriores, este empuje ayudará a mantener un diámetro constante en el filamento reciclado. Para controlar las revoluciones del motor, se utilizará el Arduino Nano y un driver para motores PAP, se ha elegido el DRV8825 por su sencillez. Este driver junto con el A4988 son los más empleados en impresoras del tipo Prusa i3 en la actualidad. Cabe destacar la existencia de otros controladores con mayores prestaciones, modo silencioso, suavizado de pasos y mayor microstepping como son los del fabricante TMC. Para la función que desempeñará el motor, el controlador escogido cumple con los objetivos. A la hora de programarlo servirá de ejemplo la guía realizada por Luis Llamas (Llamas, 2016). Se programará de tal manera que pueda controlarse la velocidad del motor desde el interfaz HMI. Se observa el sistema completo en la Ilustración 33.

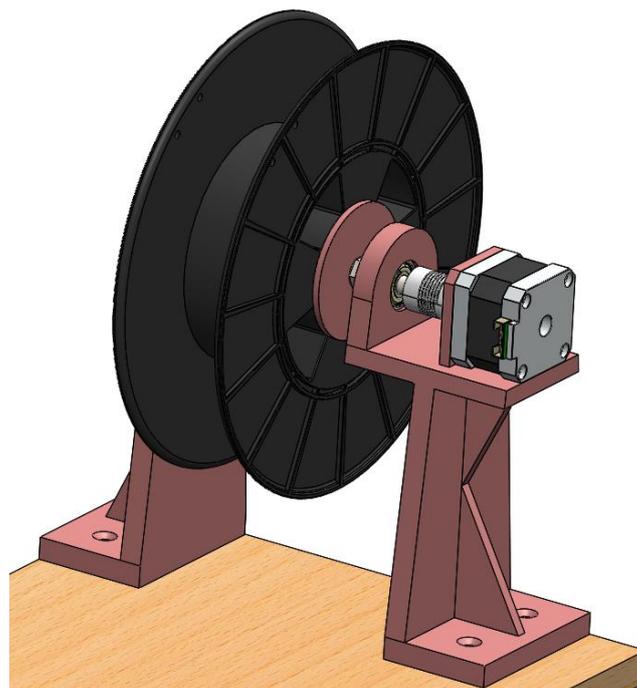


Ilustración 33: Sistema de bobinado

5.1.2 Sistema de control electrónico: Placa de control, termopar, calentador, drivers, motores, HMI y alimentación

### **Placa de control: Arduino**

En lo referente al sistema de control perteneciente a la máquina en cuestión, se ha de fijar primeramente la placa controladora para adaptar los sensores y actuadores necesarios. A partir de una primera aproximación del sistema electrónico necesario, se obtiene una idea generalizada del microcontrolador necesario.

Durante la última década esencialmente, Arduino ha supuesto una revolución en la sociedad, desarrollando una amplia gama de dispositivos electrónicos basado en “open source” que se emplean en sectores como la educación, proyectos personales o incluso en el ámbito industrial. En esta gama de dispositivos existen unos enfocados a proyectos grandes con multitud de entradas/salidas y otros más pequeños que se adaptan a necesidades más básicas. Cabe mencionar la existencia de otras placas programables como pueden ser las de la organización Raspberry, Adafruit o Espressif.

Ante la gran variedad de productos actualmente disponibles en el mercado, se ha optado por un Arduino Nano como cerebro de la máquina. Esto es debido a que no se necesitan una gran cantidad de entradas y salidas como para tener que escoger el Arduino UNO, estamos familiarizados con la programación de este tipo de placas, gracias a la asignatura de Mecatrónica y el bajo coste de estos controladores.

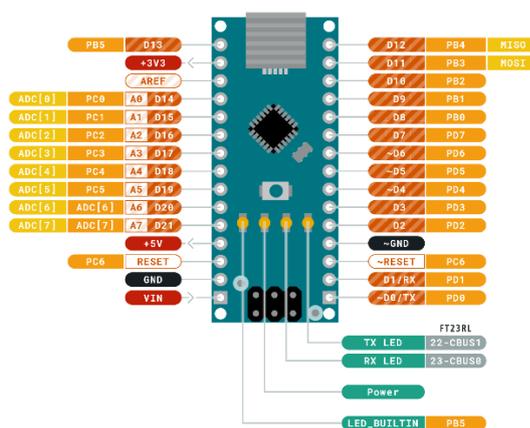
El Nano consta con una entrada USB Jack Tipo B que permite programar y alimentar el dispositivo. Posee a mayores un pin destinado su alimentación externa (Vin), en la cual se puede conectar una fuente de alimentación de corriente continua entre 7V y 12V. Pese a que nuestra placa funciona a 5V, integra un convertidor Buck (reductor) con el fin de ampliar el rango de voltaje de alimentación. Se asocian a continuación los datos más relevantes de este microcontrolador, obtenidos de la web de Arduino (Arduino, s.f.), adjuntando el esquemático en el [anexo correspondiente](#). La Ilustración 34 muestra las especificaciones del Arduino Nano mientras que la Ilustración 35 da información sobre sus pines.

Microcontroller	ATmega328
Architecture	AVR
Operating Voltage	5 V
Flash Memory	32 KB of which 2 KB used by bootloader
SRAM	2 KB
Clock Speed	16 MHz
Analog IN Pins	8
EEPROM	1 KB
DC Current per I/O Pins	40 mA (I/O Pins)
Input Voltage	7-12 V
Digital I/O Pins	22 (6 of which are PWM)
PWM Output	6
Power Consumption	19 mA
PCB Size	18 x 45 mm
Weight	7 g
Product Code	A000005

Ilustración 34: Especificaciones Arduino Nano



ARDUINO  
NANO



■ Ground	■ Internal Pin	■ Digital Pin	■ Microcontroller's Port
■ Power	■ SWD Pin	■ Analog Pin	
■ LED	■ Other Pin	■ Default	

ARDUINO . CC  
BY SA

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/> or send a letter to Creative Commons, 1755 Massachusetts Avenue, Cambridge, MA 02148, USA.

Ilustración 35: Pinout Arduino Nano

## Sensor de temperatura: Termopar Tipo K y MAX6675

El control de temperatura es uno de los puntos clave a tener en cuenta en el diseño de la extrusora. Se debe realizar un control preciso de este parámetro, pues es fundamental si se quiere conseguir un producto de excelente calidad. Para realizar este control se necesita un sensor de temperatura y un actuador que permita calentar el barril o garganta. En este apartado se describirá el sensor de temperatura escogido y su módulo necesario para poder interpretar con el Arduino los valores muestreados.

A la hora de convertir un valor de temperatura en una señal eléctrica es común la utilización de termopares. Un termopar es un dispositivo formado por dos metales diferentes que, producen una diferencia de potencial relacionada con la temperatura a la que se encuentra su unión caliente. En el otro extremo, llamado punto frío, se mide ese voltaje producido, del orden de milivoltios. Existen diferentes tipos de termopares en función de su rango de medida y metales empleados en su construcción. Tenemos así los termopares tipo K, compuestos de cromel y alumel, tipo J con hilos de hierro y constantán (aleación de Cu-Ni) o tipo B formado por platino y rodio, entre otros (Termopar, s.f.).

Para nuestra aplicación se ha elegido un termopar tipo K, el cual posee un rango de medición de temperatura entre 0 y 1400 °C que supera con creces el rango de trabajo. Los terminales de este termopar están formados por cromel (aleación de níquel y cromo) y alumel (aleación de níquel y aluminio).



*Ilustración 36: Termopar tipo K empleado en la extrusora*

Como se aprecia en la Ilustración 36, este dispositivo cuenta con un terminal roscado. Se trata de una rosca M6 acoplada a su punto caliente, la cual permite fijar el termopar en cualquier otra rosca compatible. De este modo se podrá acoplar el termopar en el extremo del barril sin dejar ninguna holgura ni espacio por donde pueda fluir el plástico fundido debido a su presión.

De acuerdo con lo explicado anteriormente, este termopar produce una señal del orden de milivoltios. Para adaptar esta señal y poder interpretarla con nuestro Arduino, existe un módulo encargado de modificarla de acuerdo con nuestras necesidades. Este módulo en concreto es un convertidor termopar-digital basado en el amplificador de instrumentación MAX6675ISA.

Este circuito integrado posee un rango de medición desde 0°C hasta 1024°C, contando con una resolución de 12 bits o 0.25°C. Esto es debido a que, en una escala de 1024 valores, nuestra resolución nos permite representar  $2^{12} = 4096$  y  $\frac{1024}{4096} = 0.25$ . Si bien es cierto que este amplificador puede trabajar con distintos tipos de termopares, en esta ocasión se empleará el tipo K previamente descrito.

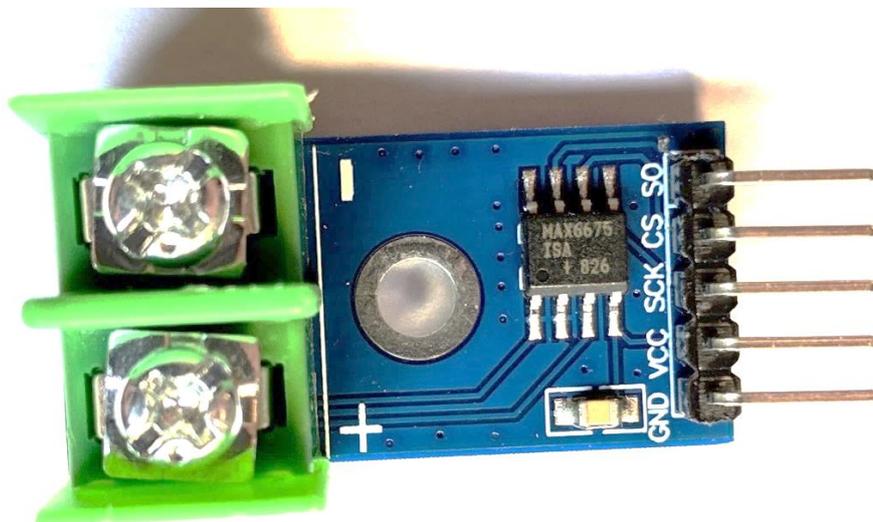


Ilustración 37: Módulo con MAX6675 integrado

En la parte izquierda de la Ilustración 37 se muestran los pines de conexión al termopar mientras que en la Tabla 1 se detalla la función de cada pin.

Tabla 1: Tabla de pines del controlador

PIN	DESCRIPCIÓN
Positivo (+)	Borna positiva termopar
Negativo (-)	Borna negativa termopar
SO	Serial Data Output
CS	Chip Select
SCK	Serial Clock Input
VCC	Pin de alimentación 3,3V - 5V
GND	Pin de masa

En la Ilustración 37 se observa el módulo real. La transmisión de datos se realiza siguiendo el protocolo SPI. En este caso particular se hace uso de este protocolo en formato de lectura solamente, ya que esto es lo necesario para muestrear los datos obtenidos por nuestro termopar. En el anexo correspondiente se incluye la [hoja de características del componente](#).

### **Sistema de calentamiento: Band Heater y driver con TRIAC BTA16**

Este subapartado tiene la finalidad de describir y justificar la elección de los elementos que componen el sistema de calentamiento. Como se ha descrito anteriormente, material a procesar fluye a través de la garganta que se debe calentar. Para ello se empleará un calefactor con forma cilíndrica con el fin de acoplarse a la garganta y disipar el calor de manera uniforme.

A la hora de elegir un calentador (band heater) específico, se debe tener en cuenta tanto sus prestaciones como su tamaño. Para este proyecto se ha estimado que un único calentador de buena calidad será más que suficiente para cumplir con los objetivos. Hemos de tener en cuenta que nuestro termopar está en cierta medida sobredimensionado ya que puede muestrear valores de hasta 1400 °C, sin embargo, a la hora de fundir los plásticos más comúnmente utilizados en impresión 3D, no se necesitará una temperatura superior a 300 °C (sobredimensionando el calentador).

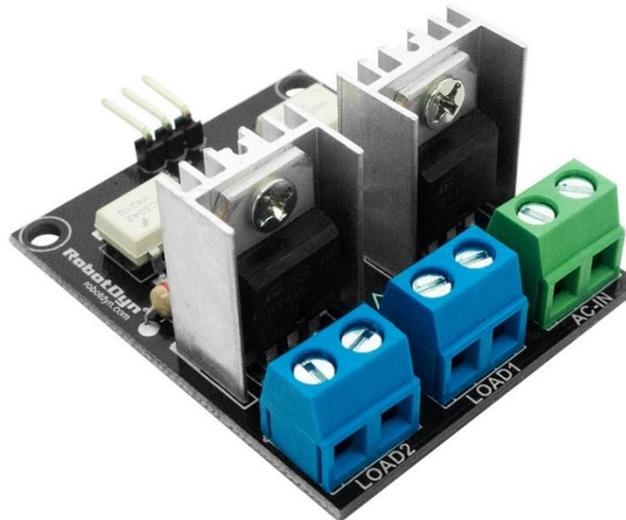
En cuanto a la geometría y tamaño del elemento en cuestión, se ha prestado especial atención a facilitar su acople con el barril o garganta. Por ello, sabiendo que el diámetro exterior del barril será muy probablemente inferior a 25 milímetros, se ha escogido la banda calentadora más potente y de mejor calidad encontrada con un diámetro interno de 25mm. Se observa en la Ilustración 38.



*Ilustración 38: Calentador de banda específico para la extrusora*

Según sus especificaciones, posee una potencia de 140W, alimentado con 220V de corriente alterna, con un diámetro interno de unos 25mm y largo de 40mm. También hay que destacar que teóricamente alcanza unos 500°C prácticamente doblando las necesidades del proyecto. Su cuerpo está fabricado en bronce y sus terminales se encuentran perfectamente protegidos frente a altas temperaturas externas.

De cara al control de temperatura, es necesario algún dispositivo capaz de controlar la potencia que entrega el calentador. Como se ha indicado anteriormente, este calentador funciona mediante 230V de corriente alterna, esto es totalmente incompatible con el microprocesador Arduino Nano. Por suerte, existen módulos que realizan la función que necesitamos. Están comandados por un TRIAC que trabaja juntamente con un optoacoplador. Seguidamente se explicará el funcionamiento de estos componentes. En la Ilustración 39 se muestra el controlador.



*Ilustración 39: Controlador de corriente alterna con dos canales independientes.*

El TRIAC (Triodo de Corriente Alterna) es un semiconductor de potencia que conmuta a baja frecuencia y soporta altas tensiones, similar a los tiristores. Posee un electrodo de control (Gate) y dos electrodos correspondientes al ánodo y cátodo que en este caso se denominan MT1 y MT2. El TRIAC se dispara cuando se aplica una corriente en su puerta (Gate). Concretamente en este controlador funciona con el TRIAC BTA16 B600.

En cuanto al optoacoplador, cumple la función de aislar eléctricamente el circuito de alto voltaje del de control, de bajo voltaje. Sirve como un interruptor aislado ópticamente. Está formado por un diodo que emite infrarrojos y se acopla con un detector que juega la función de detección de paso por cero en el TRIAC. Específicamente se trabaja con el optoacoplador MOC3042.

Se ha escogido un driver de canal doble ya que era prácticamente igual de económico que uno de canal único. Además, se pueden pensar en futuras mejoras de la máquina ya que, se deja un canal libre de manera que se puede implementar una nueva carga de corriente alterna como podría ser otro calentador de banda. En cuanto al control de la carga, será realizado ayudándonos de PWM (Pulse Width Modulation) como se describe en el apartado de programación.

## Módulo de control para el motor DC: Driver BTS7960

Una vez especificados los componentes necesarios para realizar un buen control de la temperatura, corresponde detallar el control de velocidad del husillo extrusor. El objetivo principal con el que se realiza este control es obtener unas revoluciones constantes en la máquina ante variaciones en la carga. Para ello es necesario un potente motor. Se analizarán los tipos de motores existentes hoy en día y se concluirá con la elección de un motor concreto para este proyecto.

Se van a valorar tres tipos de motores, clasificados por su principio de funcionamiento, que pueden cumplir las especificaciones requeridas. Estos son los motores de corriente alterna, los paso a paso (PAP) y, por último, los de corriente continua. Los motores de corriente alterna poseen una potencia y revoluciones por minuto que superan de lejos la necesaria, por ello se debe emplear una reductora con una relación elevada, del orden de 1:100 para conseguir unas 50 rpm de salida y un alto par. Como inconveniente en este tipo de motores se necesita un variador de frecuencia para controlar su velocidad, añadiendo así coste al proyecto. Utilizando un motor monofásico se obtienen unas prestaciones superiores a las que se necesitan, por lo que se descartan todos los motores trifásicos en este análisis.

Haciendo referencia al segundo tipo de motores previamente indicados, los motores PAP poseen una gran resolución, de unos  $1.8^\circ$  por paso habitualmente. Esta resolución es la que los hace tan interesantes a la hora de ensamblarlos en impresoras 3D, CNC (Control Numérico por Computadora) y derivados. Las aplicaciones en las que esta resolución no sea suficiente, se puede aplicar la técnica del microstepping para aumentar el número de pasos necesarios para avanzar una revolución completa o, explicado de otra manera, disminuir el avance por paso. Esta característica se controla directamente desde el driver del motor, pudiéndose aplicar la mejora de resolución deseada con valores que van desde  $1/2$  lo que supone una resolución de  $0.9^\circ/\text{paso}$  hasta  $1/256$  con lo que se obtiene  $0.007^\circ/\text{paso}$  o lo que es lo mismo,  $200 \cdot 256$  pasos por revolución. Cabe destacar que esta técnica del microstepping puede ser empleada para disminuir la resolución y los pasos necesarios para completar una revolución, pero no suele ser lo habitual.

Si bien es cierto que estos motores PAP poseen una resolución mayor a la de sus rivales, también tienen sus desventajas. El principal motivo por el que no se ha escogido un motor paso a paso es el torque que nos ofrece. En la extrusora se necesita un motor de alto torque para evitar atascos en los momentos clave. Para tal efecto se puede utilizar sin ningún tipo de problema un motor paso a paso robusto y de altas prestaciones, lo que puede dar lugar a incoherencias como que el presupuesto del motor sea similar al del resto de la maquinaria en conjunto.

Dentro de este marco, se ha optado por un motor de corriente continua para este proyecto. Se podrá utilizar un motor de 12 o de 24 voltios con reductora, no hay que olvidar que la máquina trabaja en el rango de 30 a 60 revoluciones por minuto. A la hora escoger físicamente un motor de estas características y teniendo en cuenta el diseño de extrusoras ya existentes cabe destacar que la opción más común es la de incorporar un sencillo motor de limpiaparabrisas. Es así como se obtiene un motor que se adapta no únicamente a los requisitos impuestos por los demás componentes, sino al presupuesto y metodología de diseño también. Otra gran ventaja de estos motores es que, además de poseer una reductora acoplada que nos proporciona el rango de giro deseado, ofrecen dos velocidades de funcionamiento. Es así como utilizando el driver adecuado se obtendrá un control preciso de la velocidad a la vez que un gran par motor que sea capaz de soportar perturbaciones en la carga del sistema.

El driver escogido es el BTS7960, consta de dos circuitos integrados que sumándolos configuran un puente H completo. Además de estos medios puente H, incorporan más componentes encargados de realizar las funciones lógicas, diagnosis, protección de corriente y del microcontrolador. Este driver funciona con voltajes de alimentación desde 3.3V a 5V, esto lo hace compatible con el resto de los dispositivos. Proporciona una salida entre 6V y 27V y es capaz de suministrar hasta 43 amperios, más que suficiente para el motor descrito anteriormente. Con este rango de voltaje en la salida se obtiene un diseño más modular ya que se pueden acoplar tanto motores de 12V como de 24V. Por último, cabe resaltar que se puede realizar un control de la velocidad del motor mediante PWM y se tiene la posibilidad de medir la corriente entregada por el driver. En el anexo correspondiente se adjunta su datasheet con ejemplos de montaje y programación incluidos. En la Ilustración 40 se observa el componente.

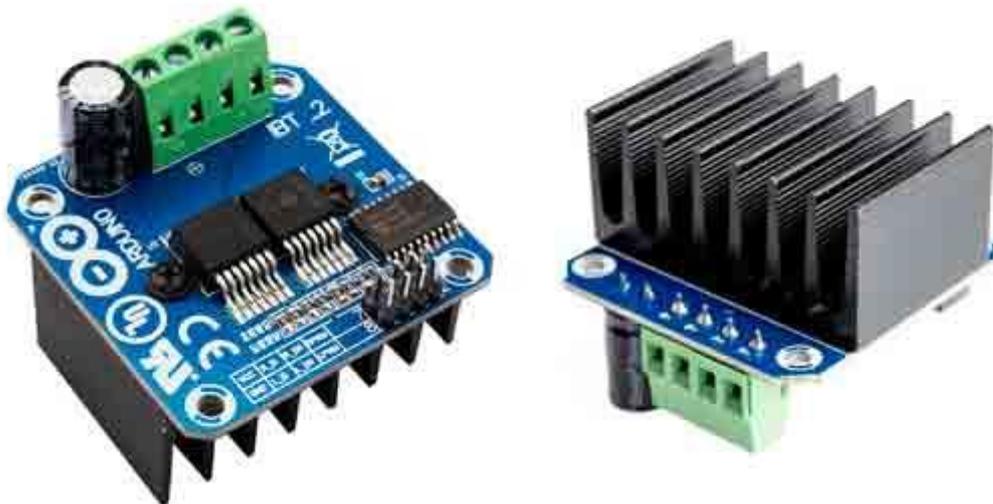


Ilustración 40: Driver BTS7960 (Luis Llamas)

## Módulo HMI: Display y botonera

El Interfaz Hombre Máquina (HMI) está constituido por dos elementos: pantalla y botonera, ambos gobernados por el controlador Arduino Nano. La pantalla o display es la encargada de mostrar la información más importante de la extrusora, almacenada en el microcontrolador y leída haciendo uso del bus I2C (Inter-Integrated Circuit) desarrollado por Philips. La decisión de utilizar este módulo I2C viene dada por la simplicidad que aporta al circuito, reduciendo notablemente la cantidad de cables empleados y pines del microcontrolador necesarios para hacer funcionar la pantalla. En la Ilustración 41 se puede ver la pantalla con el módulo I2C (negro) que se ha descrito.

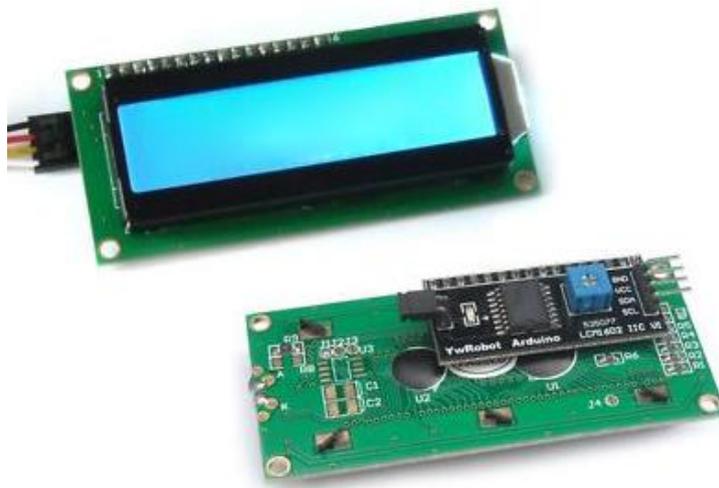


Ilustración 41: Display y módulo I2C

Para controlar la información mostrada en la pantalla y modificar los parámetros de funcionamiento de la máquina se ha implementado un módulo joystick de dos ejes. Haciendo uso del botón incorporado se cambiará la información mostrada en la pantalla. En ésta se indicarán las velocidades de giro de los motores (el que mueve el husillo y el motor PAP del sistema de embobinado) y se podrán modificar moviendo el joystick en el eje adecuado. El instante en el que se pulse el botón, se activará una interrupción encargada de mostrar en pantalla únicamente la temperatura en el termopar y controlar la temperatura objetivo del calentador de banda. En la Ilustración 42 se puede observar el módulo joystick.



Ilustración 42: Módulo joystick

## Nema 17 y drv8825

Ambos componentes forman parte del sistema de embobinado de la extrusora, encargado de recibir el filamento en forma de hilo y guiarlo a través de la bobina. El nema17 se trata de un motor PAP y el driver drv8825 es su controlador descrito anteriormente, conocidos por su gran implementación en impresoras 3D. En el siguiente apartado de cableado se detallarán las conexiones necesarias para configurar correctamente estos componentes mientras que en el anexo correspondiente se puede observar el datasheet del nema17. En la Ilustración 43 se observan ambos componentes.



Ilustración 43: Driver DRV8825 y nema17

## Alimentación

A la hora de suministrar energía al sistema electrónico de control, se distinguen diferentes entradas, de corriente continua y de corriente alterna. Se necesitarán dos salidas de corriente alterna monofásica de unos 230V a 50Hz, disponibles en cualquier enchufe schuko de una red doméstica. Una de estas salidas se utilizará para alimentar directamente el driver del calentador de banda mientras que la salida restante se conectará a una fuente de alimentación conmutada con salida de 12V.

Dicha fuente de tensión será la encargada de alimentar el driver drv8825 y el Arduino nano por su entrada Vin. En cuanto a los controladores que necesitan una tensión de alimentación entre 3,3V y 5V, ésta puede suministrarse desde la salida de 5V del controlador Arduino o incorporando una segunda fuente de alimentación conmutada que proporcione los 5V deseados, alimentando el Arduino con ésta última fuente en lugar de los 12V previamente descritos para no sobrecargar su regulador.

## 5.2 Cableado, programación y montaje

En este apartado del proyecto se describirá en detalle el proceso de programación e integración de los componentes electrónicos en el modelo mecánico de la extrusora. Se crearán subapartados en base a los diferentes sistemas de control implementados en el prototipo, definiendo el ajuste de cada componente por separado. De esta manera se comenzará por los componentes que forman el control de temperatura: termopar y calentador. Seguidamente se comentará el esquema completo del prototipo que incluye el control de velocidad y configuración del display.

En cuanto al entorno de programación, se ha optado por el más habitual a la hora de programar placas Arduino: su IDE (Integrated Development Environment) desarrollado por la misma compañía. Servirá como herramienta a la hora de comunicarnos y cargar el código en la placa. Al respecto del lenguaje de programación, es común utilizar un lenguaje propio de esta marca, basado en C++. El empleo de este lenguaje ha sido usual en varias asignaturas del grado, lo que facilita su implementación.

Volviendo la mirada a los esquemas eléctricos, Fritzing será la alternativa escogida para la realización de éstos. Éste es un programa de código abierto con una gran biblioteca de componentes que nos facilitarán el trabajo. Asimismo, posee una gran comunidad que comparte componentes propios para que estén al alcance de todos mientras que el programa sigue avanzando y sus usuarios creciendo.

### Termopar: Funcionando junto a MAX6675

A la hora de probar este componente, lo primero que se debe tener claro es su funcionamiento. En síntesis, el termopar genera una pequeña diferencia de voltaje que depende de la temperatura a la que se encuentre. Esta medición se adapta al rango de medida del Arduino mediante el amplificador MAX6675. Por otra parte, se incluirá el display para mostrar la lectura obtenida del termopar.

Con el objeto de comprobar su correcto funcionamiento, se conectará el amplificador con el microcontrolador siguiendo sus respectivas hojas de características. El mismo procedimiento se utilizará a la hora de cablear la pantalla que, como se ha detallado anteriormente, incorpora un adaptador que hace uso del protocolo I2C. Esto facilita el cableado de manera que se deben conectar únicamente dos pines: SCL y SDA. El cableado final es el mostrado en la Ilustración 44.

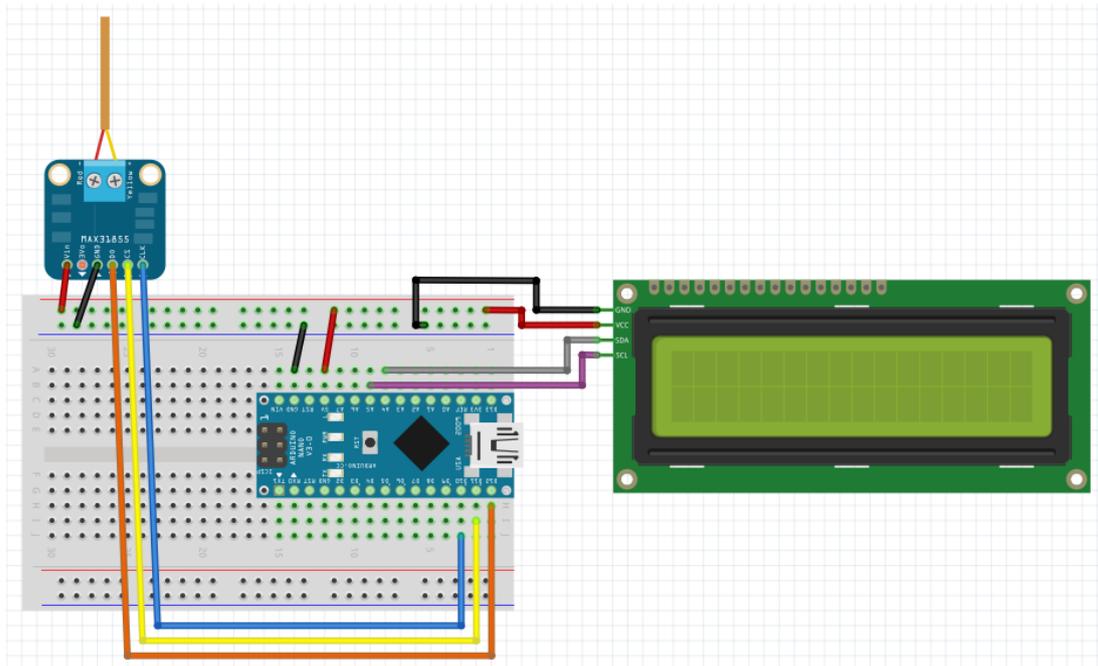


Ilustración 44: Esquema para la prueba del termopar

Como seguimiento de esta actividad, procede comenzar la programación adecuada para comprobar el correcto funcionamiento del termopar tipo K. Primeramente, se importan librerías que facilitan el procesamiento de datos con el amplificador y el display.

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <max6675.h>
```

Ambas librerías se han descargado de GitHub. LiquidCristal\_I2C se ha alcanzado mediante repositorio (I2C, 2017) mientras que la del amplificador se ha obtenido de (max6675, 10). A continuación, se desarrolla el código del programa donde primeramente se declaran e inicializan la pantalla e interfaz serial. De igual manera se completa el contenido que se ejecutará cíclicamente. Se destacarán los fragmentos más interesantes del código. En cuanto a las lecturas proporcionadas por el termostato, se ha ideado una función que obtiene un número determinado de lecturas y realiza la media de ellas, con esto conseguimos reducir gran parte del ruido en nuestro sensor. La función es la que se muestra a continuación.

```
float MediasTemp(MAX6675 termopar, int NumMuestras = 20.)
{
    float media = 0;
    for(int i = 0; i<NumMuestras; ++i)
        media += termopar.readCelsius();
    return (media / NumMuestras);
}
```

De esta manera, se realizará la media de veinte muestras por defecto, en caso de que el usuario no proponga ningún otro valor a la hora de llamar a la función. En este entorno se implementa el código que se ejecutará cíclicamente mostrando la temperatura por el display de manera indefinida. Esto se logra gracias a las siguientes líneas:

```

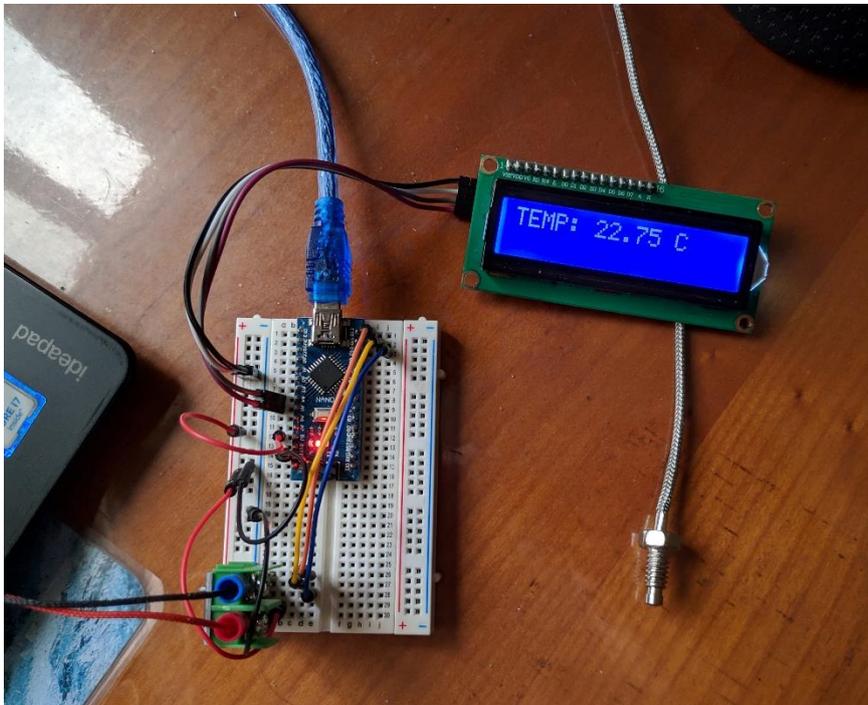
void loop() {
  // LEER EL TERMOPAR Y ALMACENAR EL VALOR EN UNA VARIABLE
  float t = MediasTemp(thermocouple);

  // PRIMERO LIMPIAMOS LA PANTALLA Y LUEGO IMPRIMIMOS LA
  TEMPERATURA
  lcd.clear();
  lcd.print("TEMP: "+String(t)+" C");
  // IMPRIMIR LA TEMPERATURA EN LA TERMINAL SERIAL
  Serial.print("C = ");
  Serial.println(t);

  // ESPERAR UN SEGUNDO ENTRE LAS LECTURAS
  delay(1000);
}

```

En último lugar se adjunta una ilustración que demuestra el correcto funcionamiento del dispositivo. Sin duda se han logrado los objetivos buscados en esta prueba, haciendo posible continuar con la programación de la máquina. Se adjunta en la Ilustración 45 la muestra de esta prueba.



*Ilustración 45: Visualización de la temperatura en el ensayo*

#### Esquema eléctrico completo

Tras haber completado la programación más compleja de la máquina, se procede a realizar el esquema completo de la misma. Para ello se han tenido en cuenta el tipo de entradas y salidas disponibles en nuestro microcontrolador, tanto las digitales (con pwm y sin él) como las analógicas.

A la hora de importar cada componente a Fritzing se nos plantea la dificultad de tener que diseñar algún componente ya que no existe previamente. De esta manera se comparte el diseño con la comunidad para que esté disponible para todo el que lo necesite, así se ha procedido con el diseño del controlador encargado del calentador de banda. Una vez que se obtienen todos los componentes, se conectan al Arduino dando lugar al esquema completo observado en la Ilustración 46.

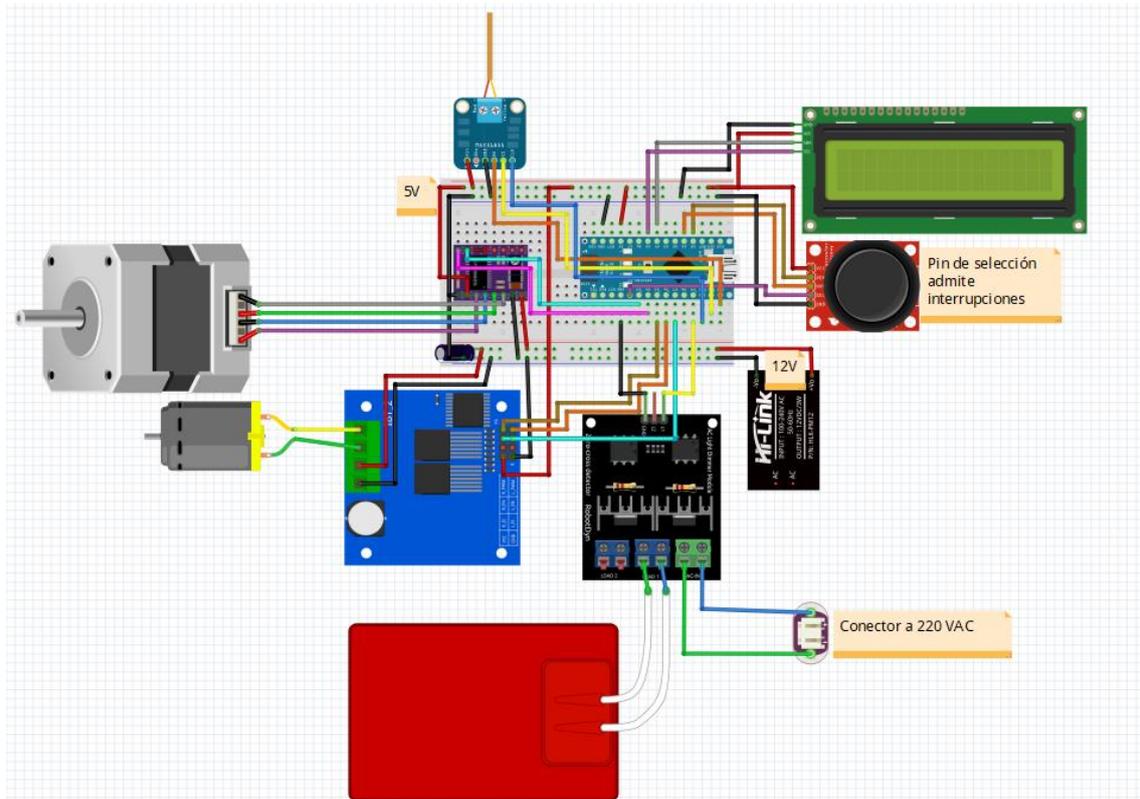


Ilustración 46: Esquema eléctrico completo

## 6. Conclusiones

Una vez finalizado este trabajo, puedo afirmar que he alcanzado gran parte de los objetivos inicialmente propuestos.

Partiendo de la necesidad real de encontrar una segunda vida útil a los prototipos, restos o piezas defectuosas que se fabrican mediante impresión 3D, he encontrado una solución efectiva diseñando una máquina de reciclado formada por un bloque triturador y un bloque extrusor.

He realizado un estado del arte de la impresión 3D, prestando especial atención a los diseños y máquinas existentes que realizan funciones similares a la que pretende el presente trabajo.

He logrado realizar un diseño totalmente funcional de cada una de las máquinas que componen este módulo de reciclado, apostando por un diseño modular que permitirá hacer uso de cada máquina independientemente del resto. Esto es realmente importante, ya que ayudará desarrollar futuras líneas de trabajo que podrán ir destinadas a mejorar de forma independiente cada una de las máquinas, así como a localizar y aislar mejor los posibles problemas y solventarlos de manera más eficiente.

Las máquinas creadas han sido fruto del estudio realizado en proyectos del mismo ámbito, creación de diseños propios y, por último, experiencia en el montaje y resolución de incompatibilidades entre piezas, con el aprendizaje que esto conlleva.

El hecho de que sea un trabajo teórico y práctico ha servido para hacer tangibles las ideas pensadas en abstracto, con las complicaciones y el conocimiento que esto requiere.

Las máquinas creadas han sido fruto del estudio realizado en proyectos del mismo ámbito, creación de diseños propios y, por último, experiencia en el montaje y resolución de incompatibilidades entre piezas, con el aprendizaje que esto conlleva.

Desde el punto de vista teórico, este trabajo me ha servido como punto de aprendizaje teórico de diferentes campos de la ingeniería, como son el diseño, la mecánica o la electrónica, ya sea adquiriendo nuevos conocimientos como reforzando los ya adquiridos a lo largo de la titulación.

Desde el punto de vista práctico, lamento indicar que no he podido completar la parte práctica, tal y como se planteaba en los objetivos del trabajo. Debido a la crisis del COVID-19 y al confinamiento que ha provocado, ha sido imposible acceder a determinados talleres y laboratorios que han impedido la finalización del modelo, aunque sí he podido, de forma casi “artesanal”, terminar y probar alguna parte en mi domicilio.

En concreto, y como se ha visto en la memoria, he fabricado y puesto en marcha la parte de la trituradora, por el contrario, no se ha podido ensamblar completamente la extrusora. Pese a que a primera vista esto pueda considerarse una deficiencia, en

realidad me ha exigido adaptarme a la situación y modificar mi hoja de ruta, alcanzando un mayor y mejor grado teórico en el trabajo. Aquí podemos comprobar también la ventaja del diseño modular de la máquina, ya que, si no hubiera realizado este tipo de diseño, no hubiera podido fabricar la trituradora de forma independiente.

Para finalizar, quiero destacar la utilidad del trabajo para la Escuela de Ingenierías industriales y para la Universidad de Valladolid. Este estudio aporta el conocimiento para desarrollar un módulo de reciclado y abre la posibilidad a las instituciones universitarias para emplearlo en todos sus grupos de trabajo.

Cuanto más se extienda el uso de máquinas como las desarrolladas en este trabajo, más se contribuirá, a la reducción el impacto ambiental de las impresoras 3D, al reciclado y a la gestión más eficientemente los recursos empleados en la UVA.

## 7. Bibliografía

- 316, P. 3. (s.f.). *Ficha técnica acero inoxidable*. Obtenido de <https://www.empresascarbone.com/pdf/ficha-tecnica-del-acero-inoxidable.pdf>
- ABEC, C. (26 de Marzo de 2020). *Wikipedia*. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/ABEC>
- Arduino. (s.f.). *Documentación Nano*. Obtenido de <https://store.arduino.cc/arduino-nano>
- Aubrey L. Woern, J. R. (s.f.). *RepRapable Recyclebot: Open source 3-D printable extruder for converting plastic to 3-D printing filament*. Obtenido de Science Direct: <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2018.e00026>
- BSPT, R. (s.f.). *Norma ISO 7-1*. Obtenido de <http://www.rmmcia.es/blog/productos/tipos-de-roscas-roscas-bsp-o-roscas-gas>
- dimmer, I. (s.f.). *Alibaba*. Obtenido de [https://ae01.alicdn.com/kf/UTB87z9Aov2JXKJkSanrq6y3IVXat/Tiristor-Interruptor-AC-2-canales-3-3-V-5-V-l-gica-AC-DC-AC-220.jpg\\_50x50.jpg](https://ae01.alicdn.com/kf/UTB87z9Aov2JXKJkSanrq6y3IVXat/Tiristor-Interruptor-AC-2-canales-3-3-V-5-V-l-gica-AC-DC-AC-220.jpg_50x50.jpg)
- Display, I. (s.f.). *Luis Llamas*. Obtenido de <https://www.luisllamas.es/wp-content/uploads/2016/05/arduino-i2c-lcd-componente.png>
- diyichen. (s.f.). *Instructables*. Obtenido de <https://www.instructables.com/id/Make-a-Mini-Shredder-and-Recycling-3d-Printing-Pla/>
- drv8825, I. (s.f.). *Luis Llamas*. Obtenido de <https://www.luisllamas.es/wp-content/uploads/2016/08/arduino-drv8825.png>
- Fadón Salazar, F., Cerón Hoyos, J. E., & Díez Guitiérrez, J. (2016). *UniCan*. Obtenido de [https://ocw.unican.es/pluginfile.php/228/course/section/139/tema\\_5%201.pdf](https://ocw.unican.es/pluginfile.php/228/course/section/139/tema_5%201.pdf)
- Filastruder kit*. (s.f.). Obtenido de <https://www.filastruder.com/collections/filastruders-accessories/products/filastruder-kit>
- Heater, I. B. (s.f.). *Alibaba*. Obtenido de [https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1DKy5aW1s3KVjSZFAq6x\\_ZXXaD/Calentador-de-banda-de-bronce-25mm-di-metro-interior-25x2-5-25x3-0-25x40mm-Altura-elemento.jpg\\_50x50.jpg](https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1DKy5aW1s3KVjSZFAq6x_ZXXaD/Calentador-de-banda-de-bronce-25mm-di-metro-interior-25x2-5-25x3-0-25x40mm-Altura-elemento.jpg_50x50.jpg)
- I2C, L. C. (9 de marzo de 2017). *GitHub*. Obtenido de <https://github.com/fdebrabander/Arduino-LiquidCrystal-I2C-library>

Ilustración. (s.f.). *unid.* Obtenido de [https://moodle2.unid.edu.mx/dts\\_cursos\\_mdl/lic/IC/EA/AM/06/Metodologias\\_de\\_diseno.pdf](https://moodle2.unid.edu.mx/dts_cursos_mdl/lic/IC/EA/AM/06/Metodologias_de_diseno.pdf)

joystick, I. (s.f.). *Luis Llamas*. Obtenido de <https://www.luisllamas.es/wp-content/uploads/2016/07/arduino-joystick-componente.png>

kit, E. (s.f.). *Megatec Center*. Obtenido de <https://megatec.center/product/extrusion-machine-parts-control-box-bundle/?wcmlc=EUR>

kit, S. (s.f.). *Laser Cut kit*. Obtenido de <https://megatec.center/product/shredder-box-laser-cut-parts-kit-complete/?wcmlc=EUR>

Llamas, L. (23 de 8 de 2016). Obtenido de <https://www.luisllamas.es/motores-paso-paso-arduino-driver-a4988-drv8825/>

Lyman. (01 de julio de 2014). *Thingiverse*. Obtenido de <https://www.thingiverse.com/thing:380987>

Maker, M. (s.f.). *Maker Space Madrid*. Obtenido de [https://makespacemadrid.org/wp-content/uploads/2015/09/MSM03\\_historia.pdf](https://makespacemadrid.org/wp-content/uploads/2015/09/MSM03_historia.pdf)

max6675. (2019 de julio de 10). *GitHub*. Obtenido de <https://github.com/adafruit/MAX6675-library>

Parra Brito, R. N. (s.f.). *DISEÑO DE EXTRUSORA DE FILAMENTO PARA IMPRESIÓN 3D A PARTIR DE PLÁSTICOS REICLADOS*. Obtenido de USM: <http://hdl.handle.net/11673/40932>

Pellet Extruder, V. (s.f.). *Mahor*. Obtenido de Mahor: <https://mahor.xyz/producto/v4-pellet-extruder/>

RepRap. (s.f.). *Foro RepRap*. Obtenido de <https://reprap.org/wiki/RepRap>

Termopar. (s.f.). *Wikipedia*. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Termopar#Tipos>

Termopar, I. (s.f.). *Ebay*. Obtenido de <https://i.ebayimg.com/images/g/ehEAAOSwk-Ne9UV3/s-l300.jpg>

*Thermoforming of single and multilayer laminates*. (2014). Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781455731725000104>

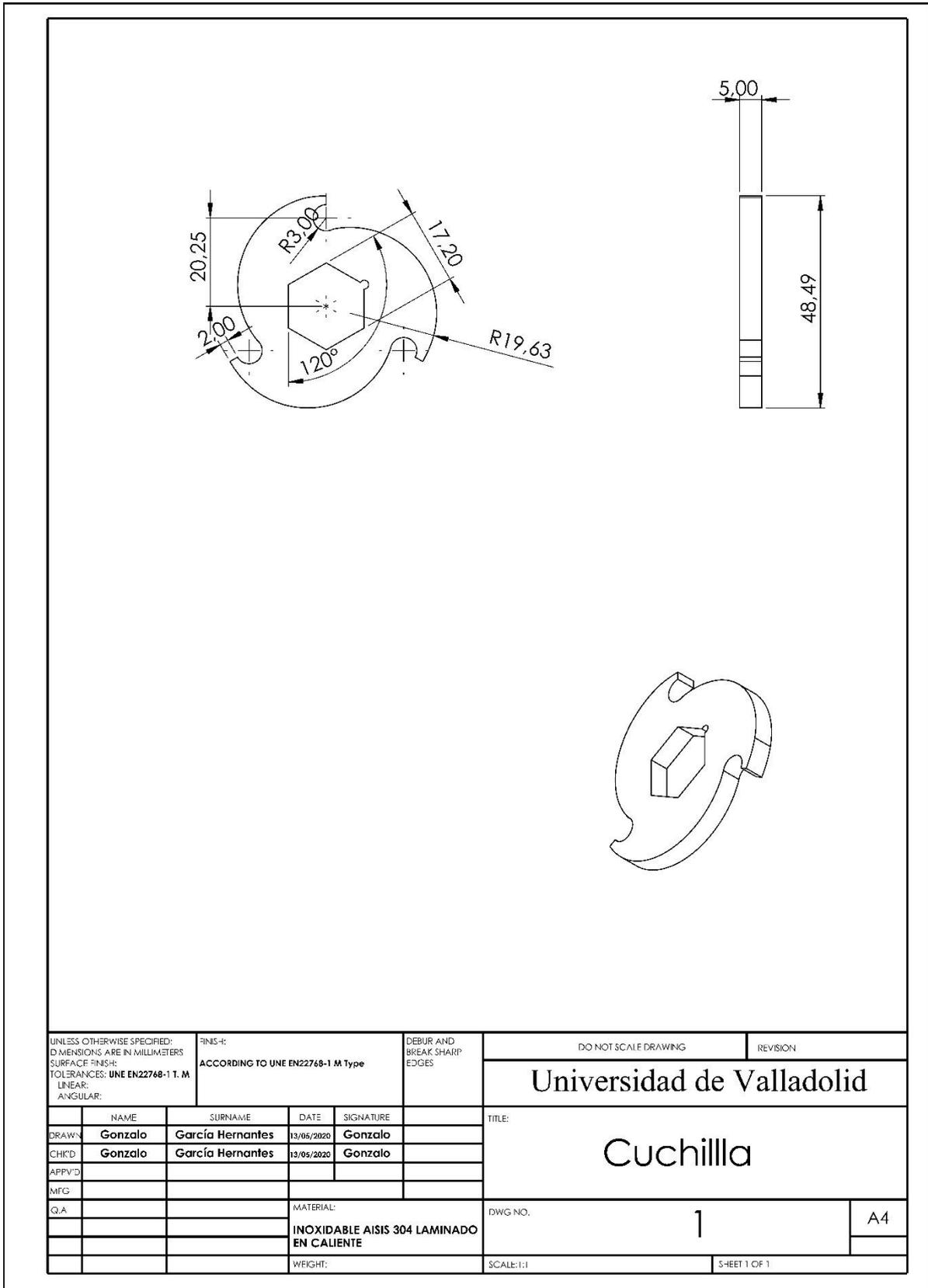
Trends, D. (s.f.). *Historia impresión 3D*. Obtenido de <https://es.digitaltrends.com/fotografia/historia-de-la-impresion-en-3d/>

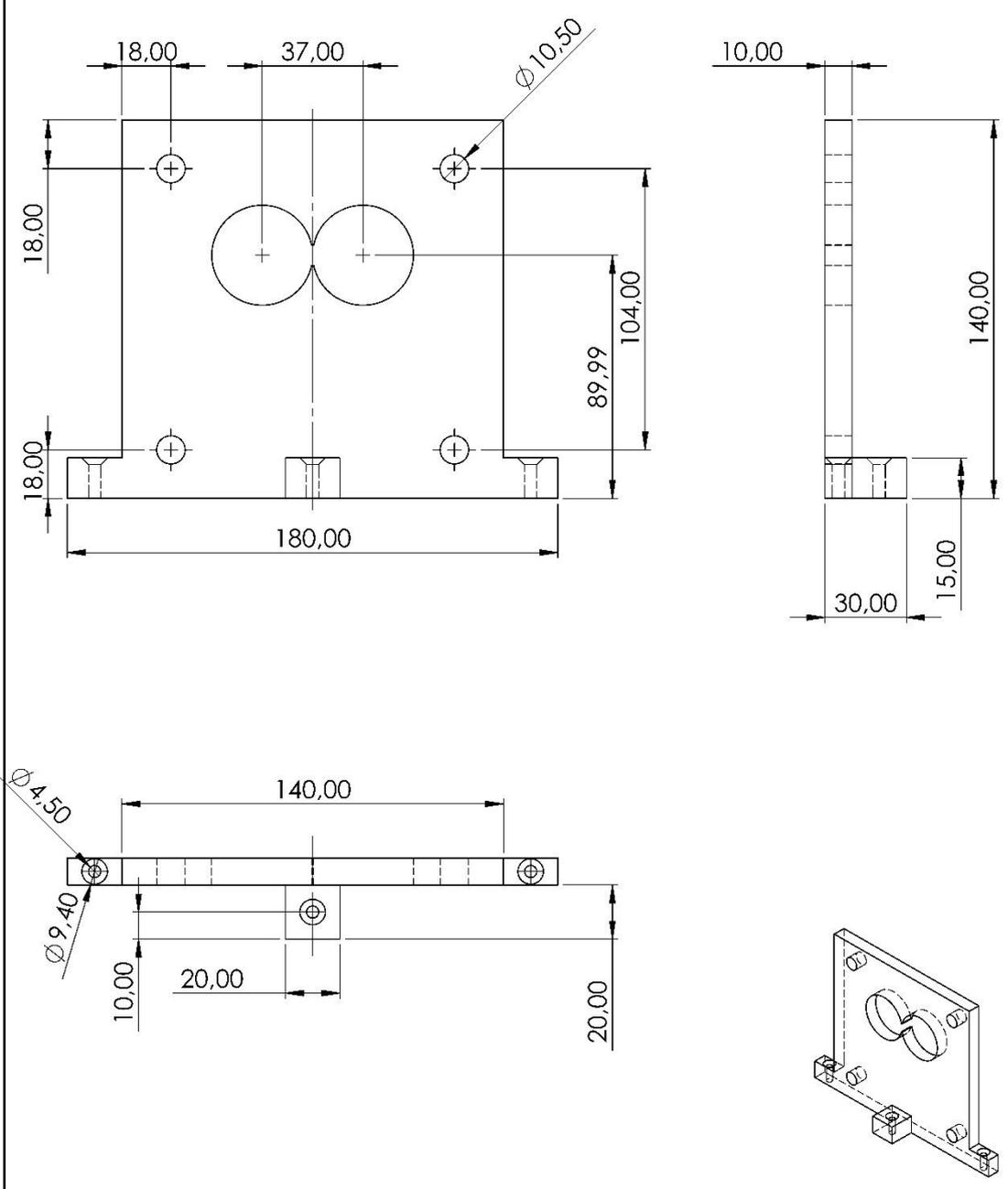
Wars, P. C. (s.f.). *Clone Wars*. Obtenido de [https://www.reprap.org/wiki/Clone\\_Wars:\\_El\\_imperio\\_de\\_los\\_clones/es#El\\_Imperio\\_Clone\\_wars](https://www.reprap.org/wiki/Clone_Wars:_El_imperio_de_los_clones/es#El_Imperio_Clone_wars)

Wingmaster. (11 de 02 de 2015). *Thingiverse*. Obtenido de <http://www.thingiverse.com/thing:677144>

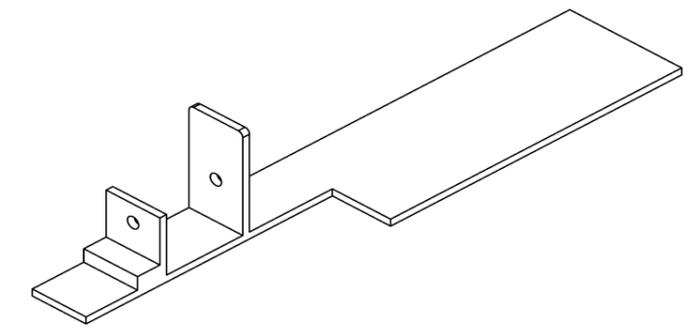
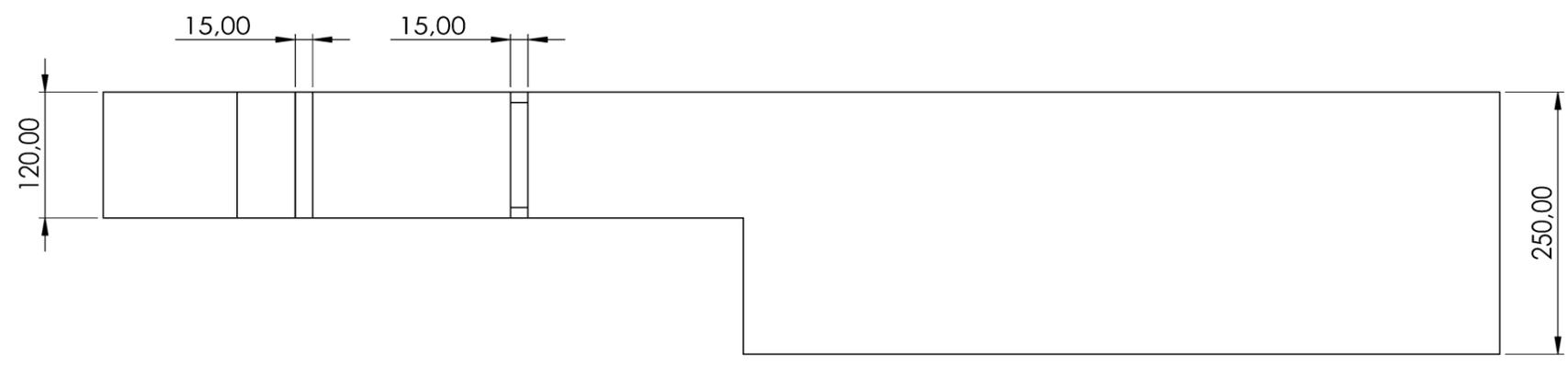
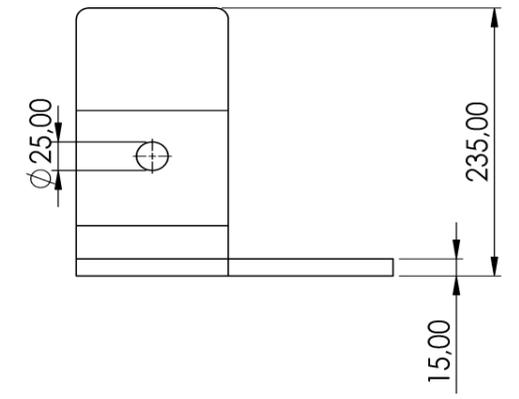
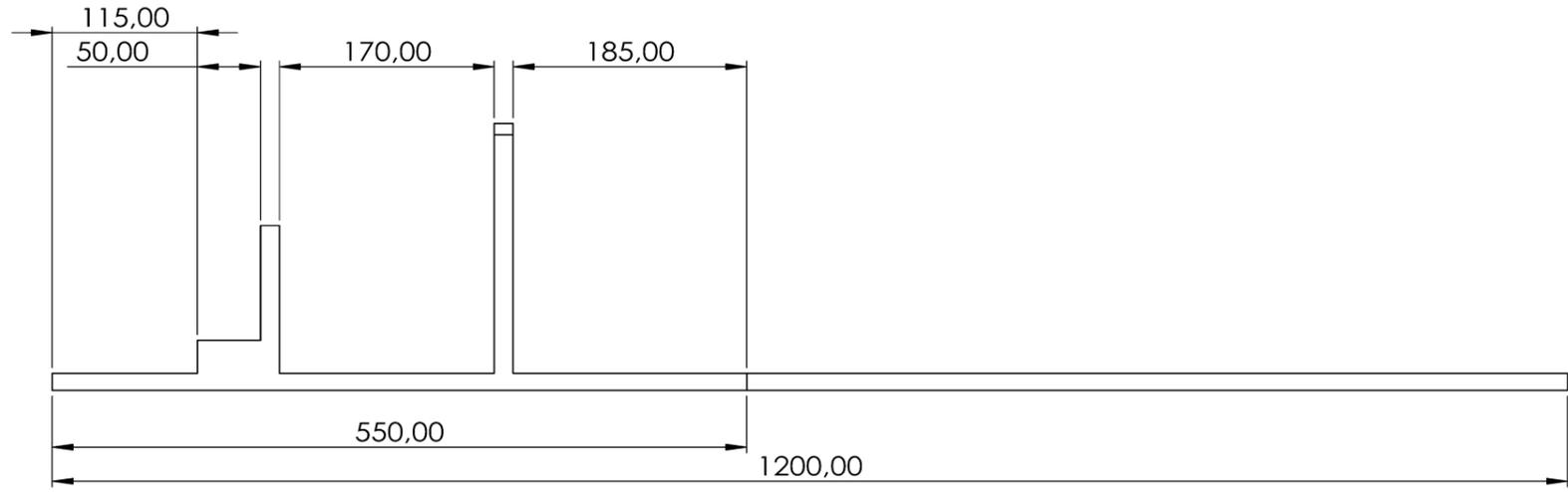
## 8. Anexos

### 8.1 Planos de componentes de diseño propio

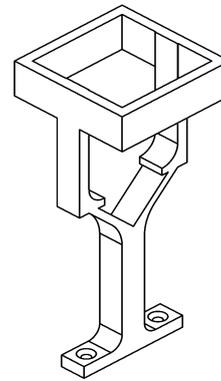
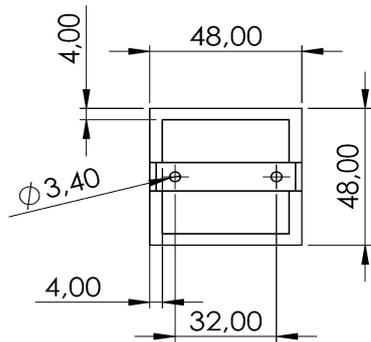
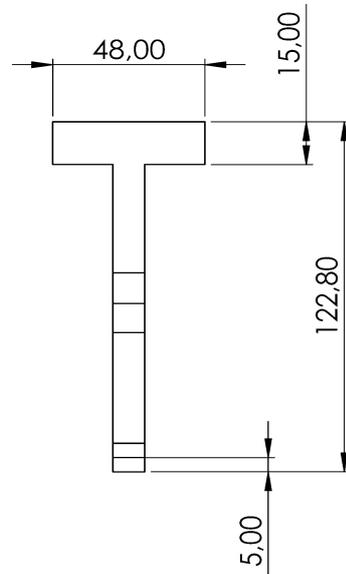
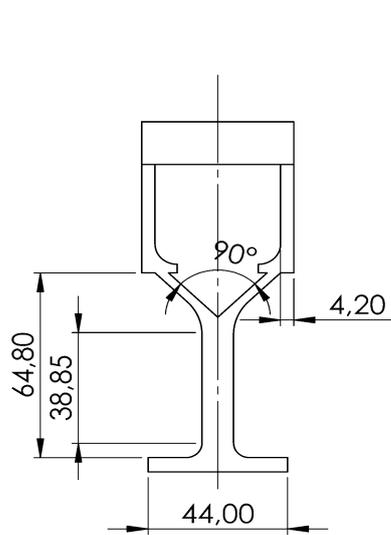




UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:	DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
						Universidad de Valladolid	
NAME		SURNAME		DATE	SIGNATURE	TITLE:  <h1 style="text-align: center;">Pared</h1>	
DRAWN		Gonzalo García Hernantes		13/05/2020	Gonzalo		
CHK'D		Gonzalo García Hernantes		13/05/2020	Gonzalo		
APPV'D							
MFG							
Q.A.				MATERIAL: WINKLE PLA HD 1.75mm		DWG. NO.  <h1 style="text-align: center;">2</h1>	A4
				WEIGHT: 90gr	SCALE:1:2	SHEET 1 OF 1	



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION			
								Universidad de Valladolid					
								TITLE: <b>Base</b>					
DRAWN	<b>Gonzalo</b>	<b>García Hernantes</b>	30/06/2020	<b>Gonzalo</b>									
CHK'D	<b>Gonzalo</b>	<b>García Hernantes</b>	30/06/2020	<b>Gonzalo</b>									
APPV'D													
MFG													
QA													
								MATERIAL:		DWG NO. <b>3</b>		A3	
								WEIGHT:		SCALE:1:5		SHEET 1 OF 1	



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
SURFACE FINISH:  
TOLERANCES:  
LINEAR:  
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

Universidad de Valladolid

	NAME	SURNAME	DATE	SIGNATURE
DRAWN	Gonzalo	García Hernantes	30/06/2020	Gonzalo
CHK'D	Gonzalo	García Hernantes	30/06/2020	Gonzalo
APPV'D				
MFG				
Q.A				
			MATERIAL:	
			WINKLE PLA HD 1.75mm	
			WEIGHT:	

TITLE:

Soporte enfriamiento

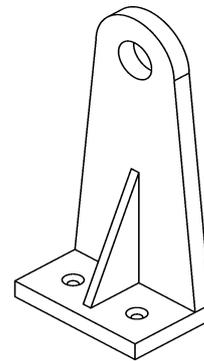
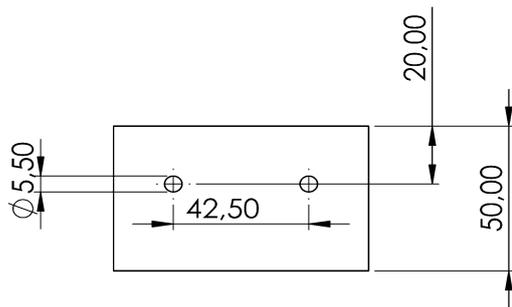
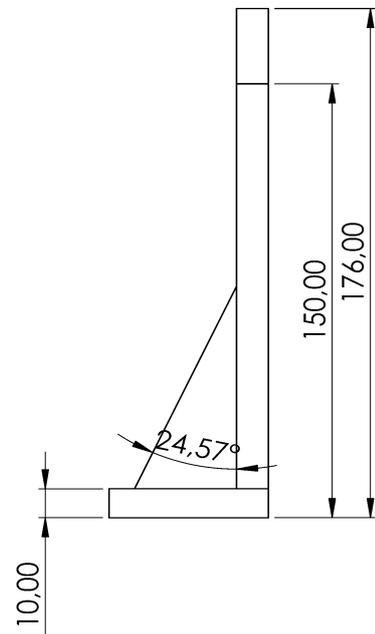
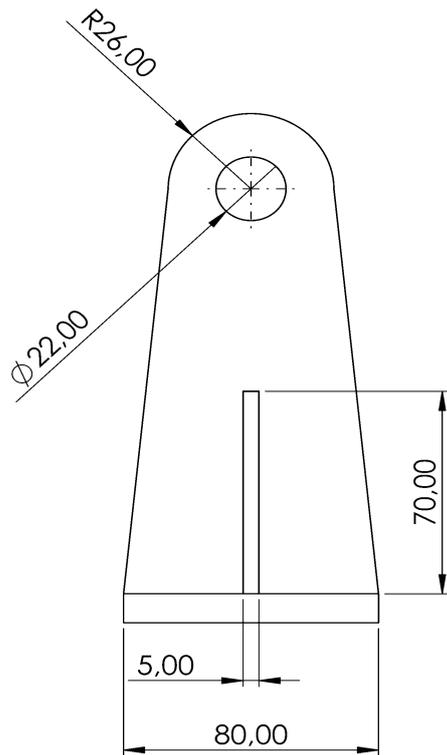
DWG NO.

4

A4

SCALE:1:2

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
SURFACE FINISH:  
TOLERANCES:  
LINEAR:  
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

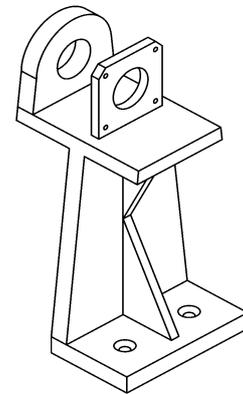
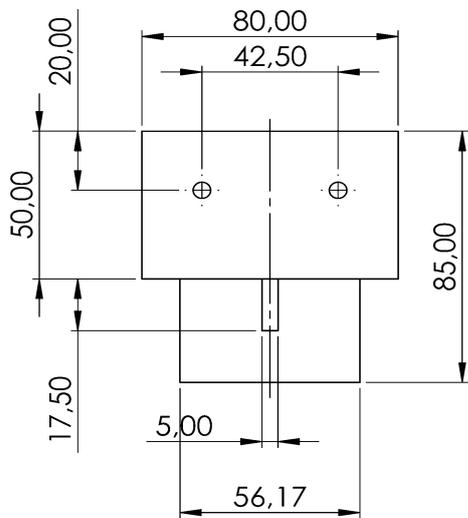
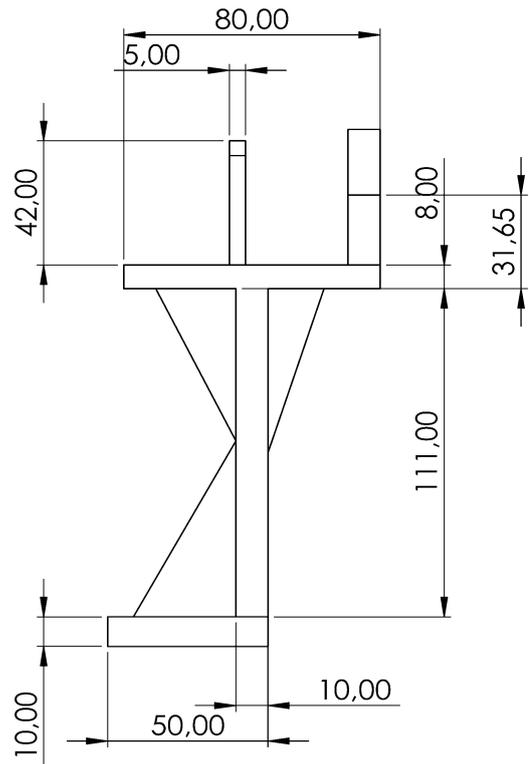
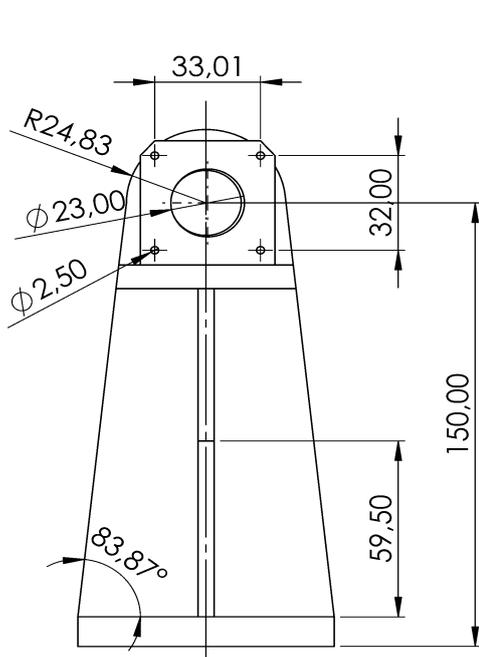
Universidad de Valladolid

	NAME	SURNAME	DATE	SIGNATURE
DRAWN	Gonzalo	García Hernantes	30/06/2020	Gonzalo
CHK'D	Gonzalo	García Hernantes	30/06/2020	Gonzalo
APPV'D				
MFG				
Q.A				

TITLE:		Soporte bobinado 1	
DWG NO.	5	A4	
SCALE:1:2	SHEET 1 OF 1		

MATERIAL:  
WINKLE PLA HD 1.75mm

WEIGHT:



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
								<b>Universidad de Valladolid</b>			
DRAWN: <b>Gonzalo</b>				SURNAME: <b>García Hernantes</b>		DATE: <b>30/06/2020</b>		SIGNATURE: <b>Gonzalo</b>		TITLE:	
CHK'D: <b>Gonzalo</b>				SURNAME: <b>García Hernantes</b>		DATE: <b>30/06/2020</b>		SIGNATURE: <b>Gonzalo</b>		<b>Soporte Bobinado 2</b>	
APPV'D:											
MFG:											
Q.A:						MATERIAL: <b>WINKLE PLA HD 1.75mm</b>		DWG NO. <b>6</b>		A4	
						WEIGHT:		SCALE: 1:2		SHEET 1 OF 1	

## 8.2 Datasheets

### AMPLIFICADOR MAX6675 ISA

19-2235; Rev 1; 3/02

# MAXIM

## Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

### General Description

The MAX6675 performs cold-junction compensation and digitizes the signal from a type-K thermocouple. The data is output in a 12-bit resolution, SPI™-compatible, read-only format.

This converter resolves temperatures to 0.25°C, allows readings as high as +1024°C, and exhibits thermocouple accuracy of 8LSBs for temperatures ranging from 0°C to +700°C.

The MAX6675 is available in a small, 8-pin SO package.

### Features

- ◆ Direct Digital Conversion of Type-K Thermocouple Output
- ◆ Cold-Junction Compensation
- ◆ Simple SPI-Compatible Serial Interface
- ◆ 12-Bit, 0.25°C Resolution
- ◆ Open Thermocouple Detection

MAX6675

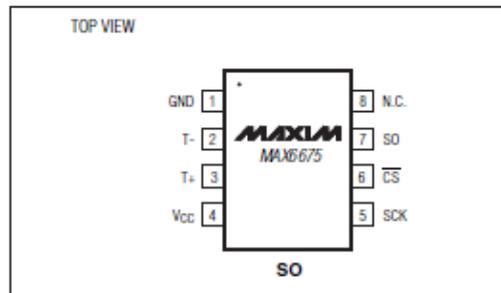
### Ordering Information

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE
MAX6675ISA	-20°C to +85°C	8 SO

### Applications

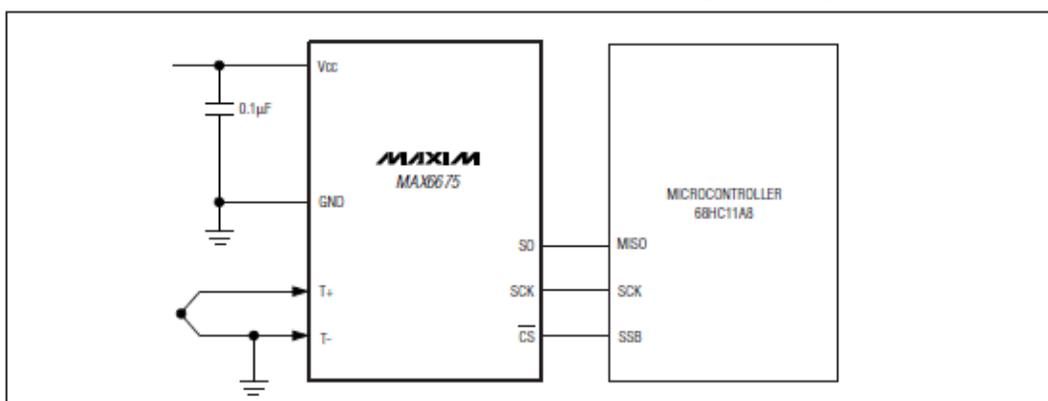
Industrial  
Appliances  
HVAC  
Automotive

### Pin Configuration



SPI is a trademark of Motorola, Inc.

### Typical Application Circuit



**MAXIM**

Maxim Integrated Products 1

For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim/Dallas Direct! at 1-888-629-4642, or visit Maxim's website at [www.maxim-ic.com](http://www.maxim-ic.com).

# Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

**MAX6675**

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage (V <sub>CC</sub> to GND) .....	-0.3V to +6V	Storage Temperature Range .....	-65°C to +150°C
SO, SCK, CS, T-, T+ to GND .....	-0.3V to V <sub>CC</sub> + 0.3V	Junction Temperature .....	+150°C
SO Current .....	50mA	SO Package	
ESD Protection (Human Body Model) .....	±2000V	Vapor Phase (60s) .....	+215°C
Continuous Power Dissipation (T <sub>A</sub> = +70°C)		Infrared (15s) .....	+220°C
8-Pin SO (derate 5.88mW/°C above +70°C) .....	471mW	Lead Temperature (soldering, 10s) .....	+300°C
Operating Temperature Range .....	-20°C to +85°C		

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V<sub>CC</sub> = +3.0V to +5.5V, T<sub>A</sub> = -20°C to +85°C, unless otherwise noted. Typical values specified at +25°C.) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
Temperature Error		T <sub>THERMOCOUPLE</sub> = +700°C, T <sub>A</sub> = +25°C (Note 2)	V <sub>CC</sub> = +3.3V	-5		+5	LSB
			V <sub>CC</sub> = +5V	-6		+6	
		T <sub>THERMOCOUPLE</sub> = 0°C to +700°C, T <sub>A</sub> = +25°C (Note 2)	V <sub>CC</sub> = +3.3V	-8		+8	
			V <sub>CC</sub> = +5V	-9		+9	
		T <sub>THERMOCOUPLE</sub> = +700°C to +1000°C, T <sub>A</sub> = +25°C (Note 2)	V <sub>CC</sub> = +3.3V	-17		+17	
			V <sub>CC</sub> = +5V	-19		+19	
Thermocouple Conversion Constant				10.25		μV/LSB	
Cold-Junction Compensation Error		T <sub>A</sub> = -20°C to +85°C (Note 2)	V <sub>CC</sub> = +3.3V	-3.0		+3.0	°C
			V <sub>CC</sub> = +5V	-3.0		+3.0	
Resolution				0.25		°C	
Thermocouple Input Impedance				60		kΩ	
Supply Voltage	V <sub>CC</sub>		3.0		5.5	V	
Supply Current	I <sub>CC</sub>			0.7	1.5	mA	
Power-On Reset Threshold		V <sub>CC</sub> rising	1	2	2.5	V	
Power-On Reset Hysteresis				50		mV	
Conversion Time		(Note 2)		0.17	0.22	s	
<b>SERIAL INTERFACE</b>							
Input Low Voltage	V <sub>IL</sub>				0.3 x V <sub>CC</sub>	V	
Input High Voltage	V <sub>IH</sub>		0.7 x V <sub>CC</sub>			V	
Input Leakage Current	I <sub>LEAK</sub>	V <sub>IN</sub> = GND or V <sub>CC</sub>			±5	μA	
Input Capacitance	C <sub>IN</sub>			5		pF	

# Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

**MAX6675**

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

(V<sub>CC</sub> = +3.0V to +5.5V, T<sub>A</sub> = -20°C to +85°C, unless otherwise noted. Typical values specified at +25°C.) (Note 1)

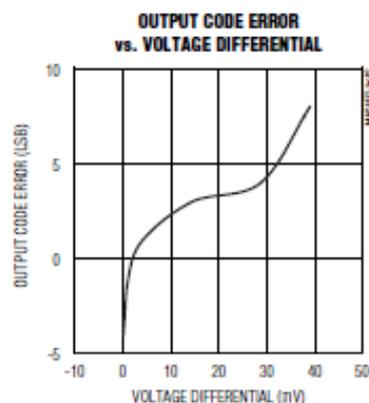
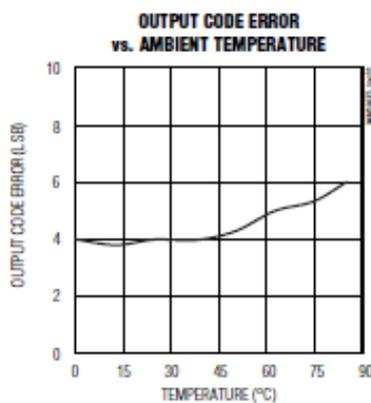
PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Output High Voltage	V <sub>OH</sub>	I <sub>SOURCE</sub> = 1.6mA	V <sub>CC</sub> - 0.4			V
Output Low Voltage	V <sub>OL</sub>	I <sub>SINK</sub> = 1.6mA			0.4	V
<b>TIMING</b>						
Serial Clock Frequency	f <sub>SCL</sub>				4.3	MHz
SCK Pulse High Width	t <sub>CH</sub>		100			ns
SCK Pulse Low Width	t <sub>CL</sub>		100			ns
CSB Fall to SCK Rise	t <sub>CSS</sub>	C <sub>L</sub> = 10pF	100			ns
CSB Fall to Output Enable	t <sub>DOV</sub>	C <sub>L</sub> = 10pF			100	ns
CSB Rise to Output Disable	t <sub>TR</sub>	C <sub>L</sub> = 10pF			100	ns
SCK Fall to Output Data Valid	t <sub>DO</sub>	C <sub>L</sub> = 10pF			100	ns

**Note 1:** All specifications are 100% tested at T<sub>A</sub> = +25°C. Specification limits over temperature (T<sub>A</sub> = T<sub>MIN</sub> to T<sub>MAX</sub>) are guaranteed by design and characterization, not production tested.

**Note 2:** Guaranteed by design. Not production tested.

## Typical Operating Characteristics

(V<sub>CC</sub> = +3.3V, T<sub>A</sub> = +25°C, unless otherwise noted.)



## Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

### Pin Description

PIN	NAME	FUNCTION
1	GND	Ground
2	T-	Alumel Lead of Type-K Thermocouple. Should be connected to ground externally.
3	T+	Chromel Lead of Type-K Thermocouple
4	VCC	Positive Supply. Bypass with a 0.1µF capacitor to GND.
5	SCK	Serial Clock Input
6	$\overline{\text{CS}}$	Chip Select. Set $\overline{\text{CS}}$ low to enable the serial interface.
7	SO	Serial Data Output
8	N.C.	No Connection

### Detailed Description

The MAX6675 is a sophisticated thermocouple-to-digital converter with a built-in 12-bit analog-to-digital converter (ADC). The MAX6675 also contains cold-junction compensation sensing and correction, a digital controller, an SPI-compatible interface, and associated control logic.

The MAX6675 is designed to work in conjunction with an external microcontroller (µC) or other intelligence in thermostatic, process-control, or monitoring applications.

#### Temperature Conversion

The MAX6675 includes signal-conditioning hardware to convert the thermocouple's signal into a voltage compatible with the input channels of the ADC. The T+ and T- inputs connect to internal circuitry that reduces the introduction of noise errors from the thermocouple wires.

Before converting the thermoelectric voltages into equivalent temperature values, it is necessary to compensate for the difference between the thermocouple cold-junction side (MAX6675 ambient temperature) and a 0°C virtual reference. For a type-K thermocouple, the voltage changes by 41µV/°C, which approximates the thermocouple characteristic with the following linear equation:

$$V_{\text{OUT}} = (41\mu\text{V} / ^\circ\text{C}) \times (T_{\text{R}} - T_{\text{AMB}})$$

Where:

$V_{\text{OUT}}$  is the thermocouple output voltage (µV).

$T_{\text{R}}$  is the temperature of the remote thermocouple junction (°C).

$T_{\text{AMB}}$  is the ambient temperature (°C).

#### Cold-Junction Compensation

The function of the thermocouple is to sense a difference in temperature between two ends of the thermocouple wires. The thermocouple's hot junction can be read from 0°C to +1023.75°C. The cold end (ambient temperature of the board on which the MAX6675 is mounted) can only range from -20°C to +85°C. While the temperature at the cold end fluctuates, the MAX6675 continues to accurately sense the temperature difference at the opposite end.

The MAX6675 senses and corrects for the changes in the ambient temperature with cold-junction compensation. The device converts the ambient temperature reading into a voltage using a temperature-sensing diode. To make the actual thermocouple temperature measurement, the MAX6675 measures the voltage from the thermocouple's output and from the sensing diode. The device's internal circuitry passes the diode's voltage (sensing ambient temperature) and thermocouple voltage (sensing remote temperature minus ambient temperature) to the conversion function stored in the ADC to calculate the thermocouple's hot-junction temperature.

Optimal performance from the MAX6675 is achieved when the thermocouple cold junction and the MAX6675 are at the same temperature. Avoid placing heat-generating devices or components near the MAX6675 because this may produce cold-junction-related errors.

#### Digitization

The ADC adds the cold-junction diode measurement with the amplified thermocouple voltage and reads out the 12-bit result onto the SO pin. A sequence of all zeros means the thermocouple reading is 0°C. A sequence of all ones means the thermocouple reading is +1023.75°C.

# Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

MAX6675

## Applications Information

### Serial Interface

The *Typical Application Circuit* shows the MAX6675 interfaced with a microcontroller. In this example, the MAX6675 processes the reading from the thermocouple and transmits the data through a serial interface. Force  $\overline{CS}$  low and apply a clock signal at SCK to read the results at SO. Forcing  $\overline{CS}$  low immediately stops any conversion process. Initiate a new conversion process by forcing  $\overline{CS}$  high.

Force  $\overline{CS}$  low to output the first bit on the SO pin. A complete serial interface read requires 16 clock cycles. Read the 16 output bits on the falling edge of the clock. The first bit, D15, is a dummy sign bit and is always zero. Bits D14–D3 contain the converted temperature in the order of MSB to LSB. Bit D2 is normally low and goes high when the thermocouple input is open. D1 is low to provide a device ID for the MAX6675 and bit D0 is three-state.

Figure 1a is the serial interface protocol and Figure 1b shows the serial interface timing. Figure 2 is the SO output.

### Open Thermocouple

Bit D2 is normally low and goes high if the thermocouple input is open. In order to allow the operation of the open thermocouple detector, T- must be grounded. Make the ground connection as close to the GND pin as possible.

### Noise Considerations

The accuracy of the MAX6675 is susceptible to power-supply coupled noise. The effects of power-supply noise can be minimized by placing a 0.1 $\mu$ F ceramic bypass capacitor close to the supply pin of the device.

### Thermal Considerations

Self-heating degrades the temperature measurement accuracy of the MAX6675 in some applications. The magnitude of the temperature errors depends on the thermal conductivity of the MAX6675 package, the

mounting technique, and the effects of airflow. Use a large ground plane to improve the temperature measurement accuracy of the MAX6675.

The accuracy of a thermocouple system can also be improved by following these precautions:

- Use the largest wire possible that does not shunt heat away from the measurement area.
- If small wire is required, use it only in the region of the measurement and use extension wire for the region with no temperature gradient.
- Avoid mechanical stress and vibration, which could strain the wires.
- When using long thermocouple wires, use a twisted-pair extension wire.
- Avoid steep temperature gradients.
- Try to use the thermocouple wire well within its temperature rating.
- Use the proper sheathing material in hostile environments to protect the thermocouple wire.
- Use extension wire only at low temperatures and only in regions of small gradients.
- Keep an event log and a continuous record of thermocouple resistance.

### Reducing Effects of Pick-Up Noise

The input amplifier (A1) is a low-noise amplifier designed to enable high-precision input sensing. Keep the thermocouple and connecting wires away from electrical noise sources.

## Chip Information

TRANSISTOR COUNT: 6720

PROCESS: BiCMOS

# Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

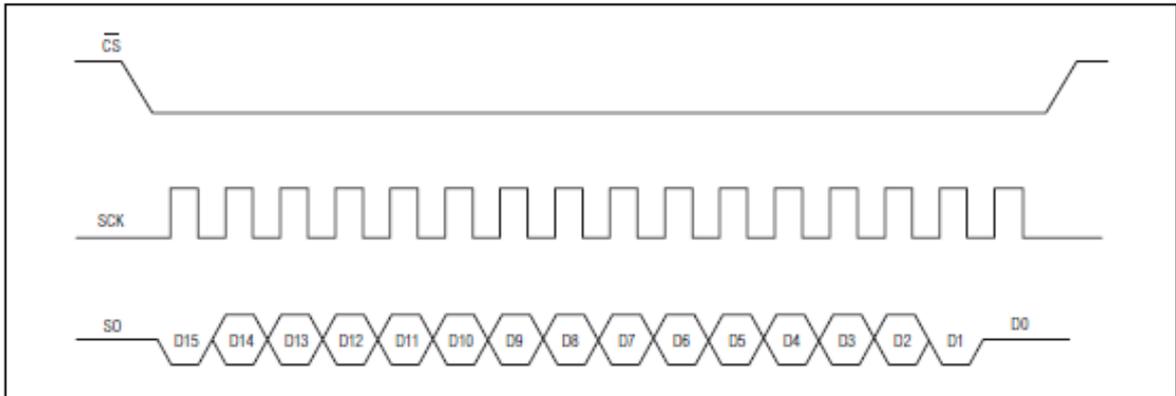


Figure 1a. Serial Interface Protocol

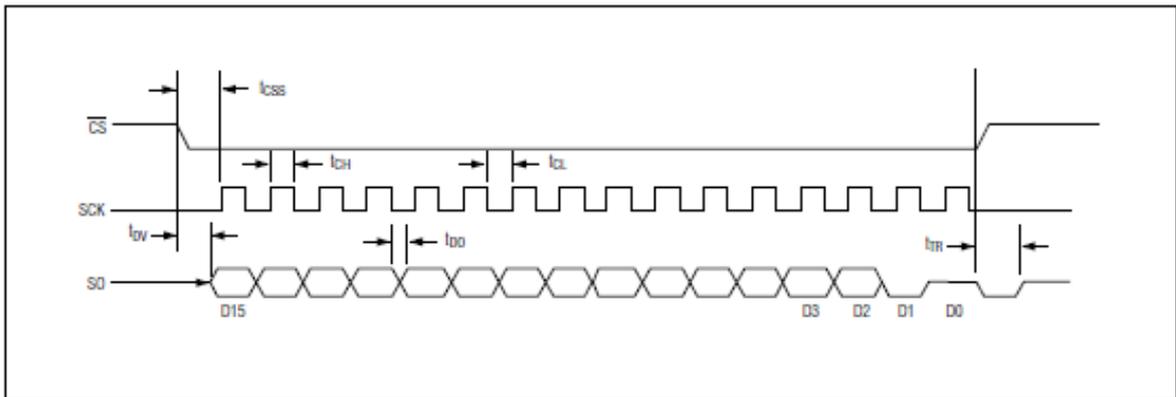


Figure 1b. Serial Interface Timing

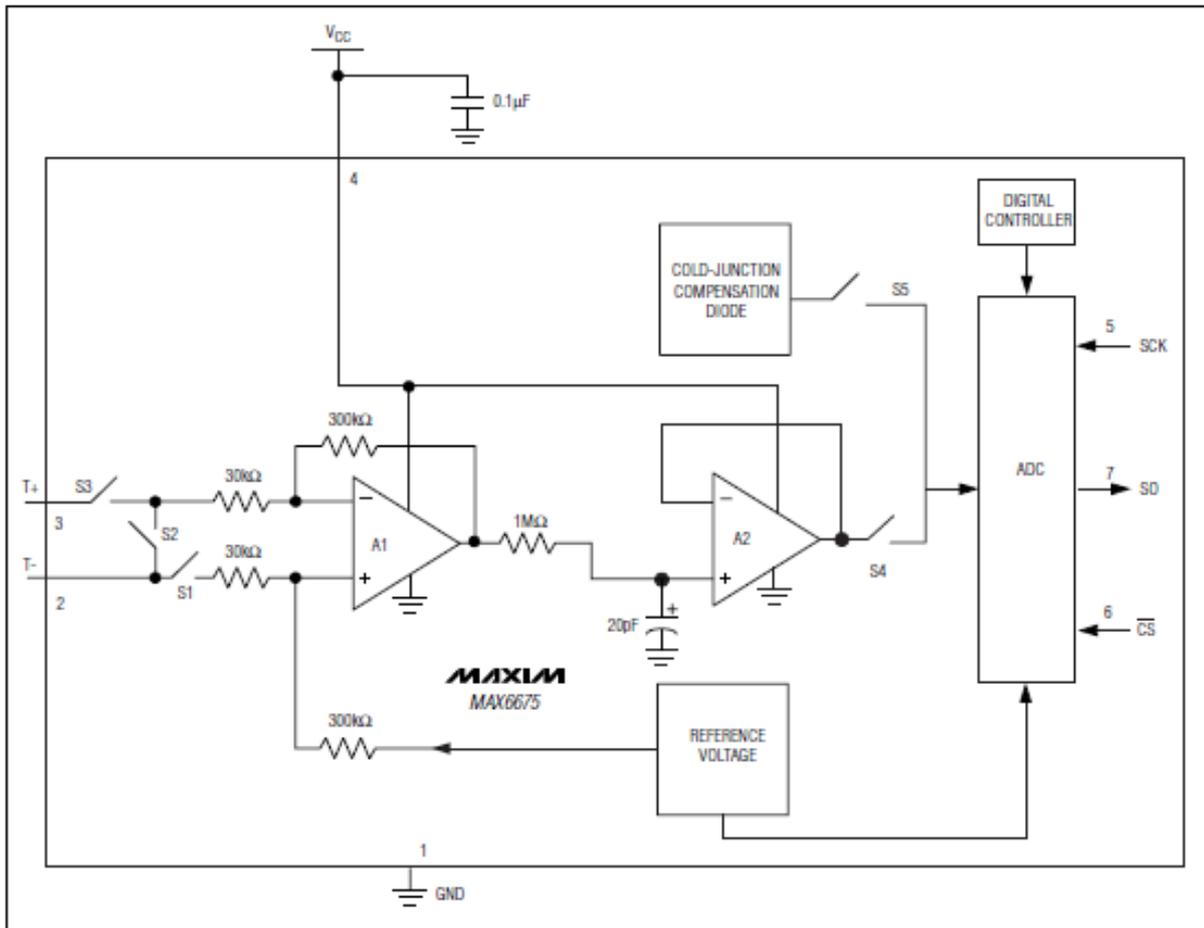
BIT	DUMMY SIGN BIT	12-BIT TEMPERATURE READING											THERMOCOUPLE INPUT	DEVICE ID	STATE	
		15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5				4
Bit	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
	0	MSB											LSB		0	Three-state

Figure 2. SO Output

# Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

Block Diagram

MAX6675



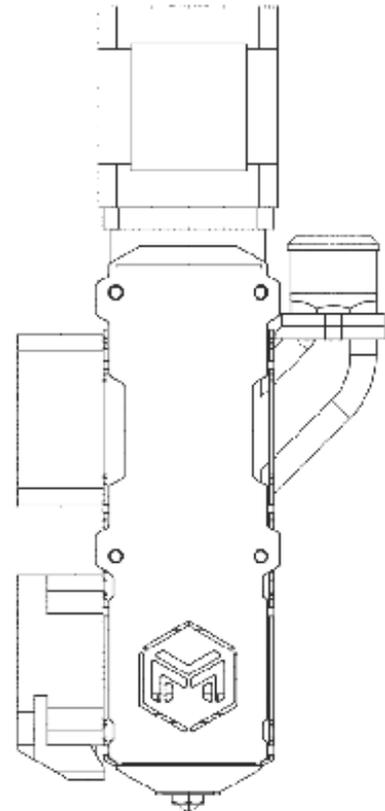


## V4 Pellet Extruder

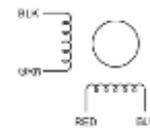
### 3D EXTRUDER OF GRANULATED POLYMERS

#### Product Specifications

<b>Code</b>	PX0850 v4	
<b>Max speed*</b>	Deposited	0.2 Kg/hour
	Printing	60 mm/s
	Travel	120mm/s
	Acceleration	500 mm/s <sup>2</sup>
<b>Consumable</b>	Granulated polymers	
	Range Diameter	1-4 mm
	Inlet diameter	20mm
<b>Screw</b>	Diameter	8 mm
	Useful length	50 mm
	Total length	80 mm
<b>Nozzle</b>	Standard diameter	0.8 mm
	Minimum diameter	0.4 mm
	Maximum diameter	2 mm
<b>Heater</b>	50 W 12v / 24v Maximum temperature 300 °C.	
<b>Thermistor</b>	NTC100K	
<b>Cooler</b>	Head fan	Axial 12v / 24v
	Layer fan	Centrifugal 12v / 24v
<b>Stepper</b>	Type	NEMA 17 bipolar
	Reducer	Metal planetary
	Ratio	5.18: 1
	Power	1.68 amps
	Connection (view picture)	
<b>Dimensions</b>	190 mm x 86 mm x 42 mm	
<b>Weight</b>	750g	



A+	A-	B+	B-
Black	Green	Red	Blue



\* ABS-HF (high flow) nozzle printing values 0.8mm and layer height 0.4mm. Different materials or nozzle diameters may result in different values.

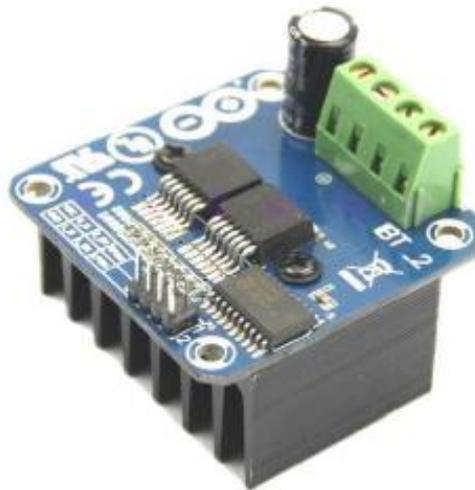


# Handson Technology

User Guide

## BTS7960 High Current 43A H-Bridge Motor Driver

The BTS7960 is a fully integrated high current H bridge module for motor drive applications. Interfacing to a microcontroller is made easy by the integrated driver IC which features logic level inputs, diagnosis with current sense, slew rate adjustment, dead time generation and protection against overtemperature, overvoltage, undervoltage, overcurrent and short circuit. The BTS7960 provides a cost optimized solution for protected high current PWM motor drives with very low board space consumption.

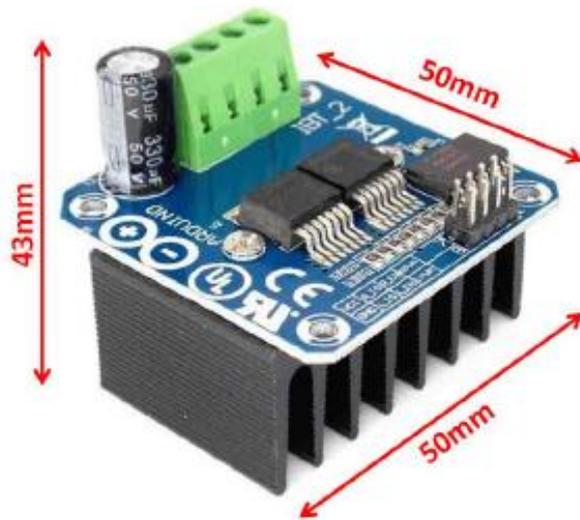
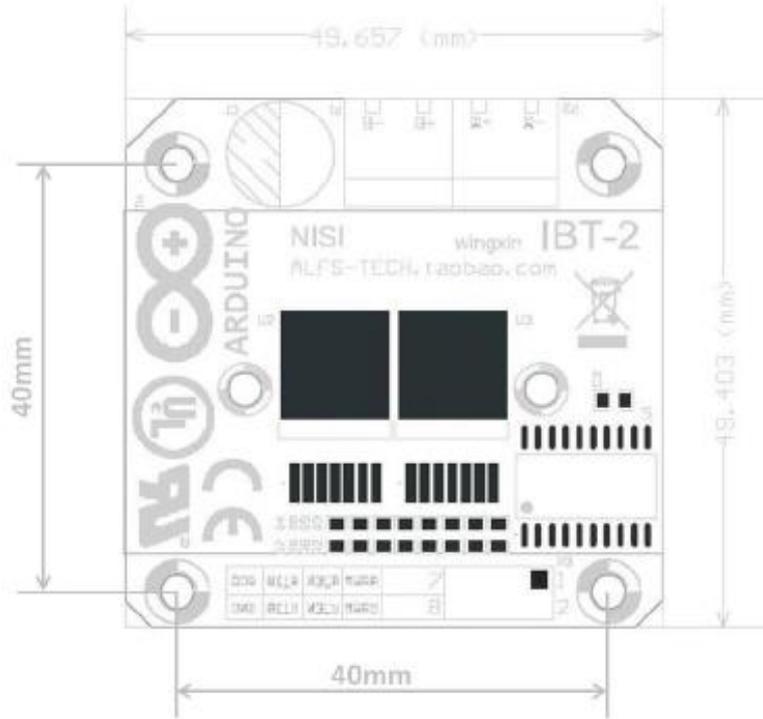


SKU: [DRV-1012](#)

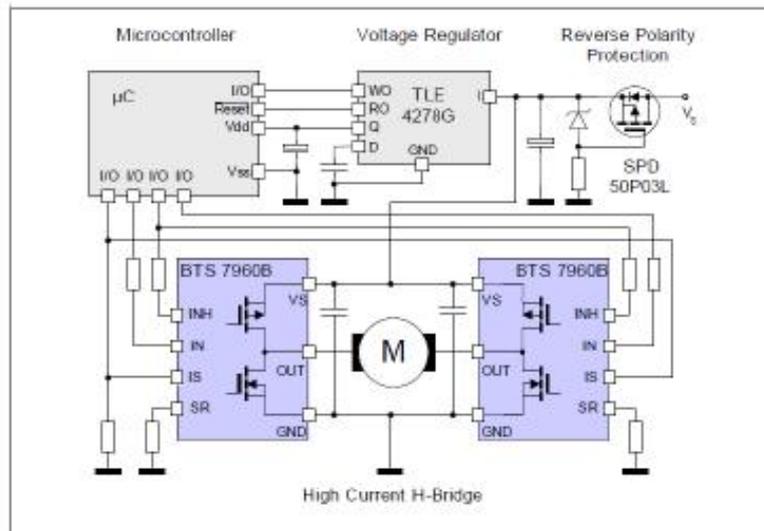
### Brief Data:

- Input Voltage: 6 ~ 27Vdc.
- Driver: Dual BTS7960 H Bridge Configuration.
- Peak current: 43-Amp.
- PWM capability of up to 25 kHz.
- Control Input Level: 3.3~5V.
- Control Mode: PWM or level
- Working Duty Cycle: 0 ~100%.
- Over-voltage Lock Out.
- Under-voltage Shut Down.
- Board Size (LxWxH): 50mm x 50mm x 43mm.
- Weight: ~66g.

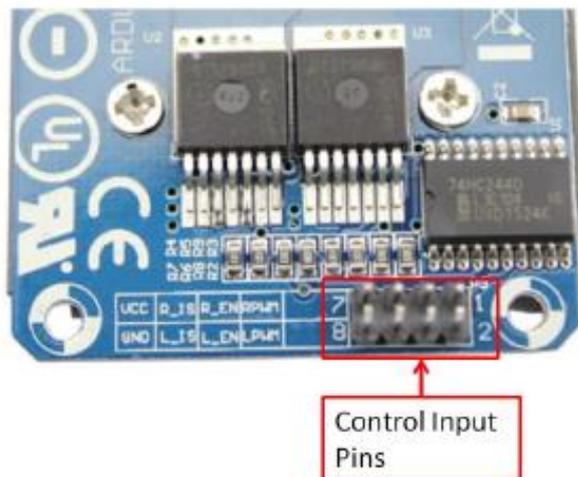
**Mechanical Dimension:**



**Schematic Diagram:**

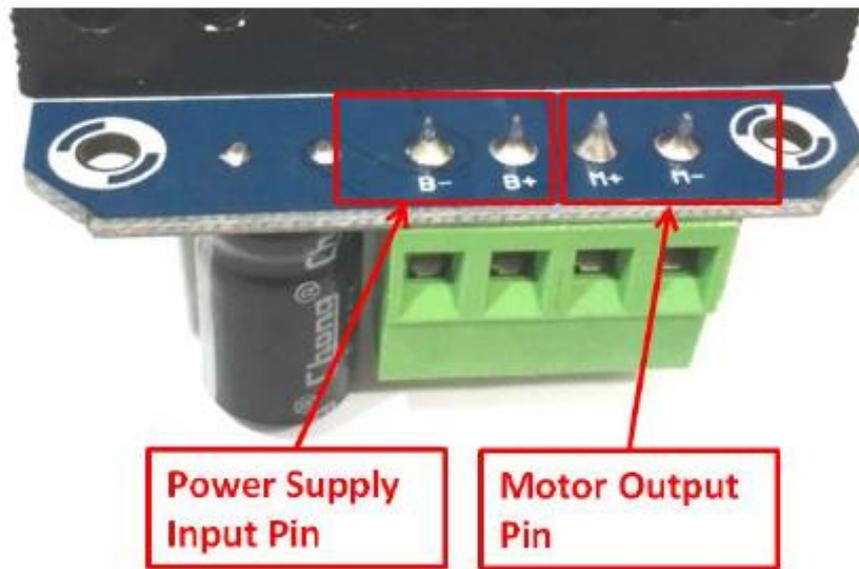


**Control Input Pin Function:**



Pin No	Function	Description
1	RPWM	Forward Level or PWM signal, Active High
2	LPWM	Reverse Level or PWM signal, Active High
3	R_EN	Forward Drive Enable Input, Active High/ Low Disable
4	L_EN	Reverse Drive Enable Input, Active High/Low Disable
5	R_IS	Forward Drive, Side current alarm output
6	L_IS	Reverse Drive, Side current alarm output
7	Vcc	+5V Power Supply microcontroller
8	Gnd	Ground Power Supply microcontroller

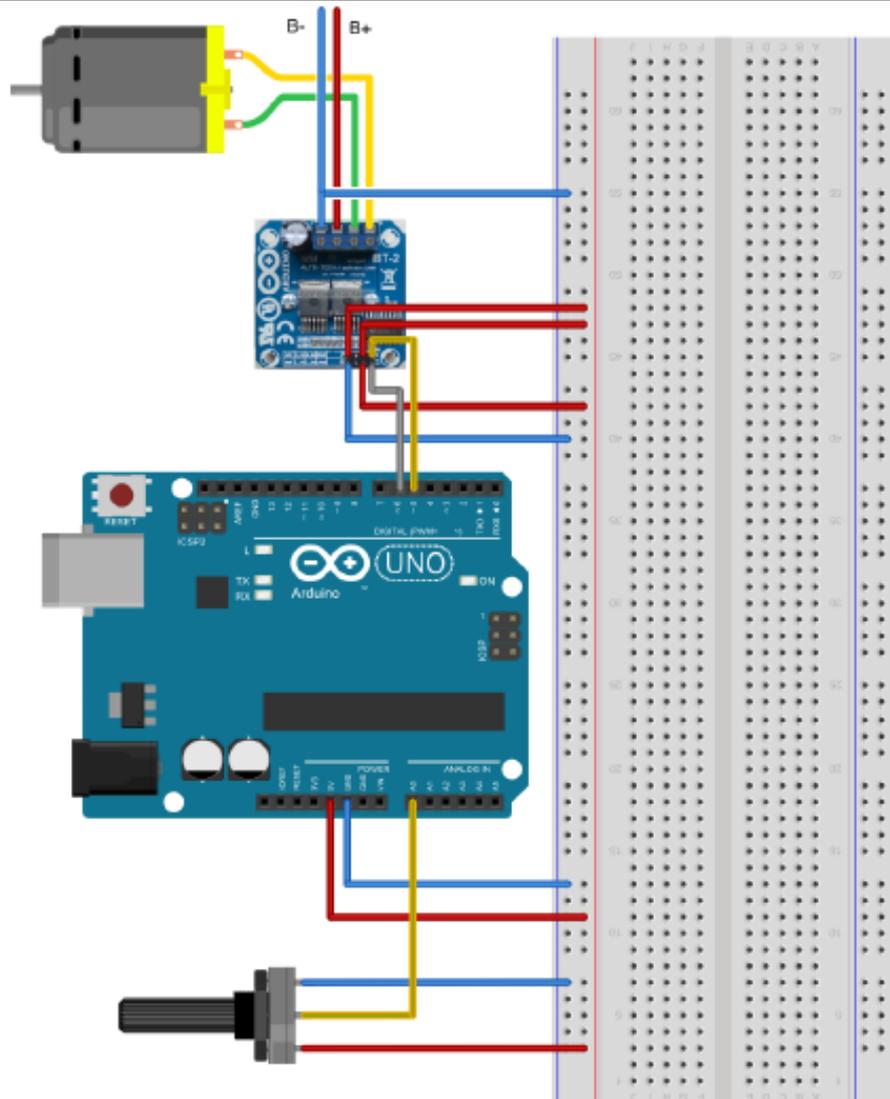
### Motor Power Supply & Output Pin Assignment:



Pin No	Function	Description
1	B+	Positive Motor Power Supply. 6 ~ 27VDC
2	B-	Negative Motor Power Supply. Ground
3	M+	Motor Output +
4	M-	Motor Output -

### Controlling DC Motor with BTS7960 Using Arduino:

Below is the circuit connection using BTS7960 high power driver to control one DC motor with Arduino board. The potentiometer allows the control of motor speed and rotation direction of the motor.



**Arduino to BST7960 Connecting Table:**

BST 7960 Pin	Arduino Pin
1 (RPWM)	D5
2 (LPWM)	D6
3 (R_EN)	Arduino 5V
4 (L_EN)	Arduino 5V
5 (R_IS)	Un-connected
6 (L_IS)	Un-connected
7 (VCC)	Arduino 5V
8 (GND)	Arduino GND

### Sketch Listing:

Upload the following sketch to Arduino board. Try to turn the potentiometer clock-wise and anti-clock-wise and observe how the motor turn.

```
/*=====
// Author      : Handson Technology
// Project     : BTS7960 Motor Control Board driven by Arduino.
// Description : Speed and direction controlled by a potentiometer attached
//              to analog input A0. One side pin of the potentiometer (either one) to
//              ground; the other side pin to +5V
// Source-Code : BTS7960.ino
// Program: Control DC motors using BTS7960 H Bridge Driver.
//=====
// Connection to the BTS7960 board:
// BTS7960 Pin 1 (RPWM) to Arduino pin 5 (PWM)
// BTS7960 Pin 2 (LPWM) to Arduino pin 6 (PWM)
// BTS7960 Pin 3 (R EN), 4 (L EN), 7 (VCC) to Arduino 5V pin
// BTS7960 Pin 8 (GND) to Arduino GND
// BTS7960 Pin 5 (R_IS) and 6 (L_IS) not connected
*/

int SENSOR_PIN = 0; // center pin of the potentiometer

int RPWM Output = 5; // Arduino PWM output pin 5; connect to IBT-2 pin 1 (RPWM)
int LPWM Output = 6; // Arduino PWM output pin 6; connect to IBT-2 pin 2 (LPWM)

void setup()
{
  pinMode(RPWM_Output, OUTPUT);
  pinMode(LPWM_Output, OUTPUT);
}

void loop()
{
  int sensorValue = analogRead(SENSOR_PIN);

  // sensor value is in the range 0 to 1023
  // the lower half of it we use for reverse rotation; the upper half for forward
  rotation
  if (sensorValue < 512)
  {
    // reverse rotation
    int reversePWM = -(sensorValue - 511) / 2;
    analogWrite(LPWM_Output, 0);
    analogWrite(RPWM_Output, reversePWM);
  }
  else
  {
    // forward rotation
    int forwardPWM = (sensorValue - 512) / 2;
    analogWrite(LPWM_Output, forwardPWM);
    analogWrite(RPWM_Output, 0);
  }
}
```



# Stepper Motor NEMA 17

This document describes mechanical and electrical specifications for PBC Linear stepper motors; including standard, hollow, and extended shaft variations.

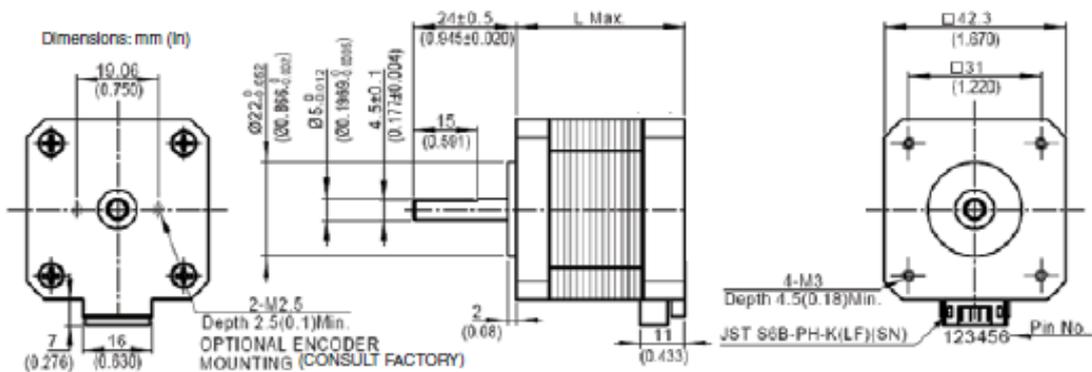


Standard shaft motor shown.

Phases	2
Steps/Revolution	200
Step Accuracy	±5%
Shaft Load	20,000 Hours at 1000 RPM
Axial	25 N (5.6 lbs.) Push 65 N (15 lbs.) Pull
Radial	29 N (6.5 lbs.) At Flat Center
IP Rating	40
Approvals	RoHS
Operating Temp	-20° C to +40° C
Insulation Class	B, 130° C
Insulation Resistance	100 MegOhms

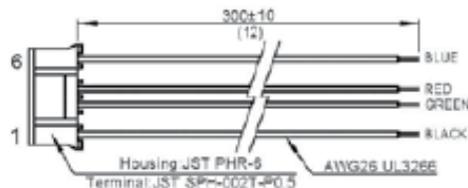
Description	Length	Mounted Rated Current	Mounted Holding Torque		Winding Ohms		Detent Torque		Rotor Inertia		Motor Weight	
			Nm Typ.	oz-in Typ.	±10% @ 20°C	mH Typ.	mNm	oz-in	g cm <sup>2</sup>	oz-in <sup>2</sup>	kg	lbs
(Stack)	"L" Max	Amps										
Single	39.8 mm (1.57 in)	2	0.48	68	1.04	2.2	15	2.1	57	0.31	0.28	0.62
Double	48.3 mm (1.90 in)	2	0.63	89	1.3	2.9	25	3.5	82	0.45	0.36	0.79
Triple	62.8 mm (2.47 in)	2	0.83	120	1.49	3.8	30	4.2	123	0.67	0.6	1.3

\*All standard motors have plug connector. Consult factory for other options.



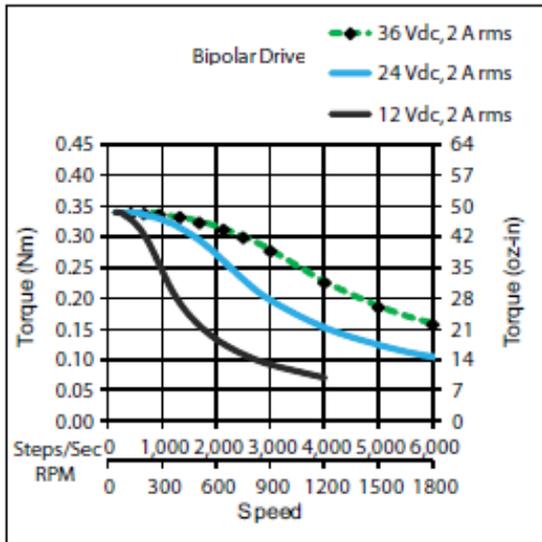
Standard shaft dimensions shown. All other dimensions apply to hollow and extended shaft options.

Dimensions: mm (in)  
4 Lead Connector, PBC Part#6200490  
(Consult factory for optional motor connectors)

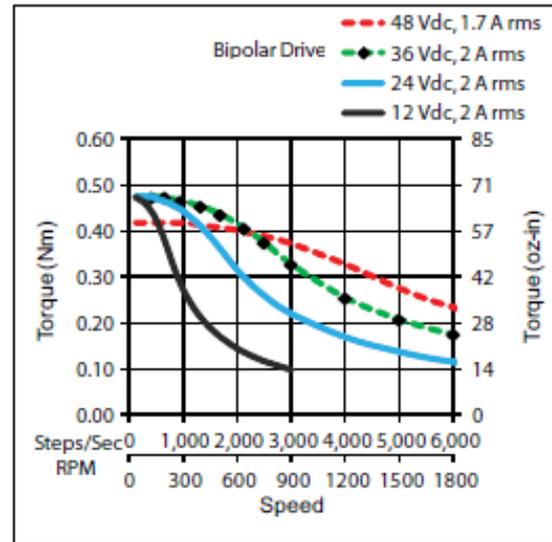


## NEMA 17 Stepper Motor

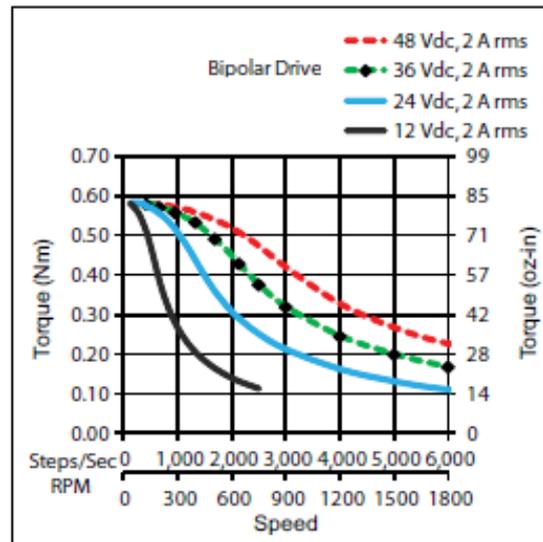
\*Performance curves apply to continuous duty cycles.  
Consult factory for intermittent cycles or other voltages.



Single Stack



Double Stack



Triple Stack

## Stepper Motor NEMA 23

This document describes mechanical and electrical specifications for PBC Linear stepper motors; including standard, hollow, and extended shaft variations.

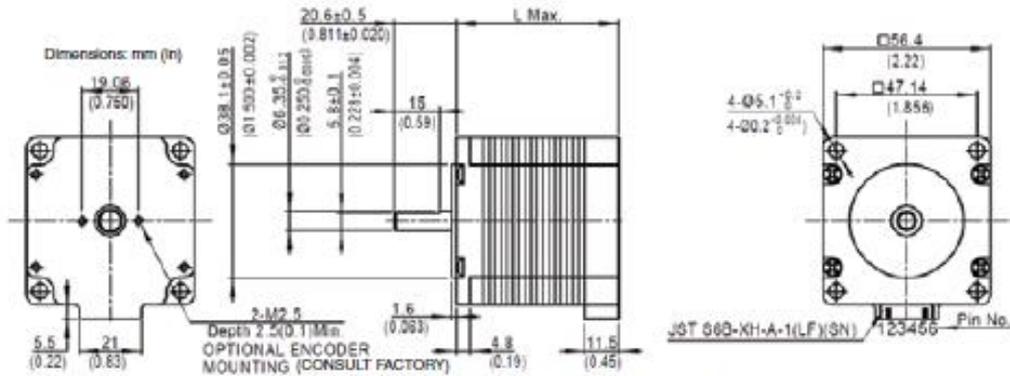


Standard shaft motor shown.

Phases	2
Steps/Revolution	200
Step Accuracy	±5%
Shaft Load	20,000 Hours at 1000 RPM
Axial	40 N (9 lbs.) Push 130 N (30 lbs.) Pull
Radial	70 N (15.5 lbs.) At Flat Center
IP Rating	40
Approvals	RoHS
Operating Temp	-20° C to +40° C
Insulation Class	B, 130° C
Insulation Resistance	100 MegOhms

Description	Length	Mounted Rated Current	Mounted Holding Torque	Winding Ohms mH	Detent Torque	Rotor Inertia	Motor Weight
(Stack)	"L" Max	Amps	Nm oz-in Typ. Typ.	±10% @ 20°C Typ.	mNm oz-in	g cm <sup>2</sup> oz-in <sup>2</sup>	kg lbs
Single	55.0 mm (2.17 in)	2.2	1.50 210	1.6 6.9	45 6.4	220 1.2	0.6 1.3
Double	77.0 mm (3.03 in)	3	2.30 330	1.1 4.5	75 11	390 2.1	1 2.2
Power Plus (Triple)	77.0 mm (3.03 in)	3	3.30 470	1.1 3.7	150 21	390 2.1	1.1 2.4

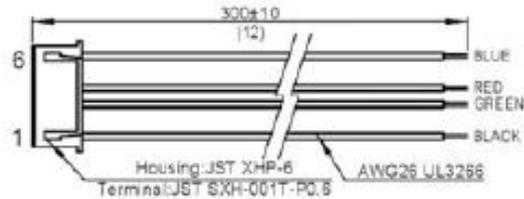
\*All standard motors have plug connector. Consult factory for other options.



Motor with leads: Lead wire is 22 AWG UL3266, 300 ±10 (12 ±5) long

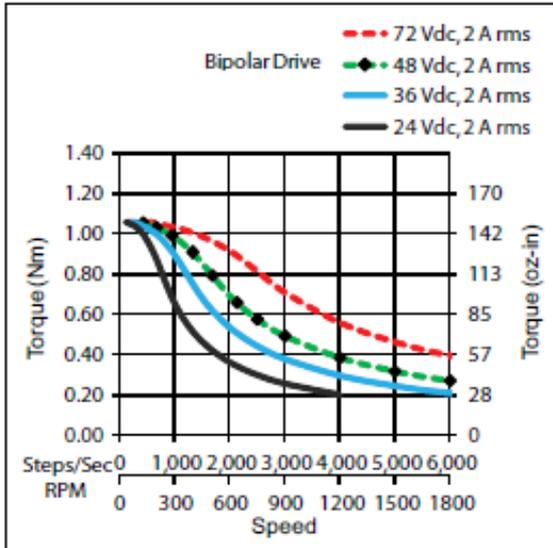
Standard shaft dimensions shown. All other dimensions apply to hollow and extended shaft options.

Dimensions: mm (in)  
4 Lead Connector, PBC Part#6200491  
(Consult factory for optional motor connectors)

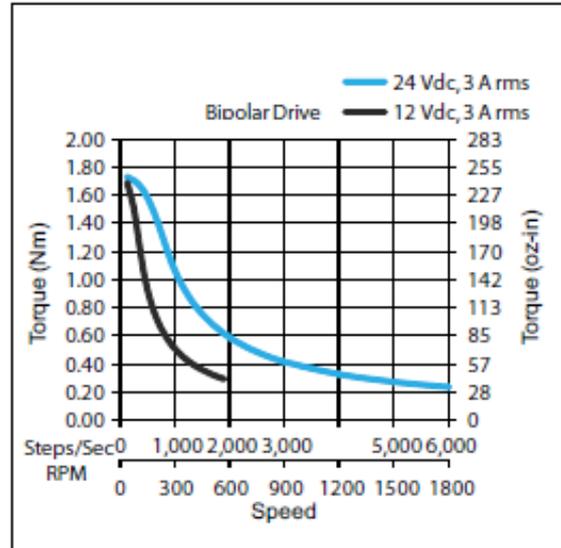


## NEMA 23 Stepper Motor

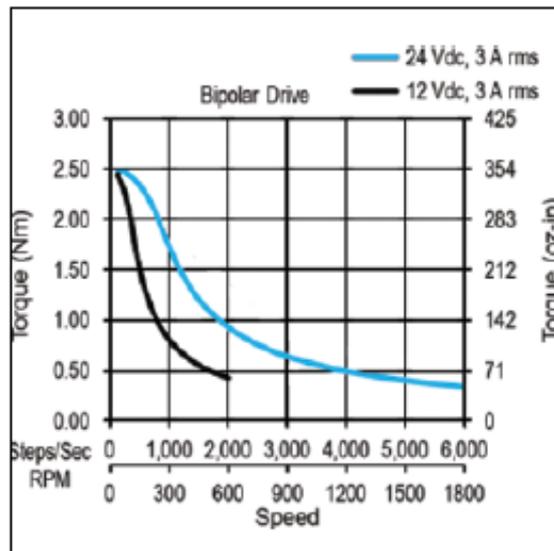
\*Performance curves apply to continuous duty cycles.  
Consult factory for intermittent cycles or other voltages.



Single Stack



Double Stack



Power Plus (Triple Stack)

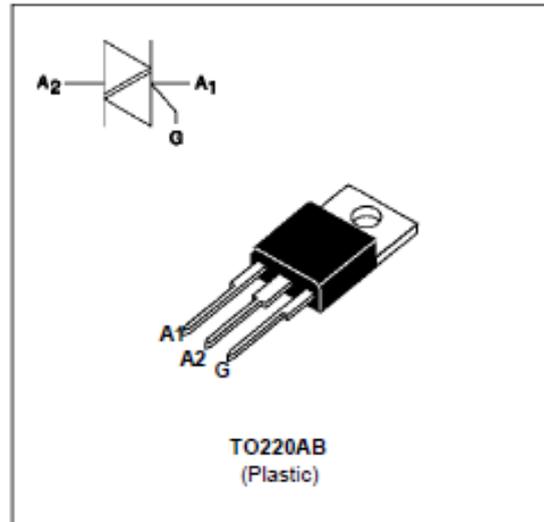
STANDARD TRIACS

**FEATURES**

- HIGH SURGE CURRENT CAPABILITY
- COMMUTATION :  $(dV/dt)_c > 10V/\mu s$
- BTA Family :  
INSULATING VOLTAGE = 2500V(RMS)  
(UL RECOGNIZED : E81734)

**DESCRIPTION**

The BTA/BTB16 B triac family are high performance glass passivated PNP devices. These parts are suitable for general purpose applications where high surge current capability is required. Application such as phase control and static switching on inductive or resistive load.



**ABSOLUTE RATINGS** (limiting values)

Symbol	Parameter	Value	Unit	
I <sub>T(RMS)</sub>	RMS on-state current (360° conduction angle)	BTA T <sub>c</sub> = 80 °C	16	A
		BTB T <sub>c</sub> = 90 °C		
I <sub>TSM</sub>	Non repetitive surge peak on-state current ( T <sub>j</sub> initial = 25°C )	tp = 8.3 ms	170	A
		tp = 10 ms	160	
i <sup>2</sup> <sub>t</sub>	i <sup>2</sup> <sub>t</sub> value	tp = 10 ms	128	A <sup>2</sup> s
di/dt	Critical rate of rise of on-state current Gate supply : I <sub>G</sub> = 500mA di <sub>G</sub> /dt = 1A/μs	Repetitive F = 50 Hz	10	A/μs
		Non Repetitive	50	
T <sub>stg</sub> T <sub>j</sub>	Storage and operating junction temperature range	- 40 to + 150 - 40 to + 125	°C °C	
TI	Maximum lead temperature for soldering during 10 s at 4.5 mm from case	260	°C	

Symbol	Parameter	BTA / BTB16-... B				Unit
		400	600	700	800	
V <sub>DRM</sub> V <sub>RRM</sub>	Repetitive peak off-state voltage T <sub>j</sub> = 125 °C	400	600	700	800	V

## BTA16 B / BTB16 B

### THERMAL RESISTANCES

Symbol	Parameter		Value	Unit
Rth (j-a)	Junction to ambient		60	°C/W
Rth (j-c) DC	Junction to case for DC	BTA	2.9	°C/W
		BTB	2.3	
Rth (j-c) AC	Junction to case for 360° conduction angle (F = 50 Hz)	BTA	2.2	°C/W
		BTB	1.75	

### GATE CHARACTERISTICS (maximum values)

$P_G$  (AV) = 1W     $P_{GM}$  = 10W (tp = 20 μs)     $I_{GM}$  = 4A (tp = 20 μs)     $V_{GM}$  = 16V (tp = 20 μs).

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Symbol	Test Conditions		Quadrant		Suffix	Unit
					B	
$I_{GT}$	$V_D=12V$ (DC) $R_L=33\Omega$	$T_J=25^\circ C$	I-II-III	MAX	50	mA
			IV	MAX	100	
VGT	$V_D=12V$ (DC) $R_L=33\Omega$	$T_J=25^\circ C$	I-II-III-IV	MAX	1.5	V
VGD	$V_D=V_{DRM}$ $R_L=3.3k\Omega$	$T_J=125^\circ C$	I-II-III-IV	MIN	0.2	V
tgt	$V_D=V_{DRM}$ $I_G = 500mA$ $dI_G/dt = 3A/\mu s$	$T_J=25^\circ C$	I-II-III-IV	TYP	2	μs
$I_L$	$I_G=1.2 I_{GT}$	$T_J=25^\circ C$	I-III-IV	TYP	40	mA
			II		70	
$I_H^*$	$I_T= 500mA$ gate open	$T_J=25^\circ C$		MAX	50	mA
$V_{TM}^*$	$I_{TM}= 22.5A$ tp= 380μs	$T_J=25^\circ C$		MAX	1.6	V
$I_{DRM}$ $I_{RRM}$	$V_{DRM}$ Rated $V_{RRM}$ Rated	$T_J=25^\circ C$		MAX	0.01	mA
		$T_J=125^\circ C$		MAX	2	
$dV/dt^*$	Linear slope up to $V_D=87\%V_{DRM}$ gate open	$T_J=125^\circ C$		MIN	250	V/μs
$(dV/dt)_c^*$	$(dI/dt)_c = 7A/ms$	$T_J=125^\circ C$		MIN	10	V/μs

\* For either polarity of electrode A2 voltage with reference to electrode A1.

Fig.1 : Maximum RMS power dissipation versus RMS on-state current ( $F=50\text{Hz}$ ).  
(Curves are cut off by  $(di/dt)_c$  limitation)

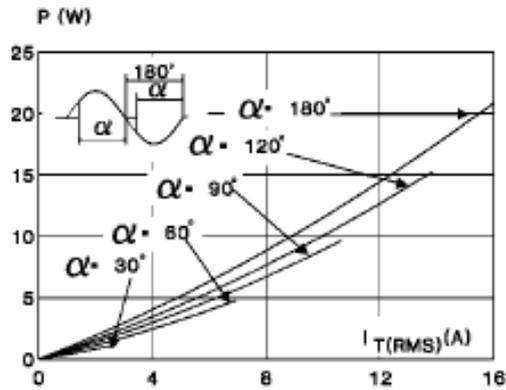


Fig.2 : Correlation between maximum RMS power dissipation and maximum allowable temperatures ( $T_{amb}$  and  $T_{case}$ ) for different thermal resistances heatsink + contact (BTA).

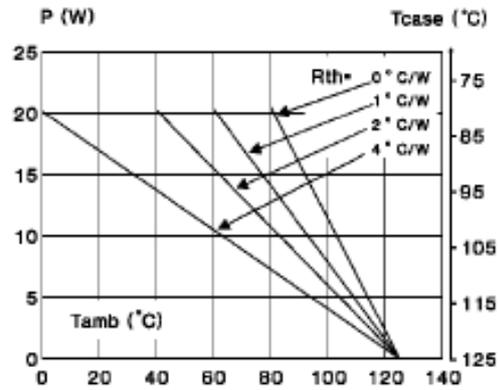


Fig.3 : Correlation between maximum RMS power dissipation and maximum allowable temperatures ( $T_{amb}$  and  $T_{case}$ ) for different thermal resistances heatsink + contact (BTB).

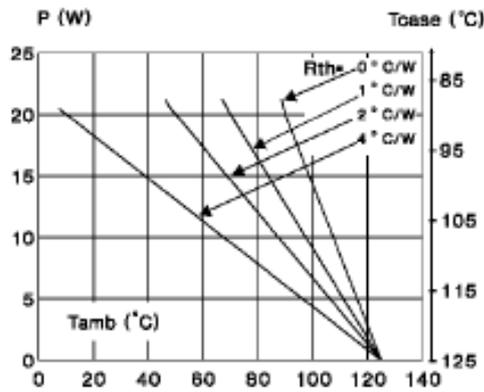


Fig.4 : RMS on-state current versus case temperature.

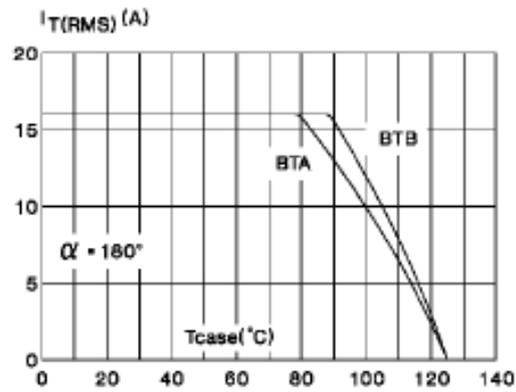


Fig.5 : Relative variation of thermal impedance versus pulse duration.

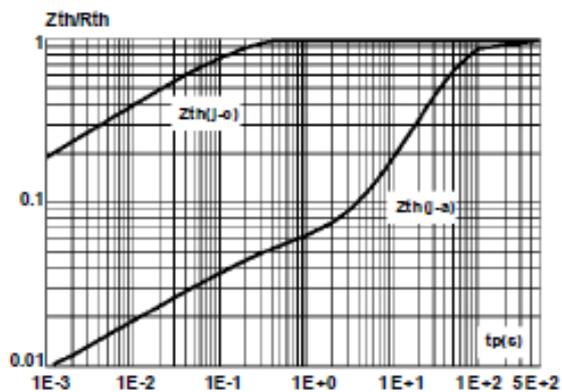
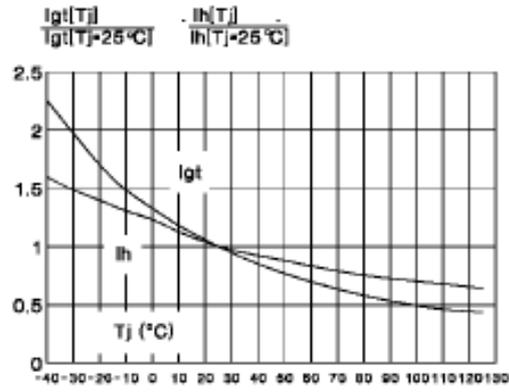
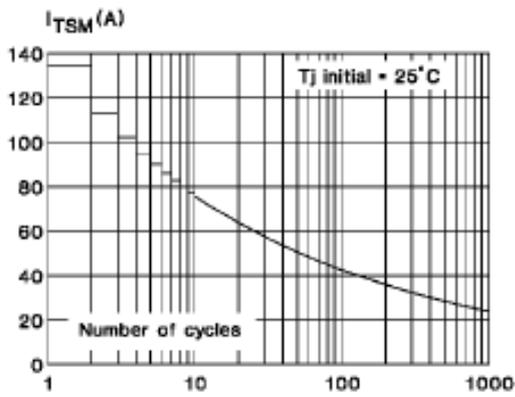


Fig.6 : Relative variation of gate trigger current and holding current versus junction temperature.

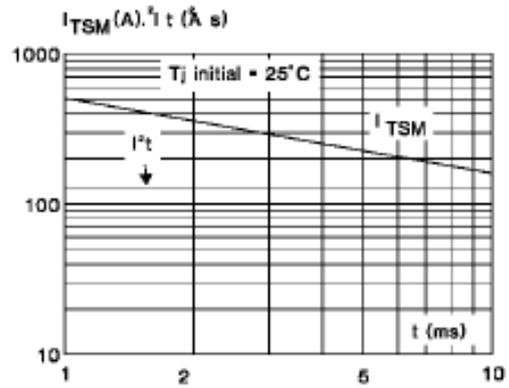


**BTA16 B / BTB16 B**

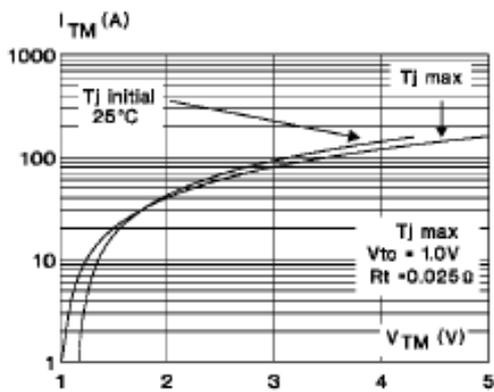
**Fig.7 :** Non Repetitive surge peak on-state current versus number of cycles.



**Fig.8 :** Non repetitive surge peak on-state current for a sinusoidal pulse with width :  $t \leq 10\text{ms}$ , and corresponding value of  $I^2t$ .

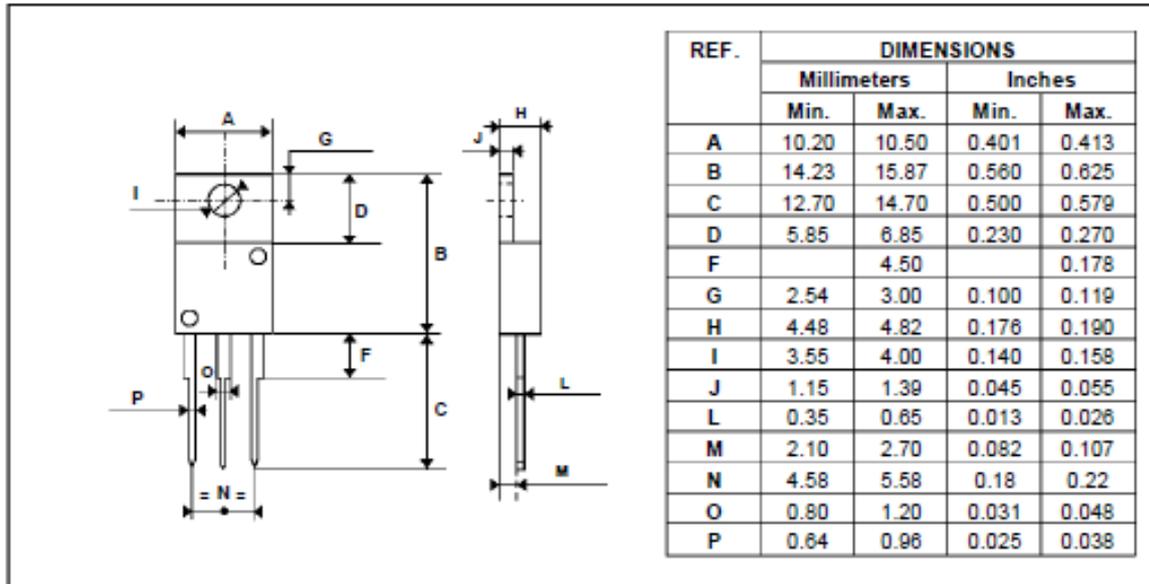


**Fig.9 :** On-state characteristics (maximum values).



## PACKAGE MECHANICAL DATA

TO220AB Plastic



Cooling method : C

Marking : type number

Weight : 2.3 g

Recommended torque value : 0.8 m.N.

Maximum torque value : 1 m.N.

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, SGS-THOMSON Microelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of SGS-THOMSON Microelectronics. Specifications mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied.

SGS-THOMSON Microelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of SGS-THOMSON Microelectronics.

© 1995 SGS-THOMSON Microelectronics - Printed in Italy - All rights reserved.

SGS-THOMSON Microelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - France - Germany - Hong Kong - Italy - Japan - Korea - Malaysia - Malta - Morocco - The Netherlands - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - Taiwan - Thailand - United Kingdom - U.S.A.



**PRESUPUESTO N°: 76077**

**Laser Ebro S.L.** Realizado por: ELENA - 17/02/20  
 Polígono Industrial El Carrascal C/ Hidrogeno, 4-47012-Valladolid  
 Valladolid-España- TEL:983 214 250

Ref Oferta: OFERTA CUCHILLAS TRITURADORA  
 PARA: ASOCIACIÓN DE MICROBÓTICA DE LA UNIVERSIDAD DE VA  
 DIR: Paseo del Cauce 59 Escuela de Ingenierías Industriales-Valladolid-4  
 TEL: 689655649 P.CONTACTO:

Descripción Pieza	Rev	Material	Tratamientos	Cant.	P. unitario	P.total
0001 CUCHILLA		I5		20	1,58 €	31,60 €
<b>TOTAL PRESUPUESTO.....</b>						<b>31,60 €</b>
<b>* En estos precios no está incluido el I.V.A.</b>						

OBSERVACIONES

Oferta válida hasta el 24/02/2020  
 Portes Debidos (Transporte no incluido)  
 Solamente están incluidos los tratamientos indicados en cada referencia en la columna 'Tratamientos'

EQUIVALENCIA DE MATERIAL

I5= INOXIDABLE AISI 304 LAMINADO EN CALIENTE

ESTIMACION DE PLAZO DE ENTREGA

Plazo de entrega a confirmar con nuestro departamento de producción en el momento de la realización del pedido

FORMA DE PAGO

CONDICIONES

- \* Precios no válidos para referencias por separado, cantidades ni plazos diferentes a los ofertados
- \* Reposiciones: Se realizarán bajo condiciones y destino del pedido original.
- \* Con el fin de minimizar errores, deberán facilitarnos la mejor documentación digital posible (dwg,dxf o 3D).
- \* Tolerancias de fabricación según norma UNE EN22768-1 Tipo M.

Para proceder a realizar el pedido necesitamos confirmación de esta oferta por escrito.  
 Reciban un cordial saludo,

LASER EBRO S.L.  
 C.I.F. A-10547101  
 Polígono Industrial El Carrascal C/ Hidrogeno, 4-47012-Valladolid  
 TEL: 983 214 250 FAX: 983 214 250

Aceptación del cliente  
 Firma y sello

Fdo: \_\_\_\_\_





## Factura Proforma N°: 203781

**Laser Ebro S.L.** Realizado por: VANESA - 17/02/20  
 Polígono Industrial El Carrascal C/ Hidrogeno, 4-47012-Valladolid  
 Valladolid-España- TEL:983 214 250

N° PEDIDO: S/ OFERTA 76077  
 PARA: ASOCIACIÓN DE MICROROBÓTICA DE LA UNIVERSIDAD DE VA  
 DIR: Paseo del Cauce 59 Escuela de Ingenierías Industriales-Valladolid-4  
 TEL: 689655649 P.CONTACTO:

Descripción Pieza	Rev	Material	Tratamientos	Cant.	P. unitario	P.total
0001 CUCHILLA		I5		20	1,58 €	31,60 €
<b>SUBTOTAL FACTURA.....</b>						<b>31,60 €</b>
<b>* I.V.A (21%).....</b>						<b>6,64 €</b>
<b>* TOTAL FACTURA PROFORMA.....</b>						<b>38,24 €</b>

EQUIVALENCIA DE MATERIAL

I5= INOXIDABLE AISI 304 LAMINADO EN CALIENTE

ESTIMACION DE PLAZO DE ENTREGA

Plazo de entrega a confirmar con nuestro departamento de producción en el momento de la realización del pedido

FORMA DE PAGO

CONDICIONES

- \* Oferta válida solamente para las cantidades y plazos de entrega ofertados.
- \* Reposiciones: Se realizarán bajo condiciones y destino del pedido original.
- \* Con el fin de minimizar errores, deberán facilitarnos la mejor documentación digital posible (dwg,dxf o 3D).
- \* Tolerancias de fabricación según norma UNE EN22768-1 Tipo M.

Para proceder a realizar el pedido necesitamos confirmación de esta oferta por escrito.  
 Reciban un cordial saludo,



Aceptación del cliente  
 Firma y sello

Fdo: \_\_\_\_\_



## PLA HD - HIGH DEFINITION

Definición, acabado y resistencia. Calidad Winkle - (Materia prima y un proceso que no solo consigue igualar en propiedades al PLA850, sino que lo supera en algunos aspectos)



Dos tamaños para 1,75mm, 300g y 1kg

Disponible en 4 packs (bajo pedido):

3kg - 5kg - 8kg  
(en los dos diámetros)

### PARÁMETROS DE IMPRESIÓN GENERALES:

**Temperatura del nozzle:**  
Entre 190°C y 230°C

**Temperatura de la cama:**  
Entre 50°C y 70°C

Excelente adherencia a la cama caliente entre capas.

#### \*PLA HD - LIGHT IN THE DARK

**Temperatura del nozzle:** Entre 190°C y 230°C  
**Temperatura de la cama:** Entre 50°C y 60°C

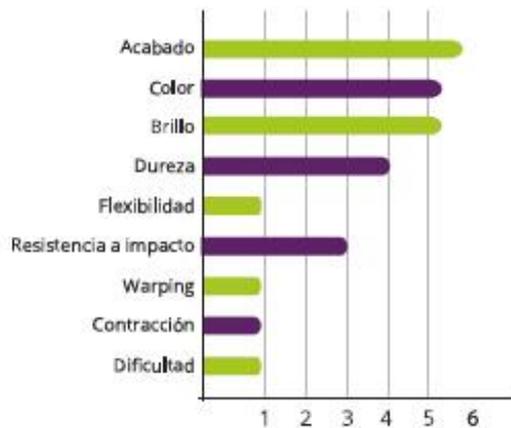
Agradece un adherente a la cama caliente.

### PROPIEDADES

Colores disponibles:



Acacia, amarillo canario, amarillo fluor, azul celeste, azul pacífico, blanco glacial, caoba, cobre, ébano, gris ceniza, malva, nacar, naranja fluor, negro azabache, oro, piel, plata, rojo diablo, rosa fluor, transparente, verde aguacate, verde fluor, verde fosforescente LID\*

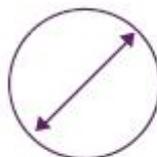


IMPRIMIR EN UN LUGAR VENTILADO

### GARANTÍAS DE CALIDAD DEL FILAMENTO ABS-HF DE WINKLE



Mejora del bobinado



Diámetro constante

Ø 1,75 mm  
± 0,05 mm

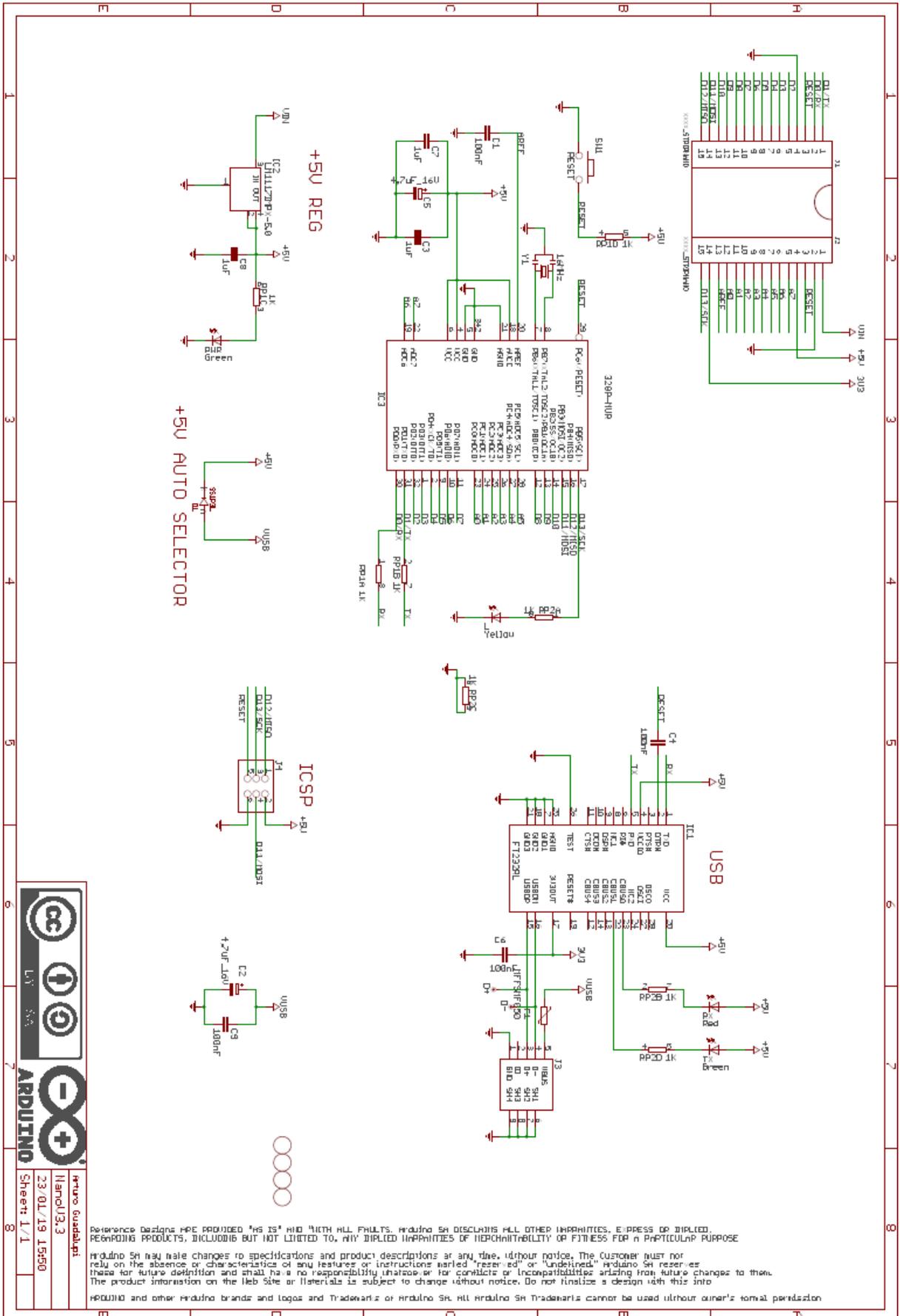


Caja de cartón, vacío y sílice

\* Los parámetros indicados son válidos para impresoras correctamente calibradas (PyD, mecánica y fusor)

\* Proceso de fabricación supervisado y probado (diámetro, color y bobinado) para garantizar la calidad de nuestro producto

# Esquemático Arduino Nano



Arduino Global
   
 Nano (3.3)
   
 23/04/19 15:50
   
 Sheet: 1/1

Reference Designs ARE PROVIDED "AS IS" AND "WITH ALL FAULTS." Arduino SA DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING PRODUCTS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO, ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE.

Arduino SA may make changes to specifications and product descriptions at any time, without notice. The Customer must not rely on the absence or characteristics of any features or instructions marked "reserved" or "undefined." Arduino SA reserves these for future definition and shall have no responsibility whatsoever for conflicts or incompatibilities arising from future changes to them. The product information on the Web Site or literature is subject to change without notice. Do not finalize a design with this info.

AR00110 and other Arduino brands and logos and Trademarks of Arduino SA. All Arduino SA Trademarks cannot be used without owner's formal permission.