



# PROYECTO FINAL

## Impresora 3D

**UTN - Facultad Regional Delta**

**Departamento de Ingeniería Mecánica**

**Ing. Fernando Maidana - Ing. Julio Basualdo**

**Alumnos:**

**FERRER, Braian - NASI, Franco - TORRANO, Federico**

**Abril 2023**

## **Índice de contenido:**

Etapas del desarrollo del proyecto:

- ETAPA 1 - Selección del tema a desarrollar.
- ETAPA 2 - Especificación para el diseño del producto.
- ETAPA 3 - Ingeniería Básica.
- ETAPA 4 - Ingeniería de Detalle.
- ETAPA 5 - Fabricación.
- ETAPA 6 - Comercialización.

Anexos:

- ANEXO I - Problemas Frecuentes.
- ANEXO II - Referencia del Mercado.
- ANEXO III - Detalle Ingeniería Básica.
- ANEXO IV - Manual de Ensamblaje.
- ANEXO V - Manual de Usuario.
- ANEXO VI - Planos constructivos.



# PROYECTO FINAL

## Impresora 3D

### *ETAPA 1: Selección*

**UTN - Facultad Regional Delta**

**Departamento de Ingeniería Mecánica**

**Ing. Fernando Maidana - Ing. Julio Basualdo**

**Alumnos:**

**FERRER, Braian - NASI, Franco - TORRANO, Federico**

**Versión 5 - Abril 2023**

## Índice de Contenidos:

1. Introducción .....	2
2. Programa de Trabajo: .....	3
3. Introducción teórica: .....	4
4. Objetivo.....	7
5. Definición de los problemas: .....	7
6. Análisis del mercado: .....	7

### 1. Introducción

En el siguiente informe se desarrollará el proyecto acorde a la cátedra de la materia Proyecto Final dictada en la Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Delta, ubicada en la ciudad de Campana, Provincia de Buenos Aires.

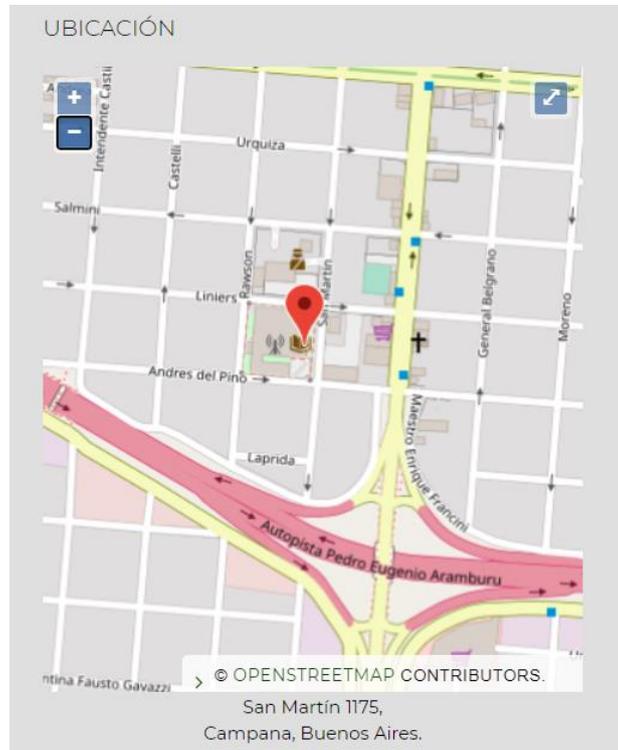


Ilustración 1: Ubicación UTN - Facultad Regional Delta.

Se decidió realizar como proyecto el desarrollo y diseño de una impresora 3d, explicando más adelante, bajo el título de “Objetivo” del presente informe, la justificación del mismo.

El grupo de trabajo abocado al proyecto está conformado por los siguientes alumnos de quinto año de la carrera de ingeniería mecánica, cuyos estados académicos son:

Alumno	Materias Cursadas	Pendientes de Cursar	Finales Aprobados	Finales Pendientes
Ferrer Braian	44	0	44	0
Nasi Franco	44	0	44	0
Torrano Federico	44	0	44	0

## 2. Programa de Trabajo:

Se estima que la duración del proyecto será de 30 meses, los cuales estarán distribuidos en las siguientes etapas:

- Etapa 1: Selección del tema de desarrollar.  
*Duración estimada: 2 meses (junio 2020 - agosto 2020)*
- Etapa 2: Especificación para el Diseño del producto.  
*Duración estimada: 3 meses (agosto 2020 - noviembre 2020)*
- Etapa 3: Diseño Conceptual. Ingeniería Básica.  
*Duración estimada: 9 meses (noviembre 2020 - agosto 2021)*
- Etapa 4: Diseño de Detalle. Ingeniería de Detalle.  
*Duración estimada: 15 meses (agosto 2021 - noviembre 2022)*
- Etapa 5: Fabricación.  
*Duración estimada: 1 mes (noviembre 2022 - diciembre 2022)*
- Etapa 6: Fabricación.  
*Duración estimada: 1 mes (diciembre 2022 - enero 2023)*

En el siguiente gráfico se muestra la distribución de tiempos en cada una de las etapas en conjunto con las fechas estimadas de inicio y finalización:

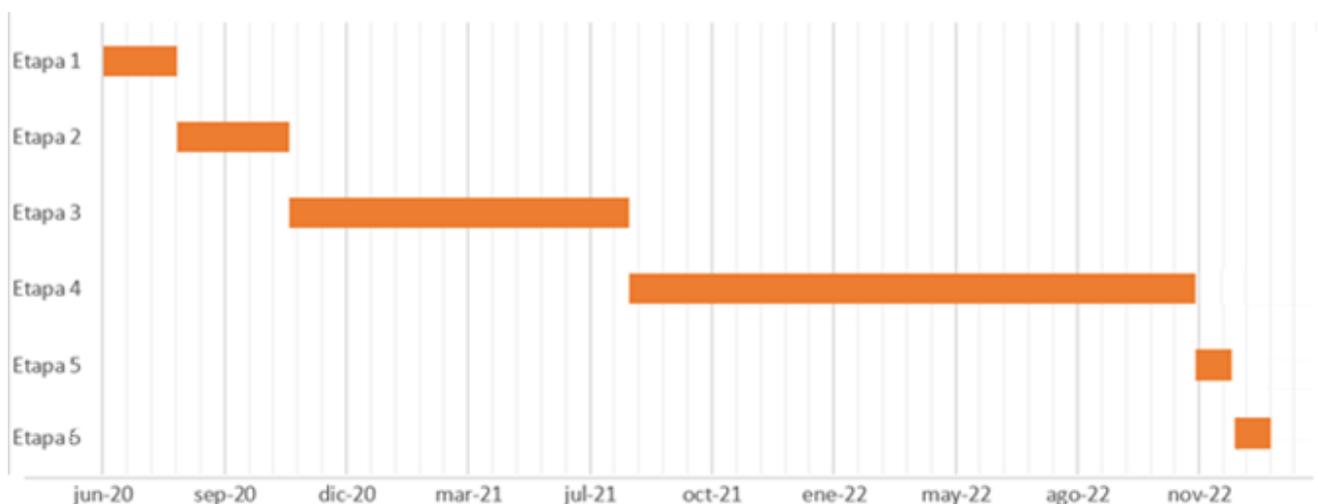


Ilustración 2: Diagrama de Gantt del proyecto.

### 3. Introducción teórica:

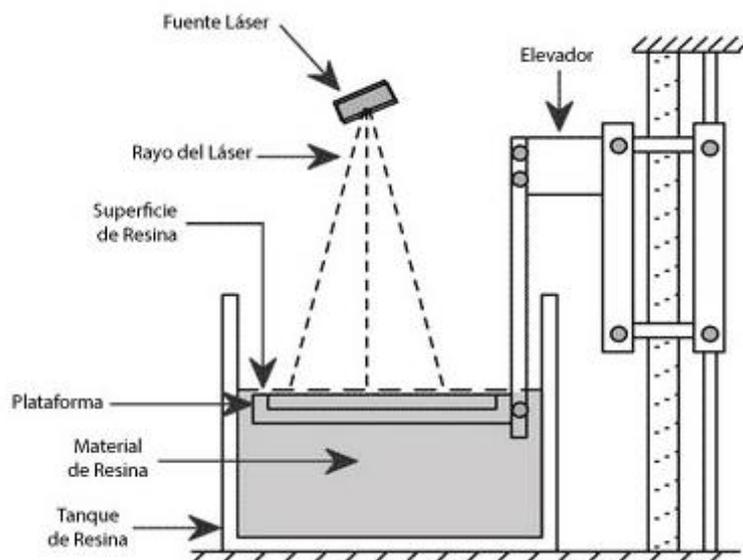
Una impresora 3D es un dispositivo capaz de generar un objeto sólido tridimensional mediante la adición de material, en contraposición a la fabricación tradicional que funciona de forma sustractiva. La impresión 3D trabaja de forma aditiva, añadiendo material desde cero y formando la pieza sin perder material en el proceso.

Este tipo de impresoras se basan en modelos en tres dimensiones para definir qué se va a imprimir. Un modelo es la representación digital de lo que queremos fabricar (imprimir) mediante algún software de modelado. A modo de ejemplo, con una impresora 3D se podría generar una maceta, un accesorio o cualquier otro objeto que se pueda imaginar, usando tan solo la cantidad estrictamente necesaria de material.

La tecnología de la impresión 3D tiene pocos años de vida, surgió a partir de diversas patentes de los años 80 y siguientes hasta su consolidación como tendencia tecnológica en la actualidad.

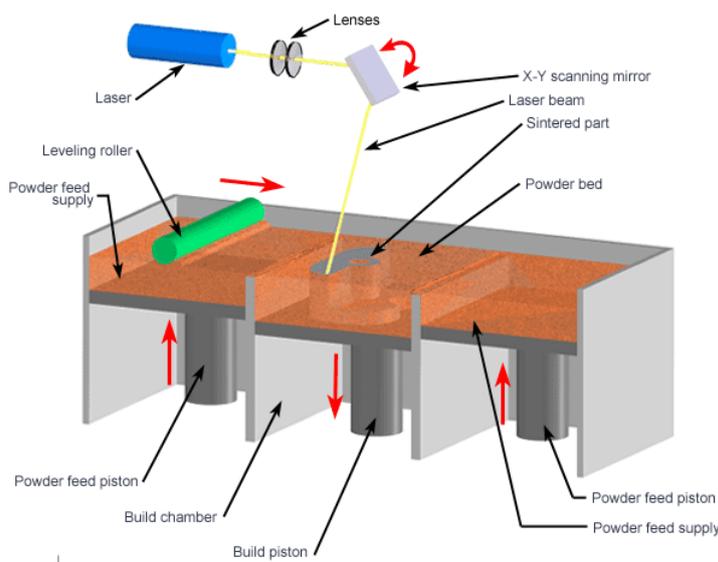
Para este proceso, existen en la actualidad diversas tecnologías:

El primer sistema que surgió fue el de la estereolitografía (SLA), patentado en 1986 por Chuck Hull. En este método “se parte de una base que se va sumergiendo (o emergiendo) capa a capa en un baño de resina fotocurable. El láser de luz ultravioleta activa la curación de la resina líquida, solidificándola.



*Ilustración 3: Representación del método de impresión SLA.*

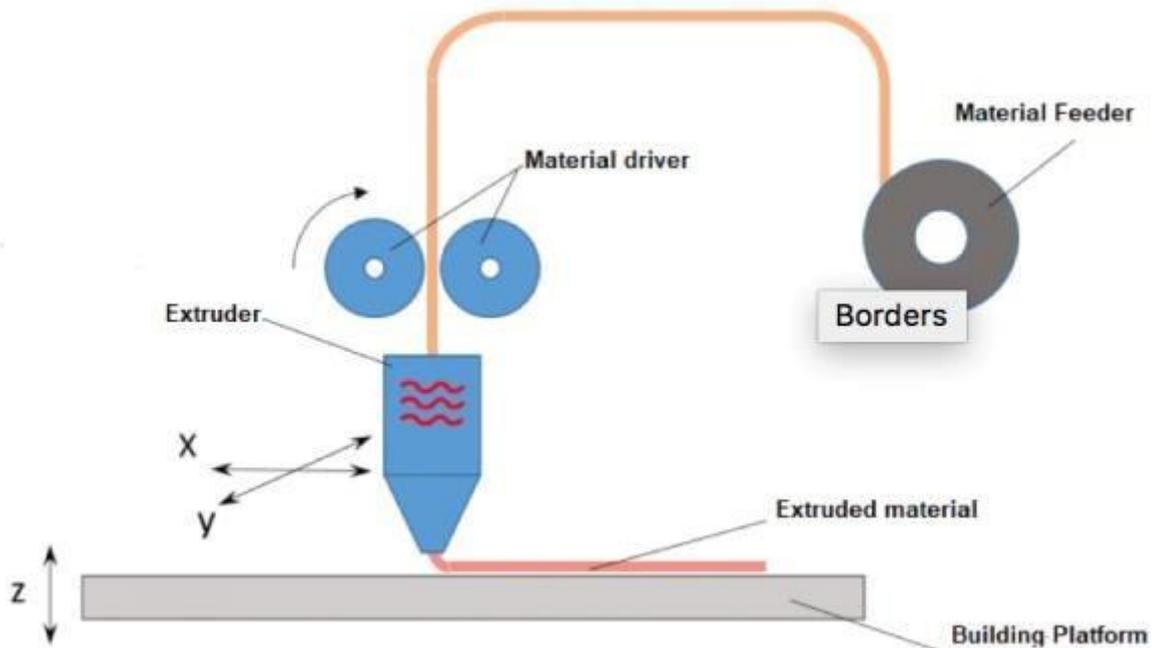
Simultáneamente, surge otra tecnología, la Sinterización Selectiva por Láser (SLS). Esta tecnología nació en la Universidad de Texas en los años 80. Pese a tener ciertas similitudes con la tecnología SLA en concepto, permite utilizar un gran número de materiales. A diferencia de la impresión vía SLA que hace uso de un baño de polímero líquido fotocurable se utiliza material en polvo (poliestireno, materiales cerámicos, cristal, nylon o materiales metálicos). El láser impacta en el polvo y funde el material que se solidifica.



*Ilustración 4: Representación del método de fabricación SLS.*

Otra tecnología para la impresión 3D fue la deposición de filamento fundido, FDM (Fused Deposition Modeling) por sus siglas en inglés patentado en 1992 por S. Scott Crump. Esta tecnología utiliza una función aditiva, depositando el material en capas, para conformar la pieza. Un filamento plástico o metálico que inicialmente se almacena en rollos, es introducido en una boquilla. La boquilla se encuentra por encima de la temperatura de fusión del material y puede desplazarse en tres ejes controlada electrónicamente. La boquilla normalmente la mueven motores a pasos o servomotores. La pieza se construye con finos hilos del material que solidifican inmediatamente después de salir de la boquilla.

En el año 2005, surgió el proyecto RepRap a manos del ingeniero mecánico Adrian Bowyer de la Universidad de Bath, Reino Unido. Con este proyecto se pretendía la creación de máquinas autoreplicantes de hardware libre, de forma que se pudieran crear impresoras nuevas a partir de otras.



*Ilustración 5: Representación del método de impresión FDM.*

Los materiales que se utilizan en las impresoras FDM son más comunes, variados y económicos que en las impresoras a resina. Los plásticos que se consiguen varían de resistencia, colores y hasta hay posibilidades de materiales flexibles. Las resinas son más costosas (pueden costar 3-4 veces más), no tienen gran variedad y, en muchos casos, no son intercambiables, por lo que se debe conseguir la resina de la empresa que diseñó la impresora.

Por otro lado, las impresoras FDM son las más sencillas de utilizar, lo que significa que no requieren grandes conocimientos técnicos como las otras impresoras. Esta característica, combinada con los precios bajos que tienen frente a las impresoras SLS, hacen que sean las más utilizadas por la comunidad.

En este proyecto desarrollaremos una impresora que utiliza esta última metodología. Es la más limpia, segura y abarca materiales útiles para las necesidades semi profesionales. Los plásticos pueden ser usados para repuestos simples, artículos hogareños, decoraciones o piezas para hobbies.

#### 4. Objetivo

El objetivo principal del proyecto es el hacer el desarrollo y diseño de una impresora 3D tipo FDM, buscando soluciones de problemas recurrentes en el mercado.

La mayoría de los problemas son debidos a variaciones de la temperatura: warping, delaminación, bridging. También algunas fallas son provocadas por mala calibración o por falta de mantenimiento en la máquina. El detalle de los problemas más comunes será detallado en el anexo I “*Problemas frecuentes*”.

Se buscará un diseño resistente, confiable y accesible para la comunidad. El equipo será de uso comercial y doméstico, por lo que se apuntará a la confiabilidad del equipo y traer soluciones a las personas que los adquieran.

#### 5. Definición de los problemas:

Como se explicó en el objetivo, se buscará solucionar problemas típicos en las impresoras 3D, los cuales se clasificaron en 4 tipos distintos:

- **Cantidad de piezas fallidas que se generan:** Hay diversos motivos por los cuales una pieza no termina de imprimirse, y esto genera un gasto de material y de tiempo por parte del usuario. Esto se vincula a muchos de los problemas antes mencionados, que traen como consecuencia desperdicio de piezas.
- **Costo de los productos en mercado:** Las impresoras de mayor calidad suelen tener un costo base muy elevado. No hay empresa en el mercado actual que comercialice una impresora 3D de calidad a un precio accesible para la mayoría de la comunidad.
- **Mantenimiento:** La extracción del extrusor es una tarea compleja en la mayoría de las impresoras. Esto es muy importante ya que una de las tareas más frecuentes es la de la limpieza del extrusor. Además, es muy común que los repuestos particulares de cada equipo sean costosos y difíciles de conseguir en varios lugares del mundo.
- **Seguridad:** El censado de temperatura sigue siendo un problema delicado y que puede causar que partes de la impresora se derritan o prendan fuego.

#### 6. Análisis del mercado:

En el mundo, la tecnología de impresión 3D sigue encontrando mercados nuevos y diferentes. Es por eso, que se puede apreciar una suba del valor que tiene la industria de impresión 3D a lo largo de los años.

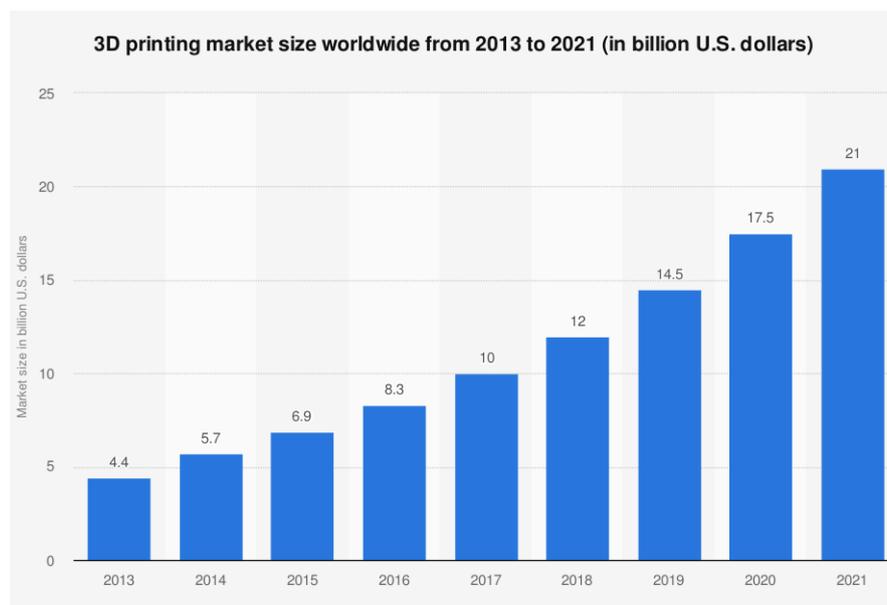


Ilustración 6: Valor de la industria de impresión 3D en el mundo. University of Oxford 2020.

La comercialización de Impresoras 3D sigue siendo un mercado prácticamente nuevo y con oportunidades de desarrollo. En particular, las impresoras 3D de tipo FDM tienen algunas necesidades que solucionar en cuestiones de calidad, confiabilidad y seguridad.

En la misma dirección en la que planteamos los objetivos, el mercado al que se apunta son personas particulares interesados en el tema para uso personal, ya sea para hobbies o para necesidad personal, o bien que deseen dar los primeros pasos en el ámbito profesional.

Aprovechando las versatilidades que presentan las impresoras 3D, también se hará foco en las entidades educativas. No sólo para que estas puedan generar tareas extracurriculares dentro de la institución que le den vida a la misma fuera del ámbito de las clases, sino que clases tengan un enfoque más dinámico, dándole la oportunidad al profesor de presentar un modelo a escala del objeto que se encuentre en estudio logrando que los alumnos tengan una mejor visualización del mismo. Con esto se buscará que los modelos impresos tengan un propósito y no sean adornos en un estante.

En una primera instancia para conocer las necesidades básicas del mercado se recurrió a las siguientes fuentes:

- Foros de impresión 3D
  - <https://www.foro3d.com/>
  - <https://spainlabs.com/foros/>

- <https://www.3dhubs.com/talk/>
- Instituciones académicas.
  - ITBA - Ing. Mariano Fullier.
  - UTN:BA - Diseñador Industrial Manuel Djeredjian.
- Profesionales.
  - Martin Torres - Diseñador de equipos en Moltech S.A.
  - Ing. Jorge Lanciotti - Ing. Eléctrico.
- Particulares, dueños de impresora 3D:
  - Rodrigo Parra - Estudiante Ing. Electrónica.
  - Pablo Balbi - Estudiante Ciencias de la computación.
  - Rubén Tejera - Técnico Electromecánico.

Buscamos en fuentes completamente diferentes. Nos enfocamos en que la información que queríamos obtener venga de una población muy amplia. Desde Ingenieros trabajando directamente con los equipos, hasta profesionales que lo usan para realizar prototipos o simplemente estudiantes (de grado y secundario) que la utilizan como hobby o negocio. Y no solamente en el mercado local, sino buscar en foros internacionales cuales son las necesidades que están apareciendo en los lugares donde los usuarios tienen más años de experiencia en la utilización de los equipos.

La información recolectada de las fuentes se obtuvo mediante charlas directas con los usuarios, problemas típicos que se presentan y observando el normal funcionamiento del producto.

De todas las fuentes a disposición se recolectó información para enlistar las siguientes necesidades de los clientes:

- **Que el producto sea económico:** Considerando el mercado al que se apunta y el uso que los clientes le darán, como ya se describió anteriormente, es necesario que el producto pueda ser accesible desde el punto de vista económico.
- **Que el producto sea estético:** Como gran parte del mercado al que se apunta son instituciones académicas, o bien, particulares que en general utilizarán el producto

desde sus hogares, es necesario que el producto sea presentable y agradable a la vista.

- **Que el producto sea fácil de ensamblar:** Esta necesidad hace referencia a que cualquier usuario sin conocimientos o herramientas especiales pueda ser capaz de ensamblar el producto desde sus casas.
- **Que pueda imprimir pequeños detalles:** Ya sea para hobbies o para imprimir piezas funcionales, esta necesidad hace en gran parte a la calidad del producto.
- **Que el producto sea fácil de mover:** Debido a que el producto puede instalarse en una casa, muchos usuarios resaltan esta necesidad pensando en adaptar el espacio físico de sus hogares de acuerdo a sus necesidades.
- **Que el producto sea fácil de usar:** El producto está pensado, entre otras cosas, para personas que quieran dar sus primeros pasos en el mundo de la impresión 3D, por este motivo, se busca que la impresora pueda ser manipulada por usuarios sin experiencia previa.
- **Que mantenga la temperatura adecuada:** Usuarios con experiencia resaltan esta necesidad como fundamental para asegurar una correcta impresión.
- **Que el producto requiera poco mantenimiento:** Los usuarios que decidan darle un uso recreativo al producto esperan usarlo por un tiempo prolongado sin necesidad de hacerle demasiado mantenimiento.
- **Que pueda imprimir piezas pequeñas y medianas:** La versatilidad en cuanto al tamaño de las piezas es fundamental independientemente del uso que se le dé a la impresora.
- **Que pueda imprimir varios colores:** Aquellos usuarios que pretendan imprimir piezas estéticas o de decoración coinciden en que la posibilidad de imprimir una pieza en varios colores aumenta bastante la versatilidad de la impresora.
- **Que permita al usuario estar ausente durante la impresión:** La impresión de piezas grandes puede llevar varias horas, por eso es necesario que, una vez empezada la impresión, la misma sea lo suficientemente confiable como para omitir la interacción con el usuario durante este proceso.

- **Que el producto resista ambientes sucios:** Parte de los usuarios que instalen el producto en sus hogares, buscan hacerlo en lugares donde no estorben con las actividades cotidianas. Por ese motivo, es necesario que el producto pueda instalarse incluso en lugares donde pueda juntar polvo y aun así funcionar correctamente.
- **Que producto sea versátil a la hora de imprimir:** Los usuarios buscan imprimir piezas de diferentes tamaños, colores, con distintas calidades y en varios materiales distintos.
- **Que pueda imprimir por mucho tiempo:** Es necesario que los componentes puedan resistir impresiones largas y varias impresiones seguidas sin perder calidad en el proceso.
- **Que no se pierda tanto tiempo antes de la impresión:** Es necesario reducir al mínimo el tiempo de calibración y puesta a punto antes de cada impresión.
- **Que haya poco descarte de piezas:** Ya sea por piezas incompletas o por errores típicos de impresión, es necesario llevar al mínimo el número de piezas descartadas.
- **Que las piezas terminadas sean fáciles de extraer:** Es importante que no se pierda demasiado tiempo y sobre todo que la pieza no se deteriore durante su remoción.

El siguiente paso, luego de enlistar las necesidades fue clasificarlas en necesidades generales y específicas. Se consideró como necesidades generales aquellas que hacen alusión a la descripción más característica, mientras que en el grupo de las necesidades específicas se colocó a aquellas que describen con más detalle a las generales:

#### **Necesidades generales:**

- Que el producto sea económico
- Que el producto sea estético
- Que el producto sea fácil de mover
- Que producto sea versátil a la hora de imprimir
- Que el producto sea fácil de usar
- Que haya poco descarte de piezas
- Que el producto requiera poco mantenimiento
- Que pueda imprimir por mucho tiempo

**Necesidades específicas:**

- Que el producto sea fácil de ensamblar
- Que pueda imprimir pequeños detalles
- Que pueda imprimir piezas pequeñas y medianas
- Que pueda imprimir varios colores
- Que no se pierda tanto tiempo antes de la impresión
- Que las piezas terminadas sean fáciles de extraer
- Que mantenga la temperatura adecuada
- Que no se despeguen las capas de las piezas
- Que el producto resista ambientes sucios
- Que pueda imprimir varias piezas seguidas
- Que permita al usuario estar ausente durante la impresión

Además de lo ya desarrollado, el cuidado del medio ambiente es un tema que cada vez preocupa más a la sociedad. Es por ello que se buscará desarrollar vínculos con proveedores los cuales fabriquen la materia prima a partir de productos reciclables. Esto será muy importante para poder crear un círculo virtuoso que les permita a los usuarios tener donde desechar sus residuos.



# PROYECTO FINAL

## Impresora 3D

### *ETAPA 2: Especificaciones*

UTN - Facultad Regional Delta

Departamento de Ingeniería Mecánica

Ing. Fernando Maidana - Ing. Julio Basualdo

Alumnos:

FERRER, Braian - NASI, Franco - TORRANO, Federico

Versión 3 - Abril 2023

**Índice de contenidos:**

1. Características del proyecto: .....	2
2. Especificaciones del producto: .....	3
3. Desarrollo de las especificaciones: .....	4
3.1. Tipo FDM.....	4
3.2. Velocidad de impresión: .....	4
3.3. Temperatura máxima del extrusor: .....	5
3.4. Temperatura máxima de la cama: .....	5
3.5. Recinto cerrado: .....	5
3.6. Diámetro de filamento: .....	6
3.7. Accesibilidad a diferentes boquillas: .....	6
3.8. Altura de capa: .....	6
3.9. Tensión 220V:.....	7
3.10. Doble extrusor: .....	7
3.11. Conectividad no inalámbrica: .....	8
3.12. Precisión de movimiento XYZ: .....	8
3.13. Nivelación de cama automática: .....	8
3.14. Compatible con filamentos genéricos o alternativos: .....	9
3.15. Énfasis en el sensado de temperatura (Seguridad) .....	9
3.16. Uso de herramientas estándar. ....	9
3.17. Volumen de Impresión:.....	9
3.18. Interfaz con el usuario: .....	10
3.19. Rápida extracción de piezas:.....	10
3.20. Ensamblable: .....	10
4. Resumen de especificaciones: .....	11

## 1. Características del proyecto:

En la primera etapa se identificaron y desarrollaron las necesidades generales del cliente. Las mismas se enlistan a continuación:

- Que el producto sea económico
- Que el producto sea estético
- Que el producto sea fácil de mover
- Que producto sea versátil a la hora de imprimir
- Que el producto sea fácil de usar
- Que haya poco descarte de piezas
- Que el producto requiera poco mantenimiento
- Que pueda imprimir por mucho tiempo

Estas necesidades se tuvieron en cuenta para plantear las especificaciones del producto. Sin embargo, no fue la única fuente de información, sino que también se tomó en cuenta la referencia de equipos actuales del mercado. Entre las impresoras comparadas, se encuentran la *Flashforge Finder*, *Creality Ender 5* y *Robo R1*. Estas se encuentran dentro del rango de precios esperado para el proyecto, por lo tanto, son competencia directa con nuestro producto. Por otro lado, se tomaron en cuenta dos impresoras icónicas del mercado: La *Ultimaker 3* y la *Prusa I3 MK3*. A pesar de que su precio es mayor a lo esperado, es interesante conocer sus ventajas y especificaciones para comparar con lo que se quiere obtener.

Tomando en cuenta estas necesidades y buscando información y referencia del mercado se desarrollaron y cuantificaron las especificaciones del producto.

## 2. Especificaciones del producto:

Para el desarrollo del proyecto se definieron las especificaciones que se deben cumplir basadas en las necesidades de los clientes y una referencia del mercado actual. Fueron clasificadas en principales y secundarias.

Las especificaciones principales son:

- Impresora tipo FDM de tres ejes
- Velocidad de impresión: 80 - 100 mm/s
- Costo total = 600 USD
- Temperatura máxima del extrusor: 280°C
- Temperatura máxima en la cama: 110°C
- Recinto semicerrado
- Diámetro de filamento comercial
- Accesibilidad a diferentes boquillas (Por ejemplo, 0,2mm - 0,4mm, 0,6mm)
- Altura de capa mínima: 100 micrones
- Precisión de movimiento XYZ: 10 x 10 x 5 micrones
- Tiempo de puesta a punto: Menor a 20min
- Doble extrusor
- Tensión 220v | 50Hz.
- Conectividad de información no inalámbrica (USB/Tarjeta SD/cable red)
- Nivelación de cama automática
- Compatible con filamentos genéricos o alternativos
- Volumen de Impresión 220x220x300mm
- Ensamblable

Las especificaciones secundarias son:

- Peso total: Menor a 15 Kg
- Tiempo de ensamblaje: 180 - 240min
- Énfasis en el censado de temperatura (Seguridad)
- Uso de herramientas estándar
- Interfaz con el usuario amigable por medio de una pantalla.
- Consumo eléctrico menor a 400W
- Rápida extracción de piezas
- Seguridad ante el corte de la corriente eléctrica.
- Estructura de plástico, materiales compuestos o material metálico
- Compatible con software de código libre

A continuación, se desarrollan cada una de las especificaciones definidas, junto con un resumen de los valores y su importancia. Para más información de los valores escogidos, ver el anexo "Referencia del mercado".

### 3. Desarrollo de las especificaciones:

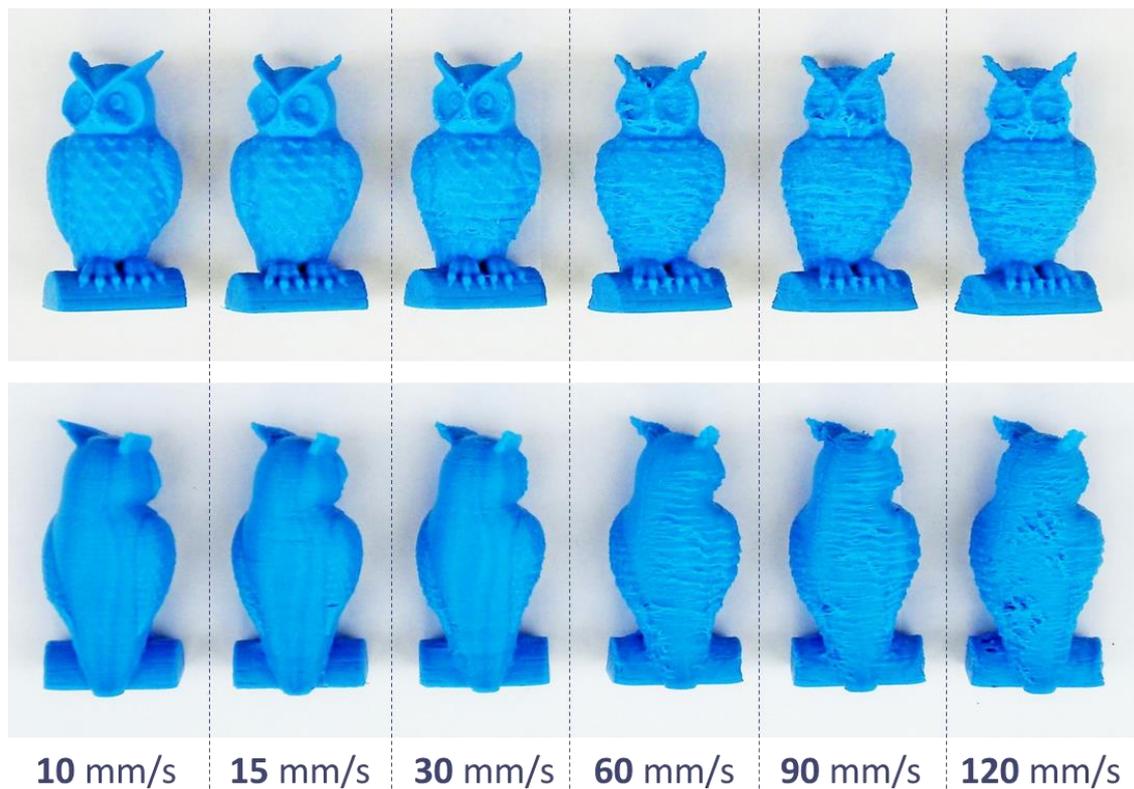
#### 3.1. Tipo FDM

Como se desarrolló en la etapa 1, se decidió por un método de impresión 3D del tipo FDM (Modelado por Deposición Fundida).

#### 3.2. Velocidad de impresión:

La velocidad de impresión es un factor clave para cumplir con piezas que requieren tolerancias exigentes. A mayor velocidad de impresión, se vuelve más complicado cumplir con la tolerancia dimensional de la pieza debido a la inercia del extrusor.

Cada vez que el extrusor cambia de dirección, debido a la inercia que tiene, puede causar vibraciones que luego se manifestarán en la pieza como imperfecciones (Ver ilustración 1). Este tipo de defectos se notará principalmente en las esquinas, que tendrán ligeras protuberancias que desdibujarán los ángulos nítidos.



*Ilustración 1: Ejemplo impresión a diferentes velocidades.*

Los factores que agravan este fenómeno son el peso del carro donde está la boquilla y la rigidez de la estructura. Se decidió especificar una velocidad entre 80 y 100 mm/s debido a que es un parámetro de referencia del mercado.

### 3.3. Temperatura máxima del extrusor:

Esta variable limita la cantidad de materiales que se pueden trabajar, ya que el material tiene que estar en un estado de viscosidad suficiente para ser extruido por la boquilla. Cada material tiene una temperatura de trabajo diferente y, por lo tanto, esta variable es importante para lograr abarcar un abanico más amplio de materiales. Con una temperatura máxima del extrusor de  $280^{\circ}\text{C}$ , se cubren las recomendaciones para los materiales más utilizados en impresión 3D: PLA, ABS, Nylon, PETG, así como también materiales compuestos con una base de plástico. Teniendo en cuenta esto, no hay un material típico en la impresión 3D que requiera una temperatura superior a la establecida.

### 3.4. Temperatura máxima de la cama:

La temperatura de la cama permite la adhesión de las piezas mientras se está realizando la impresión. Si la cama no está caliente, la pieza tiene un gran riesgo de sufrir warping (Ver Anexo I) o despegarse completamente. Un valor de  $120^{\circ}\text{C}$  cubre las recomendaciones de los materiales más utilizados en impresión 3D.

### 3.5. Recinto semi cerrado:

Tener un recinto cerrado permite que la temperatura ambiente en la zona de impresión se mantenga en valores de  $20\text{-}25^{\circ}\text{C}$  y no permite el ingreso de corrientes de aire que pueden contraer el material y generar problemas de warping, delaminación o hasta despegar la pieza (Ver ilustración 2).

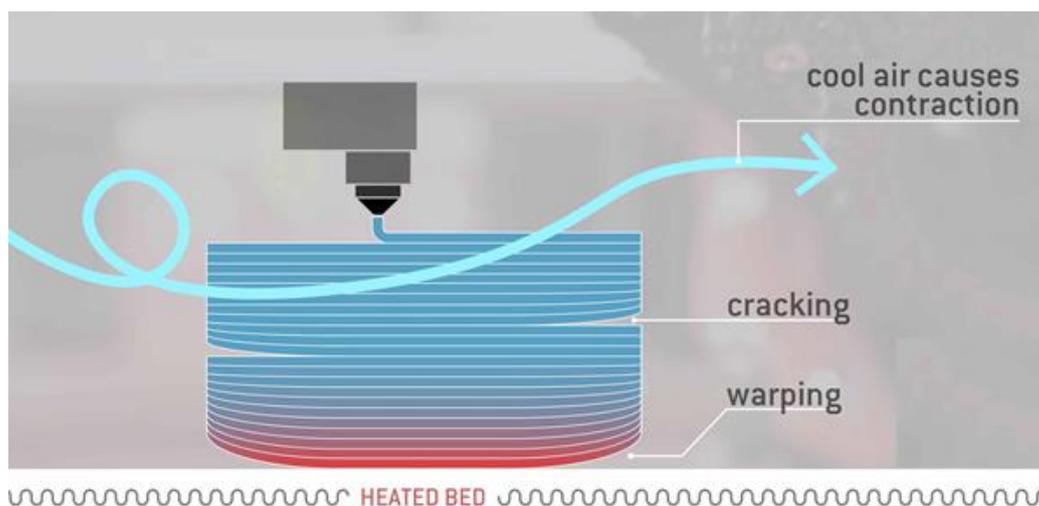


Ilustración 2: Situación con corrientes de aire.

### 3.6. Diámetro de filamento:

Los fabricantes de filamento, trabajan con dos diámetros estándar: 1,75mm y 2,85mm. Es importante que el diseño este pensado para poder trabajar con materiales estándar y darle así acceso al material al cliente.

### 3.7. Accesibilidad a diferentes boquillas:

La boquilla por donde sale el filamento viene de varios diámetros. La mayoría de las impresoras del mercado vienen con una boquilla de diámetro 0,4mm, sin embargo, se puede optar por comprar diferentes boquillas e intercambiarlas en diferentes impresiones. Las boquillas de diámetro menor permiten que las impresiones tengan mejores detalles, pero demoren más tiempo que boquillas de diámetros mayores.

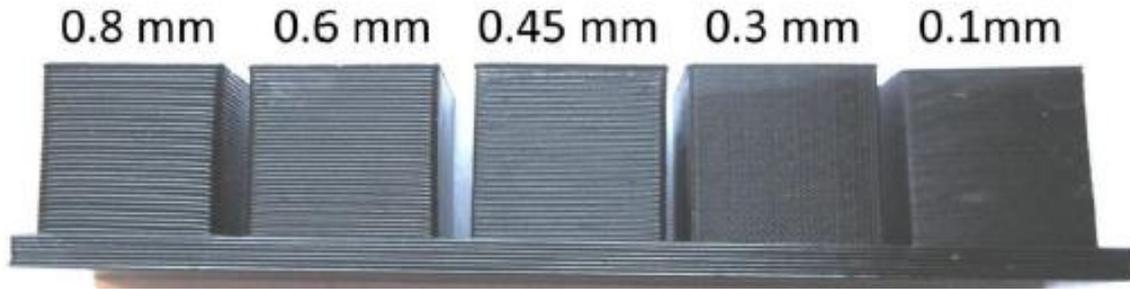


*Ilustración 3: Diferentes boquillas de bronce.*

Por otro lado, varios materiales compuestos son abrasivos y dañan las boquillas convencionales. Por lo tanto, es importante dar la posibilidad de poder instalar una boquilla con un material de mayor dureza para resistir estos materiales.

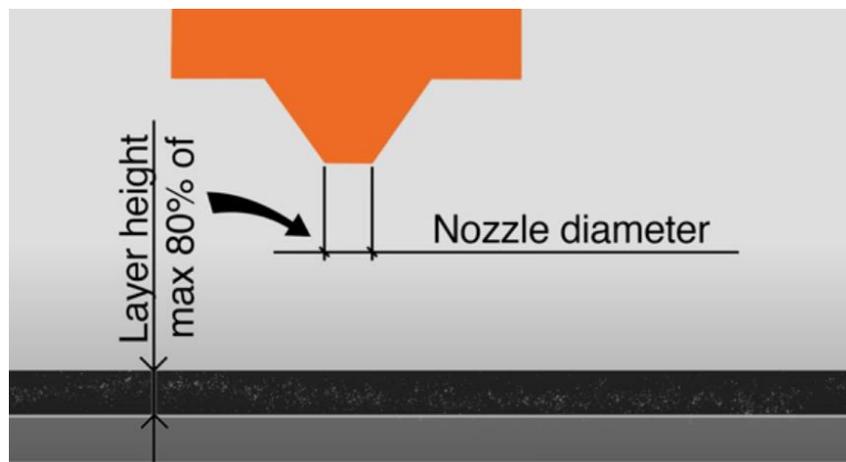
### 3.8. Altura de capa:

La altura de capa es una variable importante ya que mejora la terminación superficial de las piezas. Una mayor altura de capa deja sobre la impresión un efecto de escalera, sobre todo en zonas curvas (Ver ilustración 4). Sin embargo, reduce el tiempo de impresión de manera inversamente proporcional. En la mayoría de las piezas la altura de capa utilizada oscila entre 0,2 - 0,3mm. En piezas de gran tamaño, con boquillas de diámetro superior, se suelen utilizar alturas de capa de 0,4 - 0,6mm.



*Ilustración 4: Pieza con diferentes alturas de capa.*

Como regla general, se estima que la altura de capa máxima debe ser un 80% del diámetro de la boquilla (Ver ilustración 5). Este valor se comprueba empíricamente ya que aparece un problema de compresión del filamento por parte de la boquilla en valores superiores al recomendado.



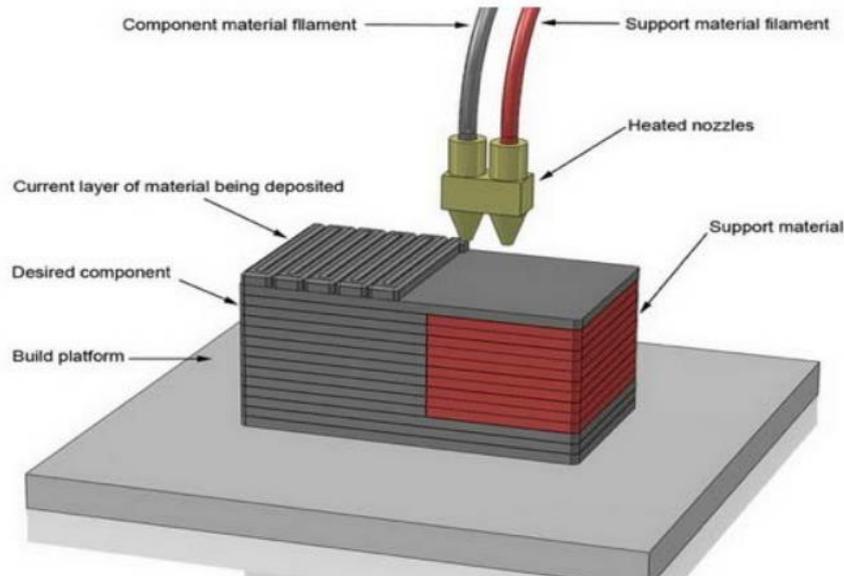
*Ilustración 5: Limite de altura máxima.*

### 3.9. Tensión 220V | 50Hz:

Es la tensión de red nominal en Argentina, por lo que se podrá utilizar sin ningún adaptador en todo el país.

### 3.10. Doble extrusor:

Tener doble extrusor trae varias ventajas. No solo se pueden obtener piezas de dos colores, lo que le da más versatilidad, sino que se pueden utilizar materiales diferentes para los soportes de piezas complejas. Estos son necesarios en situaciones donde se deben imprimir zonas que no tienen material debajo y, por lo tanto, se imprimen en voladizo. En este caso, una posibilidad es la de utilizar un material degradable en agua o alcohol, haciendo que sea más sencillo retirarlos, como se puede apreciar en la ilustración 6.



*Ilustración 6: Ejemplo de uso de doble extrusor para soportes.*

### 3.11. Conectividad no inalámbrica:

La conexión inalámbrica trae ventajas, ya que el usuario puede conectarse al equipo de forma remota, sin embargo, es más inestable que una conexión directa. Debido a esto es preferible una conexión física, por medio de una tarjeta SD, un puerto USB, o bien un cable Ethernet, ya que mientras la máquina esté energizada, el intercambio de información tiene pocas posibilidades de cortarse.

### 3.12. Precisión de movimiento XYZ:

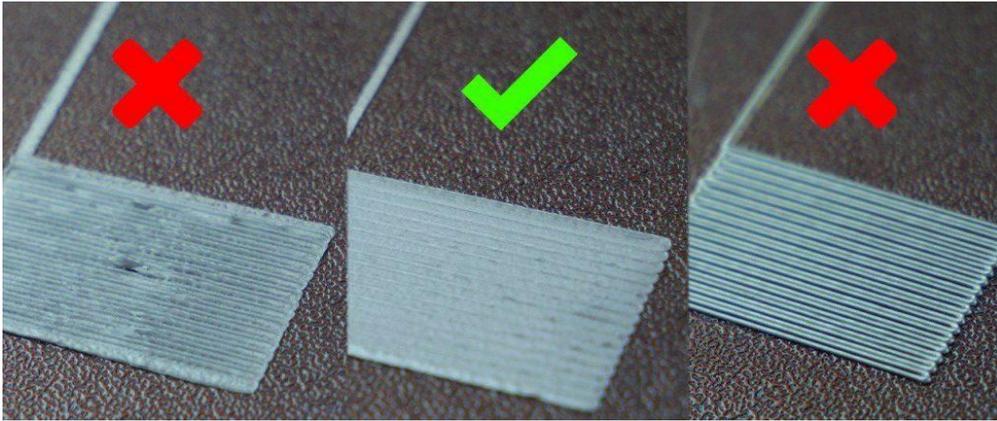
La precisión de los movimientos hace referencia a la posibilidad de los motores y la estructura de posicionar la boquilla en un punto con la tolerancia descrita. La precisión no es la única variable que afecta a la tolerancia dimensional de la pieza.

El valor especificado se basó en la precisión que tienen la mayoría de las impresoras comerciales.

### 3.13. Nivelación de cama automática:

La cama tiene que estar plana y perpendicular al extrusor para que las impresiones tengan precisión en las dimensiones y no haya problemas de altura de la primera capa en las distintas partes de la cama (Ver ilustración 7).

Generalmente, esta nivelación se hace de manera manual. Sin embargo, requiere de nivelación constante y no siempre se logra obtener la misma precisión. Por este motivo se busca tener una nivelación automática.



*Ilustración 7: Nivelaciones diferentes de la cama.*

#### 3.14. Compatible con filamentos genéricos o alternativos:

Es importante que la impresora no dependa de un filamento en particular. Actualmente hay una gran cantidad de fabricantes de filamentos y se limitaría mucho el mercado si no fuese compatible con todos ellos.

#### 3.15. Énfasis en el censado de temperatura (Seguridad)

En muchas situaciones, el termistor del extrusor se desajusta, provocando que la lectura de temperatura no coincida con la que hay en el extrusor. Aunque la temperatura del sensor marca que está a la temperatura seteada por el usuario, en el extrusor la temperatura es muy superior, pudiendo carbonizar el filamento, tapar el extrusor o hasta derretir partes de la impresora. Por lo tanto, es importante poder brindar mayor seguridad a la hora del censado de temperatura.

#### 3.16. Uso de herramientas estándar.

Utilizar elementos de fijación y accesorios que se ajusten a las herramientas convencionales de trabajo. Es importante que sea fácil de ensamblar y de lograr hacer mantenimiento con las herramientas que cualquier persona pueda tener en su hogar.

#### 3.17. Volumen de Impresión:

El volumen de impresión se decidió comparando los valores actuales del mercado y la opinión de los usuarios. El eje Z tiene un tamaño superior para permitir piezas con un lado mayor a 220mm.

### 3.18. Interfaz con el usuario:

Es importante una interacción con el usuario que le permita desde la impresora, poder tener acción sobre la maquina: Prender motores, precalentar, mover ejes, prender ventiladores, etc.

### 3.19. Rápida extracción de piezas:

Cuando la impresión termina, las piezas que tienen mucho contacto contra la cama son muy difíciles de despegar en caliente y las piezas de poco espesor o de poco contacto suelen romperse al hacerle un esfuerzo para retirarla. En general lo que se hace es esperar a que la temperatura baje para que se contraiga el material y se despeje de la mesa. Buscamos una forma rápida de extraer las piezas sin la necesidad de esperar.

### 3.20. Ensamblable:

Para que sea de fácil transporte y le dé la posibilidad al usuario de poder realizar un mantenimiento más simple, definimos que la impresora sea construida con bulonería y elementos de fijación extraíbles.

#### 4. Resumen de especificaciones:

Se describe en forma resumida las especificaciones esperadas para el desarrollo del proyecto:

Métrica	Importancia	Unidades	Valor marginal	Valor ideal
Impresora tipo FDM	5	-	FDM	FDM
Velocidad máxima de impresión	5	mm/s	80	100
Costo total	5	UDS	700	600
Temperatura máxima del extrusor	5	°C	280	280
Temperatura máxima en la cama	5	°C	100	120
Recinto cerrado	5	-	Semi	Semi
Diámetro de filamento	4	-	Comercial	Comercial
Accesibilidad a diferentes boquillas (Por ejemplo, 0,2mm – 0,4mm, 0,6mm)	4	-	SI	SI
Altura de capa mínima	4	µm	100	100
Precisión de movimiento XYZ	4	µm	10x10x5	10x10x5
Tiempo de puesta a punto	2	min	< 30	< 20
Doble extrusor	4	-	SI	SI
Tensión	3	V	220	220
Conectividad de información no inalámbrico (USB/Tarjeta SD/cable red)	3	-	SI	SI
Nivelación de cama automática	4	-	SI	SI
Compatible con filamentos genéricos o alternativos.	4	-	SI	SI
Peso total	2	Kg	< 18	< 15
Tiempo de ensamblaje	2	min	< 240	< 180
Énfasis en el sensado de temperatura (Seguridad)	3	-	SI	SI
Uso de herramientas estandar	2	-	SI	SI
Área de Impresión	3	cm <sup>2</sup>	≥400	≥400
Interfaz con el usuario amigable	2	-	SI	SI
Consumo eléctrico	2	W	< 500	< 400
Rápida extracción de piezas.	1	-	SI	SI
Estructura de plástico, materiales compuestos o material metálico	2	-	SI	SI
Compatible con software de código libre.	2	-	SI	SI

*Ilustración 10: Resumen de especificaciones.*



# PROYECTO FINAL

## Impresora 3D

### *ETAPA 3: Ing. Básica*

UTN - Facultad Regional Delta

Departamento de Ingeniería Mecánica

Ing. Fernando Maidana - Ing. Julio Basualdo

Alumnos:

FERRER, Braian - NASI, Franco - TORRANO, Federico

Versión 4 - Abril 2023

**Índice de Contenidos:**

1. Estructura del desarrollo	2
2. Ingeniería Básica	4
2.1. Sistema de posicionamiento de ejes: Cartesiana	4
2.2. Movimiento de los ejes: Zona de impresión en Z, con cabezal en XY	4
2.3. Sistema de transmisión eje Z: Tornillo de potencia	5
2.4. Sistema de transmisión eje XY: Movimiento cartesiano con poleas	6
2.5. Sistema de Extrusión: Sistema Bowden con sistema de tracción de dos engranajes	6
2.6. Cabezal: Doble extrusor con un bloque de calor	7
2.7. Tubo garganta: Acero inoxidable con teflón	9
2.8. Acople: Acople rápido Racord.	9
2.9. Cooler disipador: Cooler encapsulado	10
2.10. Boquilla: Boquilla de Latón	11
2.11. Motores: Motores Paso a paso	11
2.12. Microcontrolador: MKS Base v1.3	12
2.13. Cama caliente: Mesa de vidrio y sostén de aluminio	13
2.14. Resistencia del extrusor: Resistencia cartucho	13
2.15. Pantalla LCD: Con sistema de botonera	14
2.16. Final de carrera: Mecánico.	15
2.17. Sensor de temperatura: Termistor NTC 100k	15
2.18. Sensor de proximidad: BL Touch	16
2.19. Sensor de filamento: Sensor óptico-electrónico	16
2.20. Porta Rollo	17

## 1. Estructura del desarrollo

En la siguiente etapa del proyecto se desarrollará la ingeniería básica del producto, generando soluciones y alternativas, tomando en consideración las especificaciones detalladas en la etapa anterior.

La estructura del informe consta en un diagrama de flujo (Ver Ilustración 2) el cual abarca los parámetros principales para el diseño y donde se detalla la correlación de los mismos.

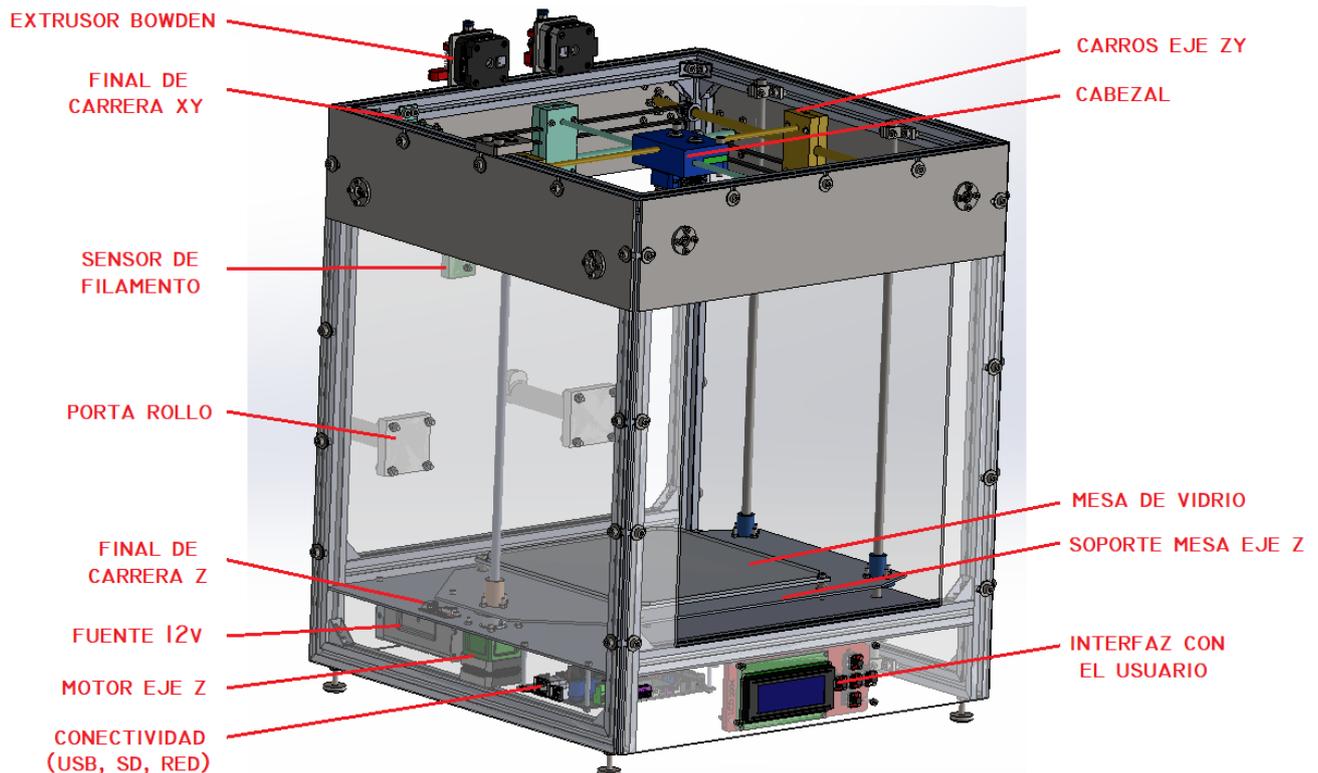


Ilustración 1: Partes de una impresora 3D genérica.

Luego de definir el método de trabajo se detallará cada uno de los parámetros y se plantearán distintas alternativas para el diseño, de las cuales, luego de realizar los cálculos y el análisis correspondiente se seleccionarán las que satisfagan mejor las especificaciones planteadas en la etapa 2.

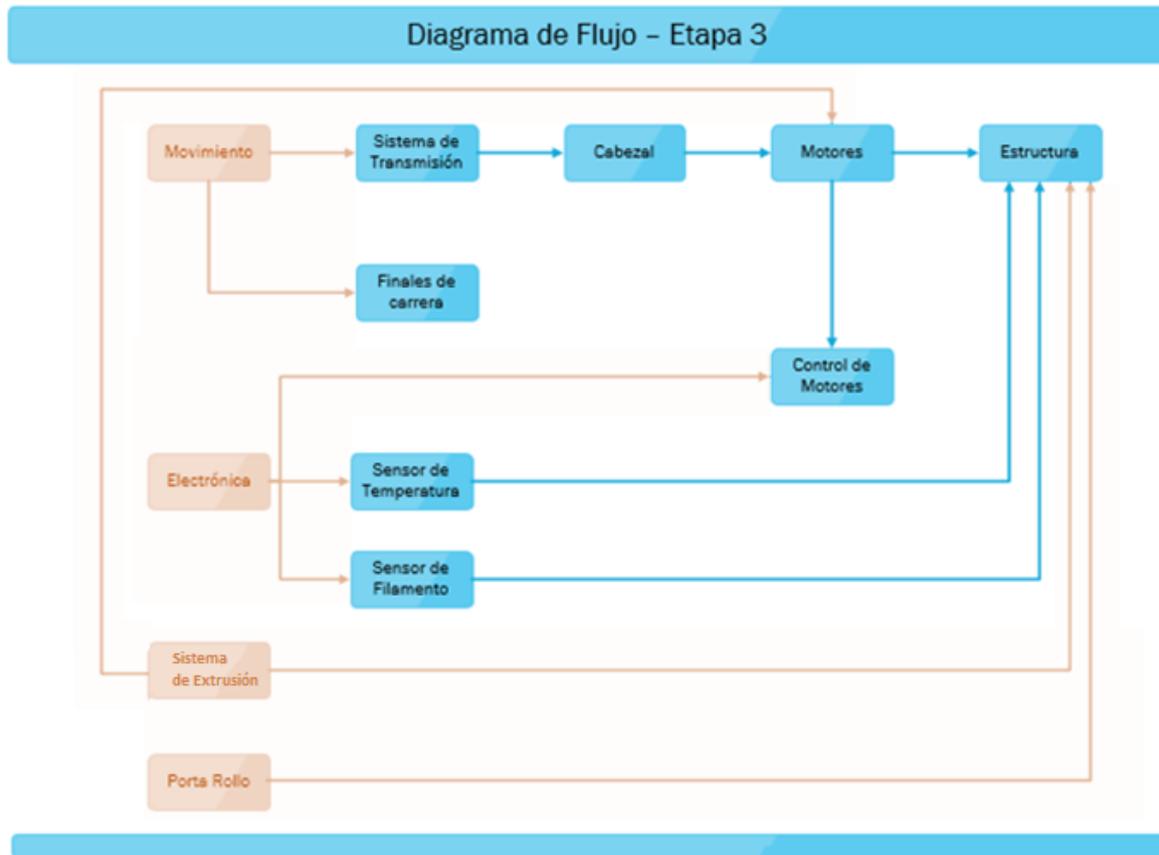


Ilustración 2: Diagrama de Flujo del proyecto.

En el diagrama de flujo se puede observar la correlación de los parámetros, lo cual servirá como guía para el diseño. Los bloques a los cuales no les llega ninguna flecha son parámetros independientes (resaltados en rojo) y por lo tanto se puede trabajar con ellos en paralelos, mientras que la llegada de una flecha a un bloque (resaltados en azul) indica una correlación previa, por lo tanto, no se podrá avanzar con ese parámetro hasta definir los anteriores.

Cabe destacar que el diagrama es una tabla dinámica y que requiere una constante retroalimentación, es decir que cualquier modificación en los parámetros puede llevar al replanteo de parámetros anteriores.

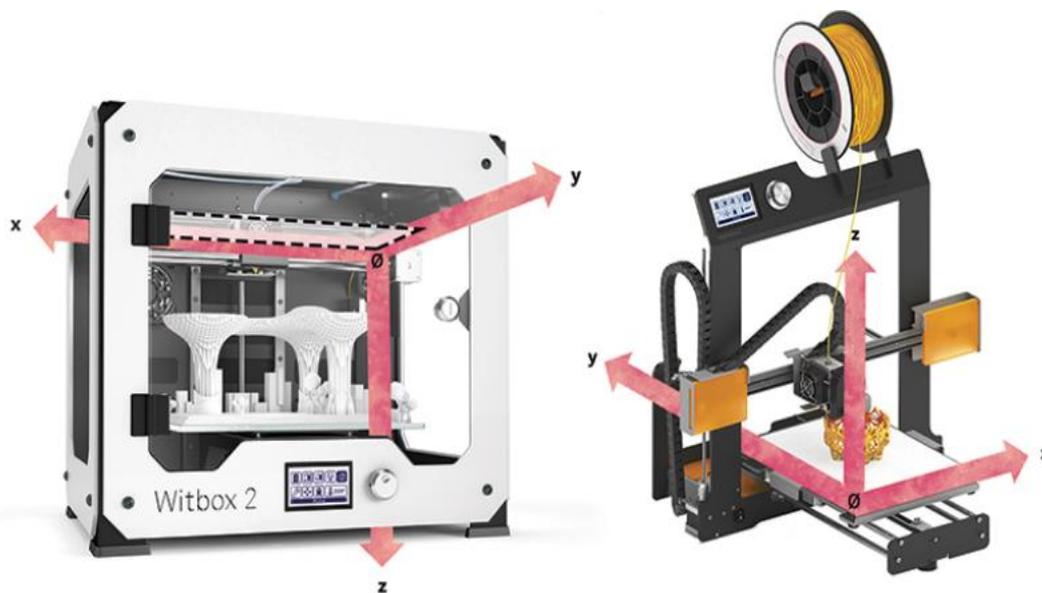
## 2. Ingeniería Básica

En esta sección se va a organizar y compilar toda la información desarrollada y las decisiones tomadas en la “Etapa 3: Ingeniería Básica” del proyecto. En el Anexo III se pueden encontrar todas las posibilidades planteadas para cada parámetro decidido.

### 2.1. Sistema de posicionamiento de ejes: Cartesiana

El sistema de posicionamiento de ejes determina el tipo de movimiento que realizan las partes móviles (cabezal y mesa).

Se decidió utilizar un sistema de coordenadas cartesianas para el movimiento. El cabezal y la cama se mueven sobre tres ejes ortogonales con motores independientes para cada uno.



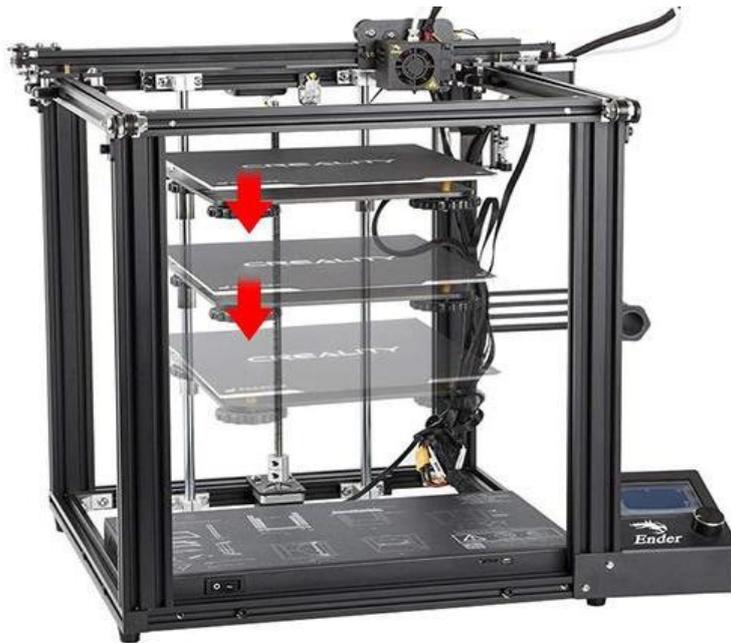
*Ilustración 3: Sistema de posicionamiento de ejes ortogonal.*

Entre las principales especificaciones que se buscan cumplir son: la velocidad de impresión; Ensamblable y fácil de calibrar; que esté pensada para usuarios inexpertos en el tema; que no apunte a un uso industrial; que tenga una buena mantenibilidad; que sea una impresora FDM de tres ejes; volumen de impresión en forma de prisma (220x220x300) y que sea económica.

### 2.2. Movimiento de los ejes: Zona de impresión en Z, con cabezal en XY

El movimiento de los ejes determina en qué dirección de los tres ejes se mueve cada componente móvil (Cabezal y cama).

Se decidió que el cabezal se mueve en un plano horizontal XY, mientras que la zona de impresión se desplaza en sentido vertical.



*Ilustración 4: Movimiento de ejes. Cabezal en XY y mesa en Z.*

Entre las principales especificaciones que se buscan cumplir son: creación de un recinto semicerrado; velocidad de impresión 80-100 mm/s; Ensamblable; estructura metálica, plástica o de materiales compuestos.

**2.3. Sistema de transmisión eje Z: Tornillo de potencia**

El sistema de transmisión del eje Z determina mediante qué elementos mecánicos se realiza el movimiento de la mesa de impresión.

Se decidió utilizar un tornillo de potencia junto a dos guías lineales en el otro extremo que acompañan al movimiento.



*Ilustración 5: Sistema de transmisión eje Z. Tornillo de potencia.*

Entre las principales especificaciones que se buscan cumplir son: Precisión del movimiento en Z; Confiabilidad y amigable con el usuario ya que requiere menor mantenimiento; Seguridad ante el corte de la energía eléctrica.

#### 2.4. Sistema de transmisión eje XY: Movimiento cartesiano con poleas

El sistema de transmisión del eje XY determina mediante qué elementos mecánicos se realiza el movimiento del cabezal de impresión.

Se decidió por un sistema de transmisión por correas dentadas. Se utilizarán 4 correas para mantener la rectitud en el movimiento y así evitar que el cabezal se cruce. Como enmarca la Ilustración 6, las correas rojas transmiten el movimiento al cabezal en el “eje Y” y las azules en el “eje X”, cada una con un motor independiente.

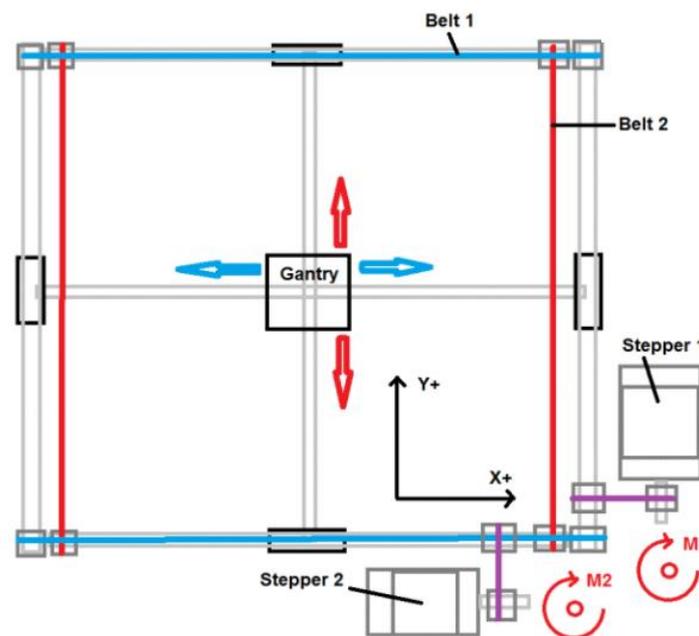


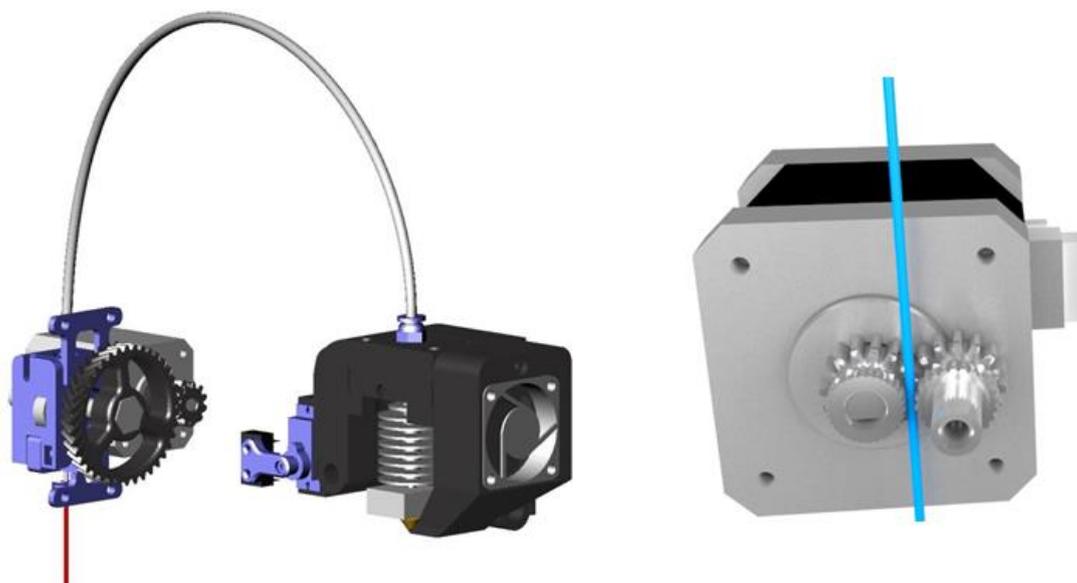
Ilustración 6: Sistema de transmisión XY. Movimiento con correas.

Entre las principales especificaciones que se buscan cumplir son: Costo total; Volumen de impresión 220x220x300m; Confiabilidad y amigable para el usuario; Velocidad de impresión.

#### 2.5. Sistema de Extrusión: Sistema Bowden con sistema de tracción de dos engranajes

El sistema de extrusión es el conjunto de elementos que empujan el filamento hacia la zona caliente y la boquilla.

El sistema Bowden separa el mecanismo de extrusión del filamento del cabezal, dejándolo firme contra la estructura de la impresora y bajando el peso del cabezal. El sistema de tracción está constituido por dos engranajes que empujan el filamento hacia el cabezal.



*Ilustración 7: Sistema de extrusión tipo Bowden.*

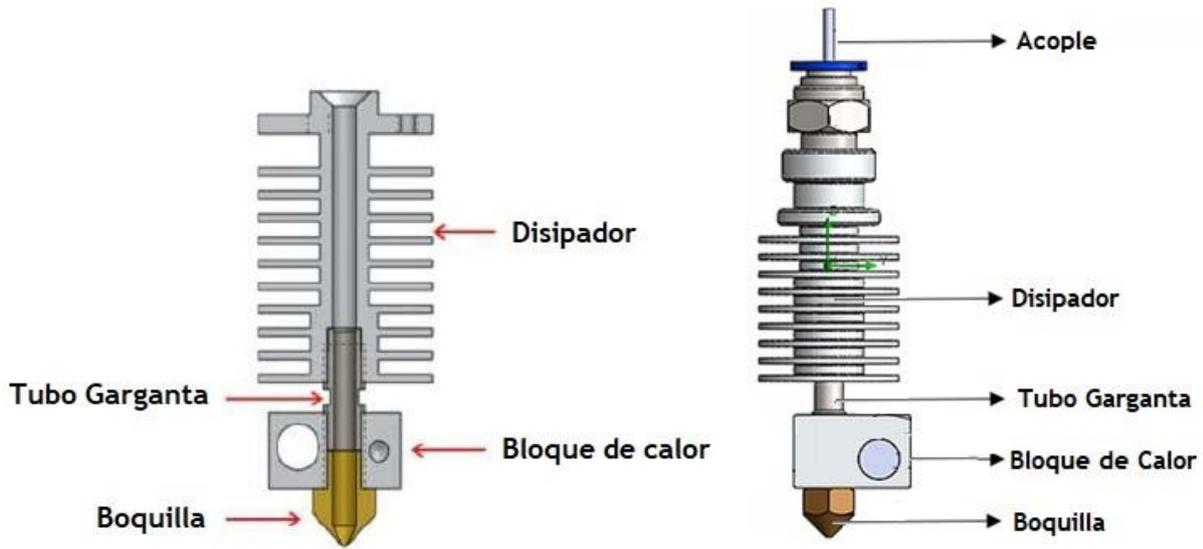
Entre las principales especificaciones que se buscan cumplir son: Velocidad de impresión; Recinto cerrado; Filamento comercial y compatible con filamentos genéricos o alternativos; Confiable y amigable con el usuario.

### **2.6. Cabezal: Doble extrusor con un bloque de calor**

El cabezal es el elemento móvil en donde ocurre la inyección del material. El conjunto cabezal se compone de distintos elementos que se muestra en la Ilustración 8.

Entre las principales especificaciones que se buscan cumplir son: Doble extrusor; Diámetro de filamento comercial; Accesibilidad a diferentes boquillas; Compatible con filamentos genéricos o alternativos.

Se



*Ilustración 8: Partes del cabezal.*

decidió utilizar un sistema con un bloque de calor único, en el cual convergen ambos filamentos. Esta disposición permite imprimir en dos colores utilizando una sola boquilla, y como los filamentos se mezclan en el bloque de calor, permite realizar una mezcla de colores logrando un degradé de colores en la impresión.



*Ilustración 9: Doble extrusión con un bloque de calor.*

### 2.7. Tubo garganta: Acero inoxidable con teflón

El tubo garganta permite la unión entre el dissipador y el bloque con una mínima transferencia de calor por conducción.

Se decidió por un tubo de acero inoxidable con teflón por donde circula el filamento. Este tipo de espárrago permite que el filamento no se atasque durante la impresión, ya que las paredes del tubo de teflón pueden ceder un poco permitiendo la expansión del filamento y además genera menos rozamiento que un tubo de metal.



*Ilustración 10: Acero inoxidable con teflón.*

Entre las principales especificaciones que se buscan cumplir son: Compatible con filamentos genéticos o alternativos; Diámetro de filamento comercial; Temperatura máxima del extrusor de 280°C.

### 2.8. Acople: Acople rápido Racord

El acople es la entrada del filamento al cabezal. Permite una entrada suave al material, funcionando de guía para que no se trabe ni desgaste. El acople rápido (racord) se ajusta a rosca al dissipador, por lo que tiene una sujeción más firme.

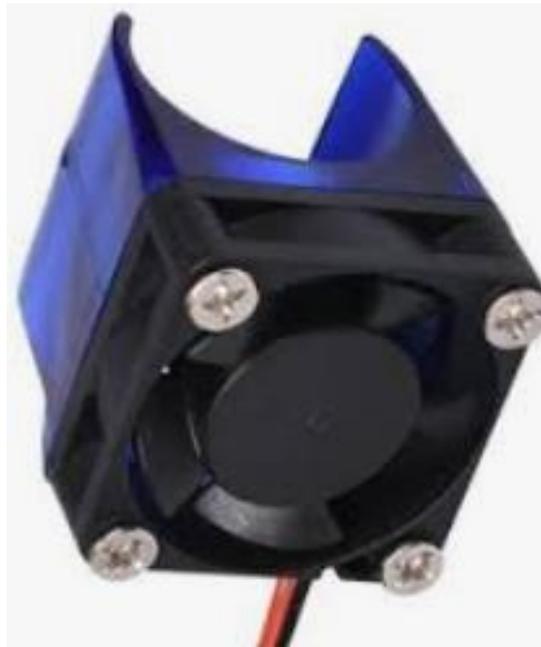
Entre las principales especificaciones que se buscan cumplir son: Uso de herramientas estándar; Tiempo de puesta a punto: Menor a 20min; Diámetro de filamento comercial.



*Ilustración 11: Acople roscado.*

### **2.9. Cooler disipador: Cooler encapsulado**

Se utiliza un cooler para ayudar a refrigerar el disipador ya que no es suficiente el calor disipado sin una ventilación forzada. El cooler encapsulado puede sujetarse con el mismo a presión con facilidad.



*Ilustración 12: Cooler encapsulado.*

Entre las principales especificaciones que se buscan cumplir son: Temperatura máxima del extrusor de 280°C.

### 2.10. Boquilla: Boquilla de Latón

La boquilla es el componente por donde se inyecta el material.

Se decidió por una boquilla de latón debido a que cuenta con una gran conductividad y estabilidad térmica, además de su facilidad de mecanizado y precio económico.



*Ilustración 13: Boquilla de latón.*

Entre las principales especificaciones que se buscan cumplir son: Accesibilidad a diferentes boquillas; Diámetro de filamento comercial; Compatible con filamentos genéricos o alternativos.

### 2.11. Motores: Motores Paso a paso

Los motores se utilizan para realizar los movimientos tanto para el eje Z como para el movimiento del cabezal en XY.

Se decidió por motores paso a paso ya que son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos, ya que pueden moverse a deseo del usuario según la secuencia que se les indique a través de un microcontrolador.

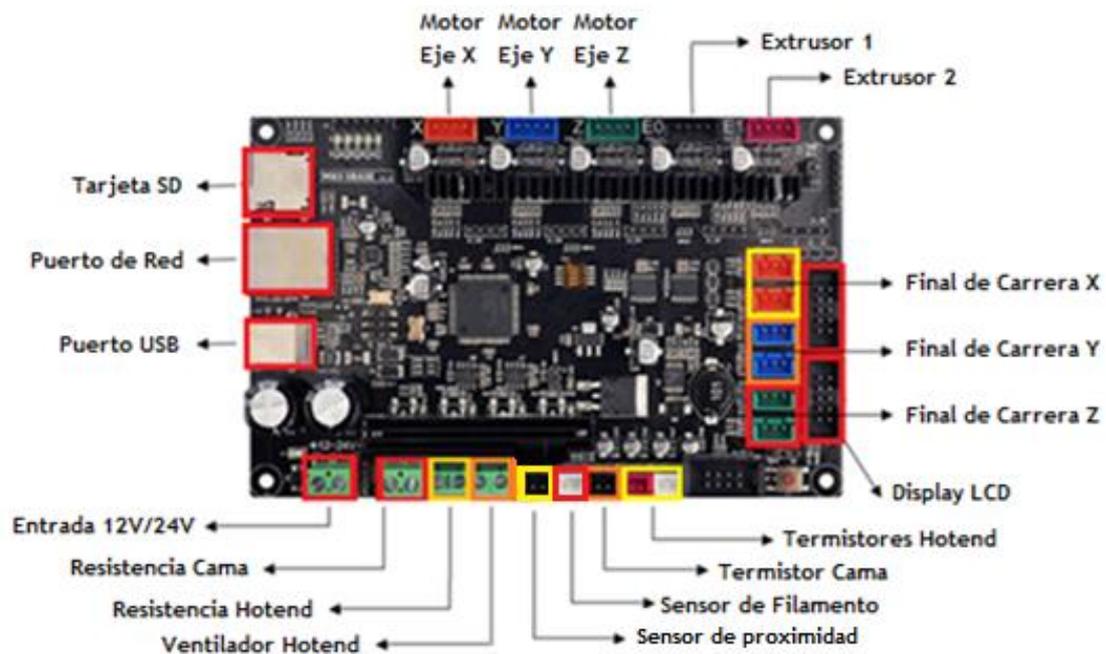
Entre las principales especificaciones que se buscan cumplir son: Precisión del movimiento; Costo total; Consumo eléctrico.



Ilustración 14: Motores paso a paso.

### 2.12. Microcontrolador: MKS Base v1.3

El microcontrolador puede resumirse como la computadora o el cerebro de la impresora 3D, ya que es el responsable del control de los componentes electrónicos. La misma cuenta con un procesador de 32 bits, 5 salidas para los motores paso a paso (dos para los extrusores), conexasión a una pantalla LCD, drivers DRV8825, conexasión USB, por tarjeta SD y cable de red.



Entre las principales especificaciones que se buscan cumplir son: Precisión del movimiento; Conectividad de información no inalámbrica; Énfasis en el censado de temperatura; interfaz con el usuario amigable por medio de una pantalla; compatible con software de código libre.

### 2.13. Cama caliente: Mesa de vidrio y sostén de aluminio

La mesa caliente es el componente en donde se deposita el material formando la pieza final.

Se definió que el material de la mesa sea de vidrio. Una placa de aluminio une el sistema de transmisión de eje Z con la mesa, funcionando de soporte para el vidrio. Por último, el calentamiento se realiza por medio de una placa de silicona adherida al aluminio.



*Ilustración 15: Placa de silicona.*

La principal especificación que se buscan cumplir es: Temperatura máxima de la cama de 110°C.

### 2.14. Resistencia del extrusor: Resistencia cartucho

La resistencia del extrusor es el componente electrónico que calienta el material en el cubo de calor.

Se utilizará una resistencia cartucho de 40W que permite el calentamiento a aproximadamente 300°C en un minuto.

La principal especificación que se buscan cumplir es: Temperatura de máxima del extrusor de 280°C.



*Ilustración 16: Resistencia cartucho.*

### 2.15. Pantalla LCD: Con sistema de botonera

La pantalla LCD es la forma de comunicación e interacción más sencilla y practica que puede tener el usuario con la impresora. En este caso, esa interacción se realiza por medio de un joystick con botonera.



*Ilustración 17: Pantalla LCD con botonera.*

Entre las principales especificaciones que se buscan cumplir son: Interfaz con el usuario amigable por medio de una pantalla; Compatibilidad con software libre; Costo total.

### 2.16. Final de carrera: Mecánico

Se utilizará un final de carrera mecánico para delimitar y referenciar las dimensiones de la cama caliente.



*Ilustración 18: Final de carrera mecánico.*

Entre las principales especificaciones que se buscan cumplir son: Volumen de impresión de 220x220x300; Recinto semicerrado; Confiabilidad al usuario.

### 2.17. Sensor de temperatura: Termistor NTC 100k

El sensor de temperatura es necesario en el cabezal de impresión y en la cama caliente.

Satisfaciendo la necesidad del rango de temperatura y confiabilidad, se decidió utilizar un termistor NTC 100k. Su rango de temperatura es de 0-280°C y tiene un precio de mercado de 1 dólar.



*Ilustración 19: Termistor NTC 100k.*

Entre las principales especificaciones que se buscan cumplir son: Temperaturas del extrusor y de la cama máximas; Énfasis en el censado de la temperatura; Costo total.

### 2.18. Sensor de proximidad: BL Touch

El sensor de proximidad permite referenciar la cama caliente con la boquilla del cabezal.

BLTouch es un sensor mecánico que posee una aguja retráctil, diseñado para la nivelación de impresoras 3D. Puede funcionar con todo tipo de superficies de mesas de impresión, como vidrio u otros materiales.

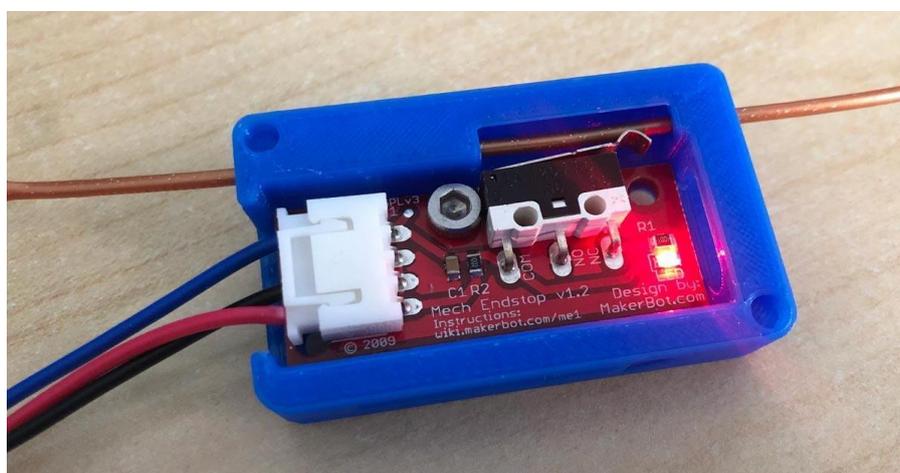


*Ilustración 20: BLTouch. Sensor de proximidad mecánico con punta retráctil.*

Entre las principales especificaciones que se buscan cumplir son: Precisión en el movimiento; Nivelación de la cama automática; Precio total; Tiempo de puesta a punto menor a 20min; Compatible con software de código libre; Consumo eléctrico menor a 400W.

### 2.19. Sensor de filamento: Sensor mecánico

El sensor de filamento permite reconocer cuando la impresora se queda sin material. Este tipo de sensor consta de un final de carrera el cual detecta la presencia o ausencia del filamento. El costo aproximado de este tipo de sensor es de 3 USD.

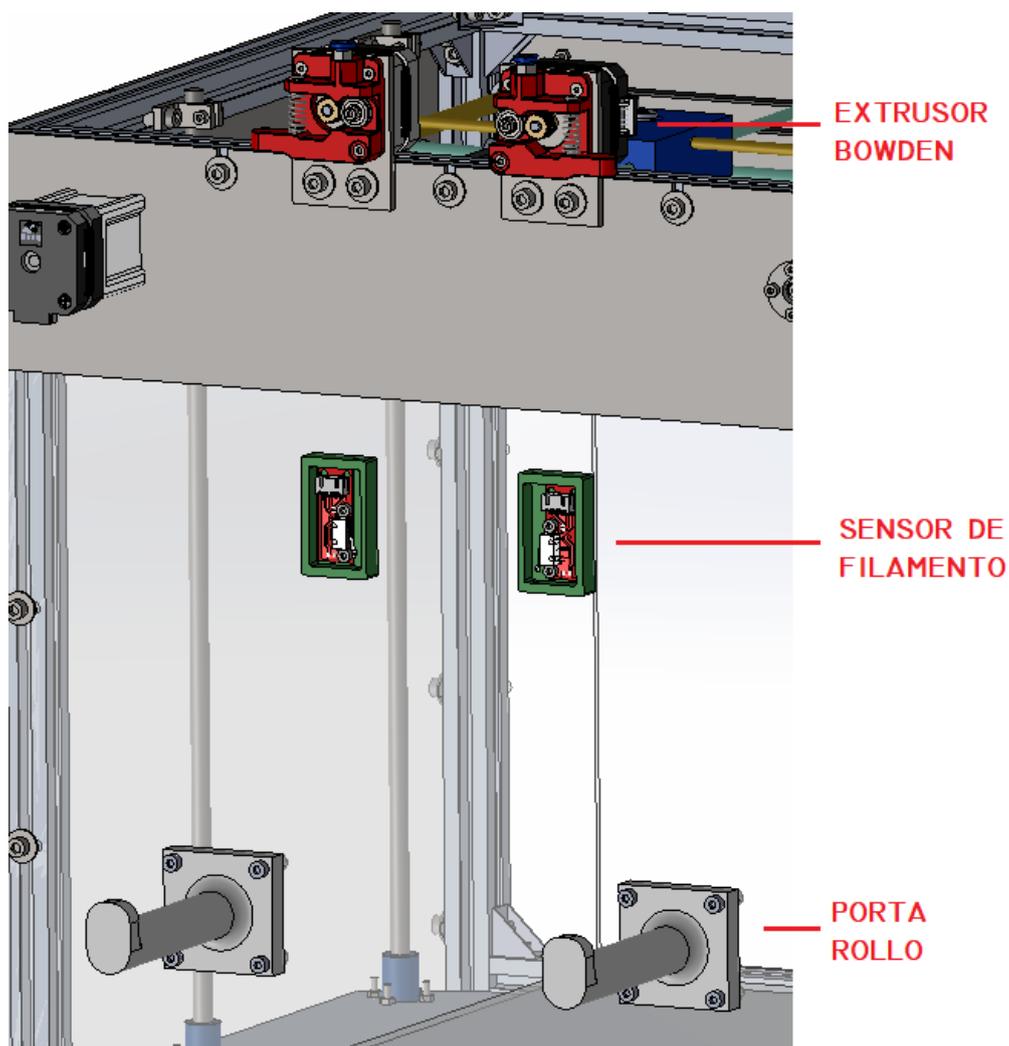


*Ilustración 21: Sensor Mecánico*

Entre las principales especificaciones que se buscan cumplir son: Confiabilidad al usuario; Compatible con software de código libre; Compatible con diámetros comerciales: Bajo costo.

### 2.20. Porta Rollo

Se decidió por soportes individuales para cada rollo ubicados directamente debajo del sensor de filamento y del extrusor bowden para generar una dirección clara y simple del material.



*Ilustración 22: Porta rollo.*



# PROYECTO FINAL

## Impresora 3D

### *ETAPA 4: Ing. Detalle*

**UTN - Facultad Regional Delta**

**Departamento de Ingeniería Mecánica**

**Ing. Fernando Maidana - Ing. Julio Basualdo**

**Alumnos:**

**FERRER, Braian - NASI, Franco - TORRANO, Federico**

**Versión 3 - Abril 2023**

**Índice de Contenidos:**

1. Cálculos de la Electrónica.....	2
1.1. Potencia de la fuente .....	2
1.2. Ubicación BLTouch.....	3
1.3. Potencia Motores Ejes XY .....	5
1.4. Potencia Motor Eje Z .....	7
1.5. Precisión del movimiento .....	9
2. Cálculos de la Estructura .....	10
2.1. Flexión en Travesaños (Cabezal) .....	10
2.2. Rotura en Travesaños (Cabezal) .....	13
2.3. Fatiga en Travesaños (Cabezal).....	16
2.4. Flexión en ejes .....	18
2.5. Rotura en ejes .....	21
2.6. Análisis de Resistencia Estructura .....	23
2.7. Flexión en la mesa .....	25
3. Componentes.....	27
3.1. Altura de capa .....	27
4. Lista de planos .....	28

## 1. Cálculos de la Electrónica

### 1.1. Potencia de la fuente

Para la elección de la fuente de alimentación se tuvo en cuenta la cantidad de potencia que va a necesitar para alimentar a todos los componentes.

- Cama caliente 220x220mm (12V | 10A | 1.2Ω) = **120W**
- Resistencia punta caliente (Hot end) 12V | 3.3A = **40W**
- 5 motores paso a paso, cada uno consumiendo 12V | 1A ≈ **60W**.
- Microcontrolador aproximadamente 100mA | 12V = **1.2W**
- Sensores 12V | 0.4A = **Aprox. 5W**
- Display LCD = **Aprox. 10W**
- 2 Coolers 12V | 200mA (electrónica) y 1 Cooler 12V | 100mA (cabezal) = **5W**

La suma total de los valores promedios es de 250W. Se toma un factor de seguridad de 0,8 recomendado para impresoras 3D. Esto se debe a que las impresoras 3D suelen funcionar continuamente por mucho tiempo, tienen cargas variables (componentes que prenden y apagan) y son de aplicación crítica, ya que un fallo en la energía arruinaría el trabajo en el que se está trabajando. Por lo tanto, el consumo teórico resulta:

$$Potencia = \frac{250W}{0.8} = \mathbf{312.5W}$$

La fuente elegida es de 12V | 30A que da como resultado una potencia de 360W, suficiente para abastecer a todos los componentes de la impresora con un coeficiente de seguridad de 0,8.

Esto cumple con la especificación de consumo eléctrico menor a 400W.

### 1.2. Ubicación BLTouch

El sensor BLTouch tiene que estar ubicado a una cierta distancia respecto de la boquilla para funcionar correctamente.

La ficha técnica muestra las tolerancias del producto, así como la posición del sensor al estar extendido. La Ilustración 1 muestra las medidas del componente para poder realizar los cálculos y colocarlo de manera precisa.

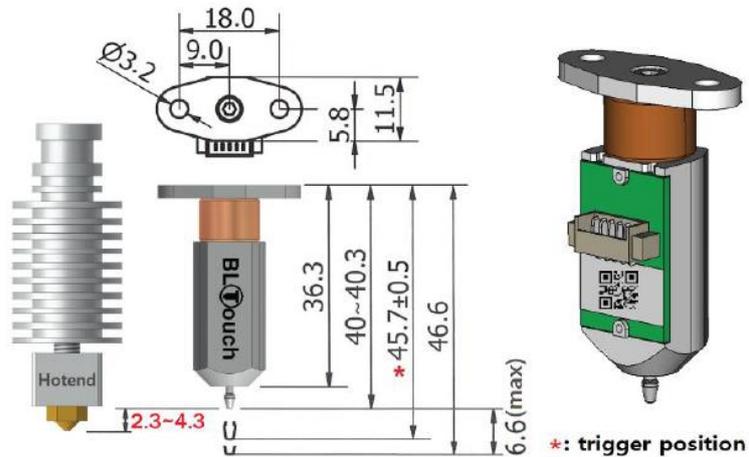


Ilustración 1: Diagrama de BLTouch.

Teniendo en cuenta los datos de la ficha técnica, se calculó que largo tiene que tener el soporte para que el sensor quede en rango de trabajo.

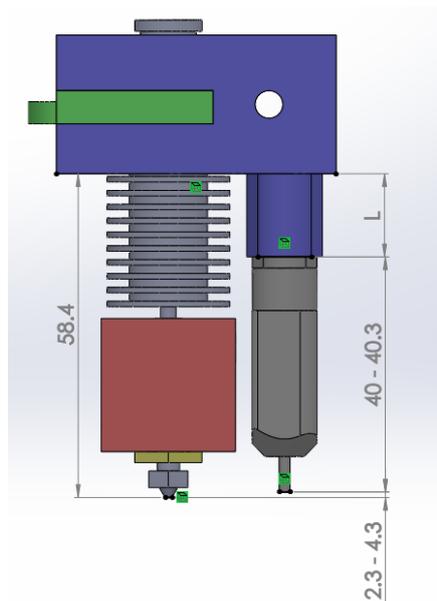


Ilustración 2: Diagrama de dimensiones del cabezal.

Tomando una distancia "L" de 15mm, la distancia entre hotend y BLTouch quedaría:

$$\begin{cases} D_{\text{mín}} = 58.4\text{mm} - 55.3\text{mm} = \mathbf{3.1\text{ mm}} = \mathbf{D_{\text{mín}}} \\ D_{\text{máx}} = 58.4\text{mm} - 55\text{mm} = \mathbf{3.4\text{ mm}} = \mathbf{D_{\text{máx}}} \end{cases}$$

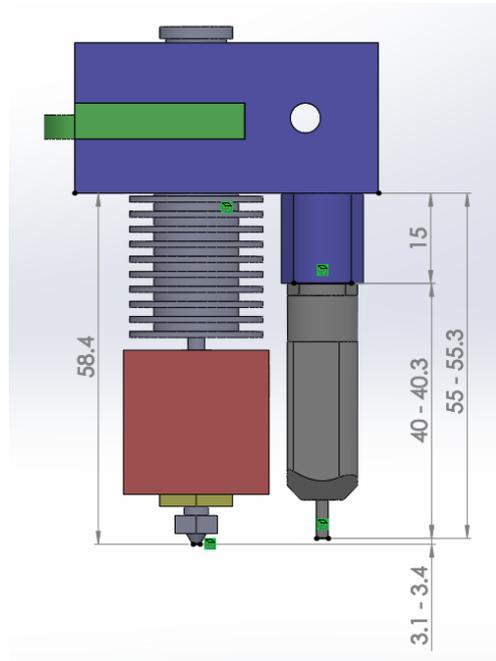


Ilustración 3: Dimensiones Cabezal con L=15mm

Estos valores, de 3,1 - 3,4mm, se encuentran dentro del intervalo especificado en la ficha técnica (2,3 - 4,3 mm).

### 1.3. Potencia Motores Ejes XY

Ambas direcciones de movimiento X e Y tiene su propio motor independiente y las sollicitaciones son las mismas para ambos. El cálculo se realizará suponiendo que un motor tiene que mover peso de las piezas móviles por completo.

Primero es necesario conocer la velocidad angular máxima que va a requerir el motor para generar una velocidad lineal buscada. En promedio las impresoras trabajan con velocidades de impresión de 40-60 mm/s. En nuestro diseño queremos lograr velocidades de 80-90mm/s. Por lo tanto, vamos a realizar el cálculo para una velocidad lineal de impresión de 150mm/s.

$$Freq = \frac{V_{lineal}}{2\pi \cdot R_p} = \frac{150mm/s}{2\pi \cdot 5mm} \cdot \frac{60s}{min} = Freq = 286 rpm$$

Tomando la medida de la polea GT2 de 10mm de diámetro. Podemos ver que para una velocidad de 150 mm/s, la velocidad de giro del motor es de 286rpm.

A continuación, se realizará el cálculo del torque necesario para mover el cabezal y las partes móviles. Para ser conservativo, se tomará que el peso del cabezal y todas las partes móviles es de 1Kg y además que la fuerza de tensión de la correa es el doble de lo calculado.

En los parámetros recomendados para impresiones, la aceleración lineal va desde los 2500mm/s<sup>2</sup> a 3000mm/s<sup>2</sup>, tomaremos un valor de 5000 mm/s<sup>2</sup>. Con este parámetro, calculamos la fuerza de tensión de la correa y el torque necesario para realizar el movimiento.

Para empezar, calcularemos la fuerza de cada ramal:

$$a_{lineal} = 5 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{ramal} = m \cdot a_{lineal} + F_{roz} = m \cdot a_{lineal} + \mu \cdot m \cdot g$$

Suponiendo un coeficiente de rozamiento de 0,1:

$$F_{ramal} = 1Kg \cdot 5 \frac{m}{s^2} + 0.1 \cdot 1Kg \cdot 9.8 \frac{m}{s^2} = 5.98N \approx 6N = F_{ramal}$$

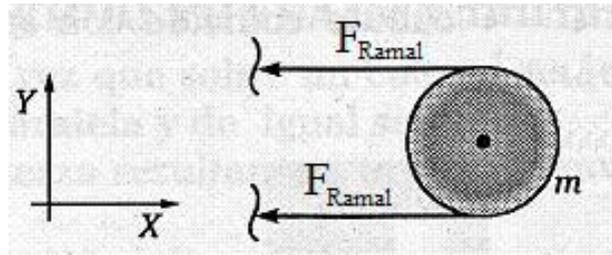


Ilustración 4: Diagrama de Cuerpo Libre Poleas.

El torque que se genera sobre la polea finalmente, usando el doble de la fuerza de tensado para ser conservativo, es:

$$\text{Torque} = 2 \cdot (Rp \cdot (2 \cdot F_{ramal})) = 4 \cdot 0.005m \cdot 6N$$

$$\text{Torque} = 0.060Nm$$

Como se especifica en los cálculos el motor escogido tiene que superar una velocidad angular de 286 rpm y tener torque superior a 0,06 Nm a esa velocidad.

El motor elegido es el motor paso a paso de la marcha Schneider modelo M-1713-1.5. Es un motor Nema 17 de 1,5A. En la conexión a 24v utilizada, cumple los requerimientos de torque y velocidad angular.

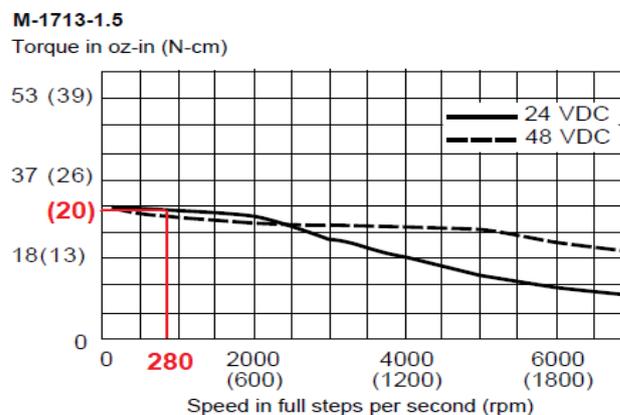


Ilustración 5: Torque en función de la velocidad angular.

Es un modelo muy utilizado en la gama de impresoras 3D, por lo tanto, tiene una gran disponibilidad y una buena relación calidad-precio. Podemos ver que tiene un torque de 0,20Nm (20Ncm) a una velocidad de 280rpm, por lo que es suficiente para lograr mover el cabezal sin problemas. Además, la gama de velocidades le permite girar a la velocidad máxima calculada y a mayor velocidad si lo requiere.

### 1.4. Potencia Motor Eje Z

Es necesario conocer el torque que requiere el motor para el ascenso y descenso de la carga para decidir el tipo de motor a utilizar.

El tornillo de potencia utilizado tiene un diámetro de 8mm, rosca ACME, paso de 8mm de 4 entradas (2mm paso por entrada). La tuerca de bronce utilizada tiene un diámetro de collarín de 22mm. El valor del módulo de fricción entre acero y bronce utilizado es de 0.18.

Al girar a bajas revoluciones, la tuerca no va a requerir lubricación adicional.

Para ser conservativo, suponemos un peso de 2Kg en la mesa (20N).

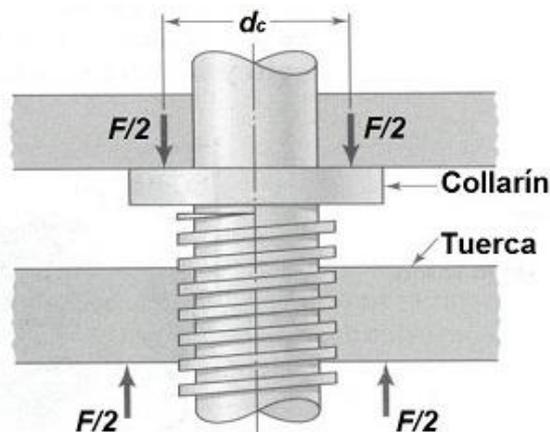


Ilustración 6: Representación de Tornillo de Potencia.

El par total necesario para subir una carga es:

$$T_{ascenso} = \frac{F \cdot dm}{2} \cdot \frac{(p + \pi \cdot \mu \cdot dm)}{(\pi \cdot dm - \mu \cdot p)} + \frac{\mu_c \cdot dc}{2} \cdot F$$

Y el par total necesario para descender la carga es:

$$T_{descenso} = \frac{F \cdot dm}{2} \cdot \frac{(\pi \cdot \mu \cdot dm - p)}{(\pi \cdot dm + \mu \cdot p)} + \frac{\mu_c \cdot dc}{2} \cdot F$$

Utilizando la herramienta de cálculo de Microsoft Excel, obtenemos:

Variables		
F	20	N
dm	0.008	m
paso	0.008	m
μ	0.18	
dc	0.022	m

Torque Subida	0.0819 Nm	8.189 Ncm
Torque Bajada	0.0291 Nm	2.913 Ncm

Tabla 1: Torque necesario Tornillo de Potencia.

Para la elección del motor también es necesario conocer la velocidad angular máxima que va a requerir el motor para generar una velocidad lineal buscada. En promedio las impresoras trabajan con velocidades de impresión de 3-5 mm/s en el eje Z. Esto se debe a que cada vez que se mueve es para subir una altura de capa. Como esas distancias están en el orden de 0,1 - 0,4mm, no tienen tiempo para alcanzar mayores velocidades. Por lo tanto, vamos a realizar el cálculo para una velocidad lineal de impresión de 5mm/s.

$$Freq = \frac{V_{lineal}}{2\pi \cdot R_p} = \frac{5mm/s}{2\pi \cdot 4mm} \cdot \frac{60s}{min} = Freq = 12 rpm$$

Para unificar la compra de motores, utilizando el mismo motor *Nema 17 13-1.5* que se utiliza en los ejes X e Y, podemos ver que cumple los requisitos de torque para la velocidad angular máxima.

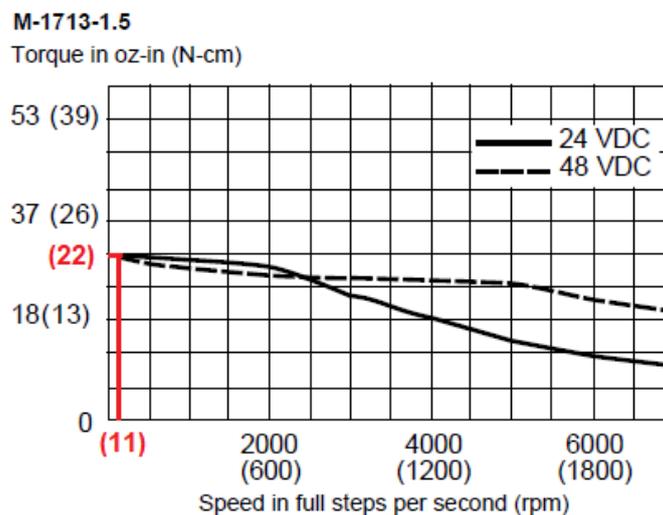


Ilustración 7: Torque en función de la velocidad angular.

Necesitamos un torque de 8.2 Ncm y el motor nos brinda un torque de 22 Ncm a la velocidad angular máxima utilizada. Además, mantiene un torque superior aun a velocidades angulares mayores, lo que nos permite lograr un descenso de la mesa a una velocidad superior.

## 1.5. Precisión del movimiento

Las variables que definen la precisión del movimiento son: el avance por vuelta y el ángulo mínimo que puede dar el motor.

Para el eje Z, los parámetros son los siguientes:

El tornillo tiene un paso de 2mm con 4 hilos resultando en un paso real de 8mm por vuelta.

El microprocesador MKS Base V1.3 tiene un paso de  $1,8^\circ$  (200 pasos por vuelta) y contiene integrados drivers (pololus) DRV8825 que permiten micro-pasos de 1/32 de un paso completo.

Con esta configuración, el motor puede posicionarse cada  $0.05625^\circ$ , logrando un avance mínimo por micro paso es de  $1,25\mu\text{m}$ .

$$Avance = \frac{\text{Paso}}{\text{Cant. micro - pasos por vuelta}} = \frac{8\text{mm}}{200 \cdot 32} = 0.00125\text{mm} = \mathbf{1,25\mu\text{m}}$$

Para los ejes XY, los parámetros son los siguientes:

El avance por vuelta depende del perímetro de la correa que tiene un diámetro medio de 12mm.

Al tratarse del mismo microprocesador, la cantidad de micro-pasos por vueltas es la misma que en el eje Z, resultando un avance mínimo de  $5,89\mu\text{m}$ .

$$Avance = \frac{\text{Perimetro}}{\text{Cant. micro - pasos por vuelta}} = \frac{\pi \cdot 12\text{mm}}{200 \cdot 32} = 0.00589\text{mm} = \mathbf{5,89\mu\text{m}}$$

De esta manera se cumple el requisito de una precisión de movimiento mínimo de  $10 \times 10 \times 5 \text{ micrones}$  especificado en la etapa II.

## 2. Cálculos de la Estructura

Para cumplir con la especificación planteada en la Etapa II de la altura de capa mínima de  $100\mu\text{m}$ , es necesario que el desplazamiento acumulado que presenta que el cabezal, en su punto máximo, este por debajo de este valor.

El desplazamiento va a depender de la flexión de los travesaños que sostienen el cabezal y de la flexión del eje que sostiene los carros. Cabe destacar que el sensor BLTouch permite realizar correcciones respecto a las variaciones de altura en la cama del orden de  $0,001-0.05\text{mm}$ .

### 2.1. Flexión en Travesaños (Cabezal)

El peso del cabezal genera una flexión en los travesaños que lo sostienen y, por lo tanto, modifica la posición real de la boquilla.

La hipótesis de carga se planteó como una barra apoyada en ambos extremos con una carga puntual en el medio (posición más desfavorable).

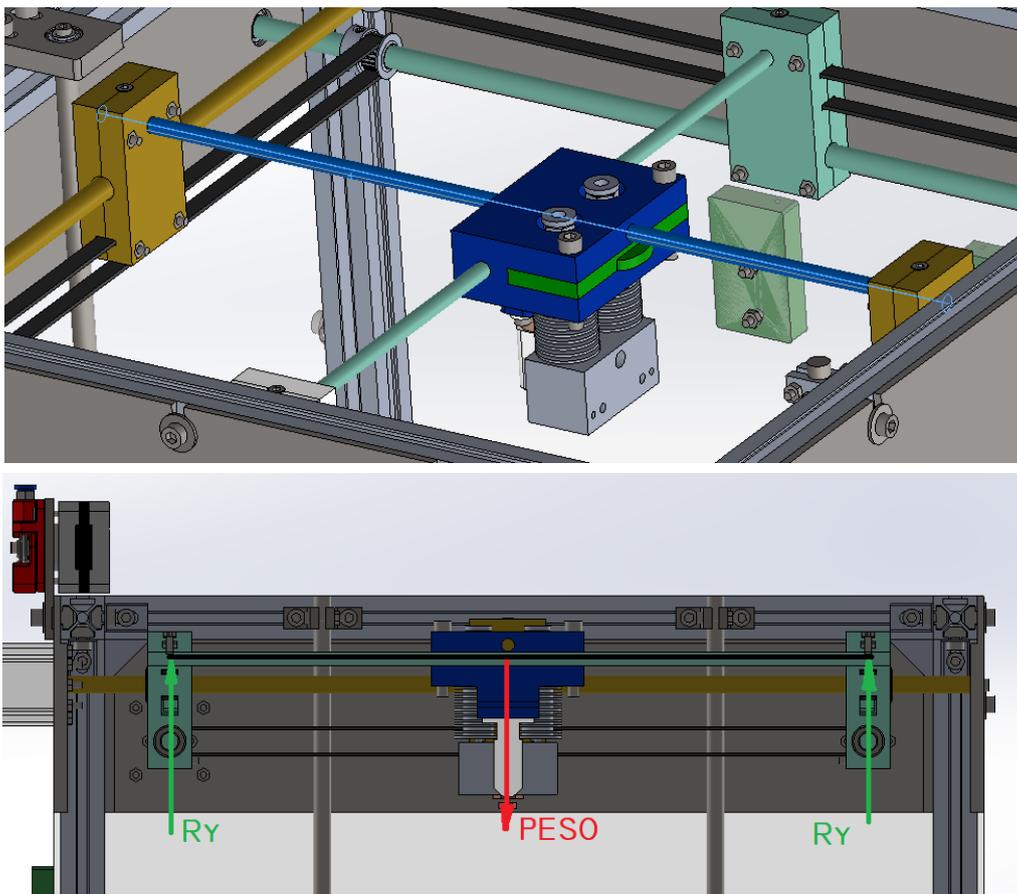


Ilustración 8: Representación de fuerzas. Travesaño.

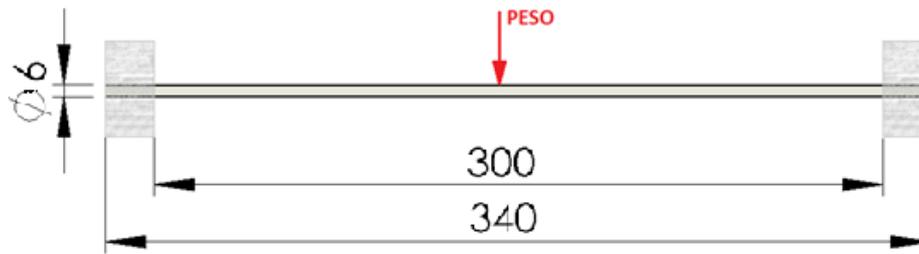
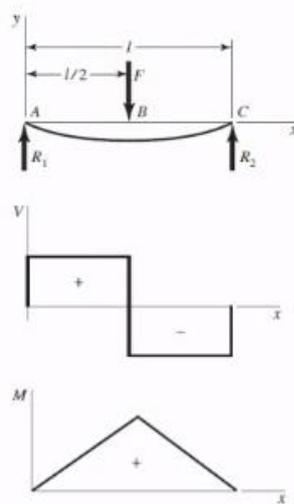


Ilustración 9: Dimensiones generales.

Teniendo en cuenta la referencia encontrada en el libro “Diseño en Ingeniería Mecánica - Shigley - 9na Edición”, pág. 971, se realizó el cálculo de la flexión presente.

**Tabla A-9**

Cortante, momento y deflexión de vigas (continuación)  
 (Nota: La fuerza y las reacciones de momento son positivas en las direcciones que se muestran; las ecuaciones de la fuerza cortante  $V$  y el momento cortante  $M$  siguen las convenciones de signos que se dieron en la sección 3-2.)



$$R_1 = R_2 = \frac{F}{2}$$

$$V_{AB} = R_1 \quad V_{BC} = -R_2$$

$$M_{AB} = \frac{Fx}{2} \quad M_{BC} = \frac{F}{2}(l-x)$$

$$y_{AB} = \frac{Fx}{48EI}(4x^2 - 3l^2)$$

$$y_{\max} = -\frac{Fl^3}{48EI}$$

**Tabla A-4**

Unidades SI opcionales de deflexión por flexión  $y = f(Fl^3/EI)$  o  $y = f(wl^4/EI)$  y deflexión por torsión  $\theta = Tl/GJ$

Deflexión por flexión					Deflexión por torsión				
$F, wl$	$l$	$I$	$E$	$y$	$T$	$l$	$J$	$G$	$\theta$
N <sup>+</sup>	m	m <sup>4</sup>	Pa	m	N · m <sup>+</sup>	m	m <sup>4</sup>	Pa	rad
kN <sup>+</sup>	mm	mm <sup>4</sup>	GPa	mm	N · m <sup>+</sup>	mm	mm <sup>4</sup>	GPa	rad
kN	m	m <sup>4</sup>	GPa	μm	N · mm	mm	mm <sup>4</sup>	MPa (N/mm <sup>2</sup> )	rad
N	mm	mm <sup>4</sup>	kPa	m	N · m	cm	cm <sup>4</sup>	MPa (N/mm <sup>2</sup> )	rad

Se toma el Módulo de elasticidad del acero al carbono:

**Tabla A-5**

Constantes físicas de materiales

Material	Módulo de elasticidad $E$		Módulo de rigidez $G$		Relación de Poisson $\nu$	Peso específico $w$		
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa		lbf/pulg <sup>3</sup>	lbf/ft <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>
Aluminio (todas las aleaciones)	10.4	71.7	3.9	26.9	0.333	0.098	169	26.6
Cobre al berilio	18.0	124.0	7.0	48.3	0.285	0.297	513	80.6
Latón	15.4	106.0	5.82	40.1	0.324	0.309	534	83.8
Acero al carbono	30.0	207.0	11.5	79.3	0.292	0.282	487	76.5
Hierro fundido (gris)	14.5	100.0	6.0	41.4	0.211	0.260	450	70.6

El cabezal pesa 300 gramos, pero al estar sostenido por dos travesaños, se supone que la carga se divide. La longitud entre los apoyos en los carros es de 300mm, el material es acero y el diámetro 6mm.

Realizando el cálculo en el software de Microsoft Excel, obtenemos:

Flexión de Travesaños			
P	Fuerza	150	[gr]
		1,4715	[N]
Ø	Diametro	6	[mm]
L	Longitud	300	[mm]
E	Modulo de Young	207	[Gpa]
I	Momento de Inercia	63,62	[mm <sup>4</sup> ]

Flexión	
0,063	[mm]
62,85	[mm]

Ilustración 10: Cálculos de Flexión en Travesaños.

Por lo tanto, la flexión esperada en el travesaño es de 63µm para la condición más exigente.

Como se explicó anteriormente, el desplazamiento total del cabezal va a depender de la flexión de los travesaños que sostienen el cabezal y de la flexión del eje que sostiene los carros. Por lo tanto, el análisis de validación de este parámetro se desarrolla en la etapa 2.4.

## 2.2. Rotura en Travesaños (Cabezal)

Se analizó la situación mostrada en la sección 2.1, teniendo en cuenta el peso del cabezal sobre las varillas ante la rotura. Para este análisis se plantearon dos situaciones de mayores esfuerzos.

Situación 1:

Se planeo como una barra apoyada en ambos extremos con una carga puntual en el medio. El momento flector va a ser máximo pero las reacciones en los extremos van a ser  $F/2$ .

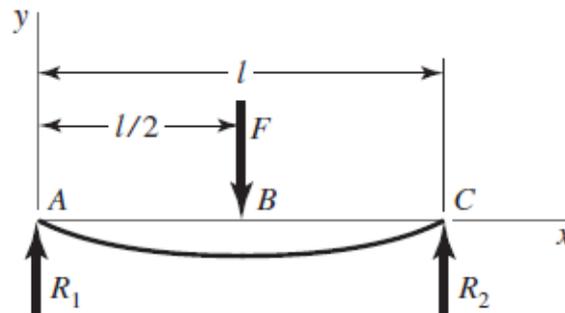


Ilustración 11: Situación de Carga 1. Travesaños.

Situación 2:

Se planteo el cabezal en una posición virtual justo encima del carro, donde la reacción en el carro es igual y opuesta al peso del cabezal.

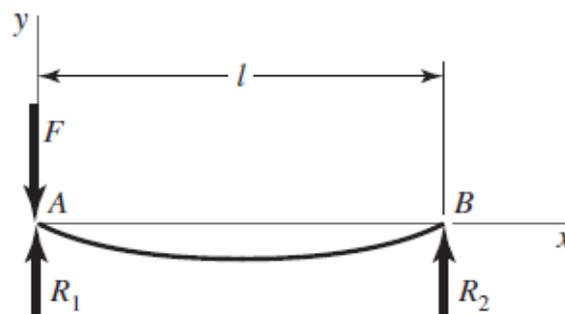


Ilustración 12: Situación de Carga 2. Travesaños.

Teniendo en cuenta la referencia encontrada en el libro “Diseño en Ingeniería Mecánica - Shigley - 9na Edición”, se realizaron los cálculos de las tensiones presentes. Se utilizará el criterio de rotura de Von Mises.

La varilla es de diámetro 6mm, el material acero 1045 trefilado en frío, el largo entre los apoyos de 300mm y se sometió a la varilla al peso completo del cabezal de 300 gramos.

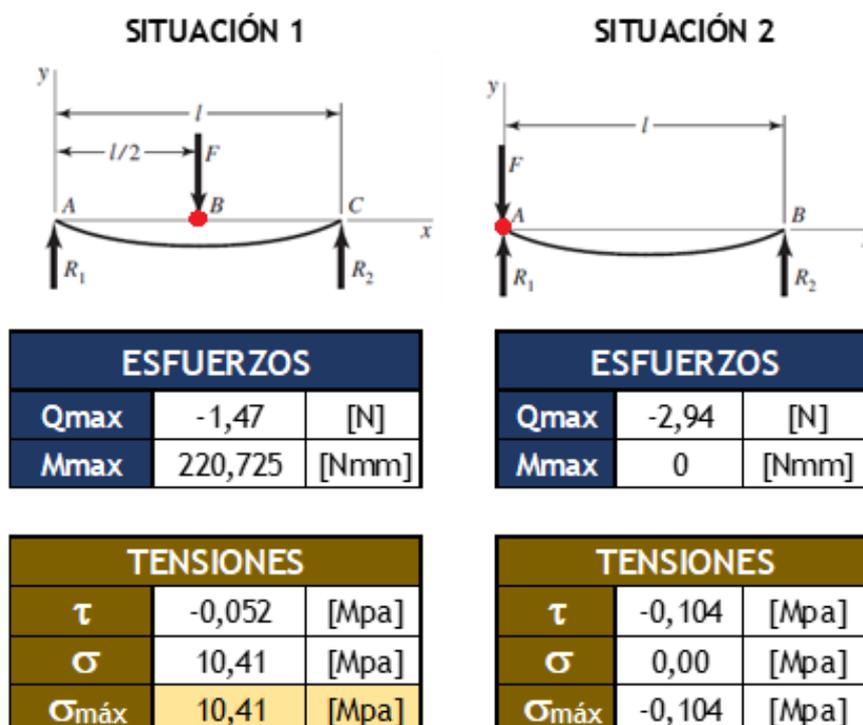
Datos iniciales:

Rotura en travesaño			
P	Fuerza	300	[gr]
		2,94	[N]
∅	Diametro	6	[mm]
L	Longitud	300	[mm]
E	Modulo de Young	207000	[Mpa]
A	Area	28,27	[mm <sup>2</sup> ]
I	Momento de Inercia	63,62	[mm <sup>4</sup> ]

Material Acero 1045			
Su	Resist. Rotura	630	MPa
Sy	Resist. Fluencia	530	MPa

Ilustración 13: Datos en travesaño.

Cálculos realizados en Microsoft Excel:



El punto crítico se ubica en el medio de la barra (l/2). En esa sección, se utilizan los gráficos de distribución de tensiones para elegir la fibra más solicitada. En este caso, serían las fibras exteriores.

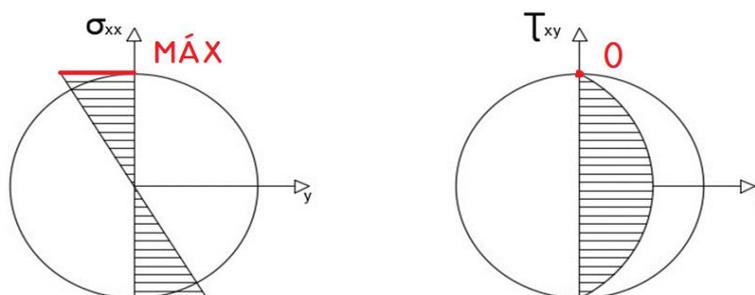


Ilustración 14: Distribución de Tensiones.

Podemos notar que la situación 1 presenta los mayores esfuerzos, sometiendo a la varilla a una tensión máxima de 10,41 MPa. Comparado con la tensión de fluencia del material, obtenemos que tiene un coeficiente de seguridad de 50.

### 2.3. Fatiga en Travesaños (Cabezal)

Debido a los constantes movimientos que debe realizar la impresora 3D para construir las diferentes piezas, se decidió estudiar el travesaño a la fatiga.

Para una pieza cúbica de 10cm de lado, tomando una altura de capa de 0,2mm, la impresora tiene que realizar aproximadamente 250.000 cambios de dirección. Como la cantidad de ciclos es elevada, se calculará la varilla a la vida infinita.

Para el caso de los aceros, la resistencia a la fatiga puede calcularse de la siguiente manera, siguiendo la referencia encontrada en el libro “Diseño en Ingeniería Mecánica - Shigley - 9na Edición”,

$$S'_e = \begin{cases} 0.5S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi (1 400 MPa)} \\ 100 \text{ kpsi} & S_{ut} > 200 \text{ kpsi} \\ 700 \text{ MPa} & S_{ut} > 1 400 \text{ MPa} \end{cases}$$

Sin embargo, el valor de  $S'_e$  es el obtenido de pruebas en probetas en un laboratorio. Para realizar el cálculo en las condiciones de trabajo del equipo, se debe ajustar por medio de coeficientes. La ecuación de Marin toma en cuenta estas situaciones:

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$$

Siendo:

- $k_a$ : factor de modificación por la condición superficial.
- $k_b$ : factor de modificación por el tamaño.
- $k_c$ : factor de modificación por la carga.
- $k_d$ : factor de modificación por la temperatura.
- $k_e$ : factor de confiabilidad.
- $k_f$ : factor de modificación por efectos varios.

Por lo tanto, se calculó la resistencia a la fatiga de la varilla para el equipo.

- $k_a$ : El material es laminado en frío
- $k_b$ : Se utilizó el tamaño efectivo de una sección redonda correspondiente a una sección redonda no rotativa.
- $k_c$ : La varilla está sometida a flexión.
- $k_d$ : Trabaja a temperatura ambiente.
- $k_e$ : Confiabilidad 1.
- $k_f$ : No es ambiente corrosivo. No hay efectos adversos.

Por lo tanto, la resistencia a la fatiga se calcula como:

DATOS			
Su	630	[Mpa]	límite a la rotura
Se'	315	[Mpa]	límite de resistencia a la fatiga
Ka	0,82	-	factor de modificación por la condición superficial
Kb	0,81	-	factor de modificación por el tamaño
Kc	1	-	factor de modificación por la carga
Kd	1	-	factor de modificación por la temperatura
Ke	1	-	factor de confiabilidad
Kf	1	-	factor de modificación por efectos varios
Se	209,22	[Mpa]	Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso.

Tabla 2: Coeficientes de Marin. Resistencia a la fatiga.

La tensión máxima a la que está sometida la varilla es de 10,41 MPa como se muestra en la Sección 2.2. Al estar la tensión sometida por debajo del límite de fatiga para vida infinita (ciclos  $>10^7$ ), podemos confirmar que no va a romper por fatiga.

### 2.4. Flexión en ejes

El peso del cabezal, transmitido por las varillas sobre los ejes, genera una flexión, que también modifica la posición real del cabezal.

Se planeo como una barra apoyada en ambos extremos con una carga puntual en el medio (posición más desfavorable).

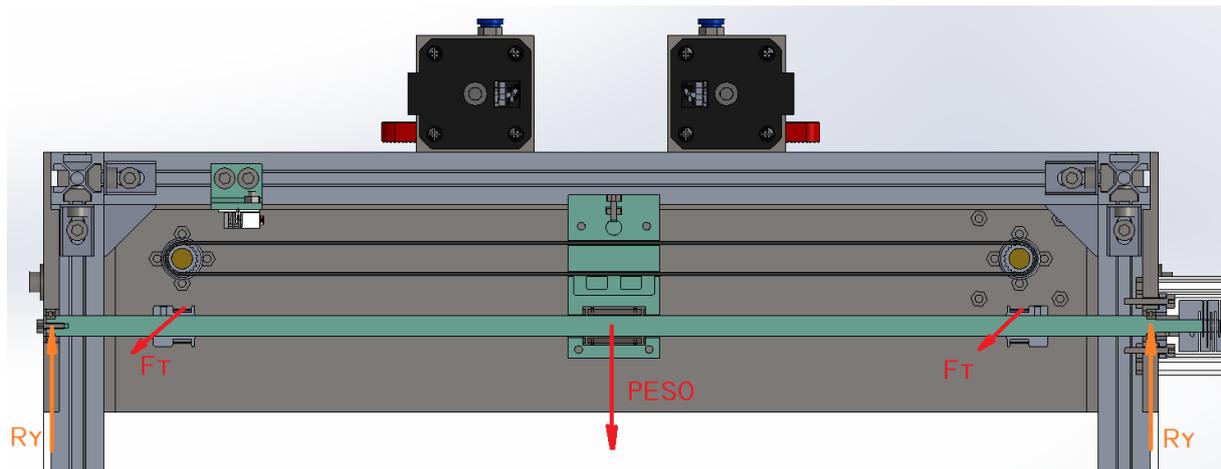


Ilustración 15: Visualización de fuerzas en modelo 3D. Ejes.

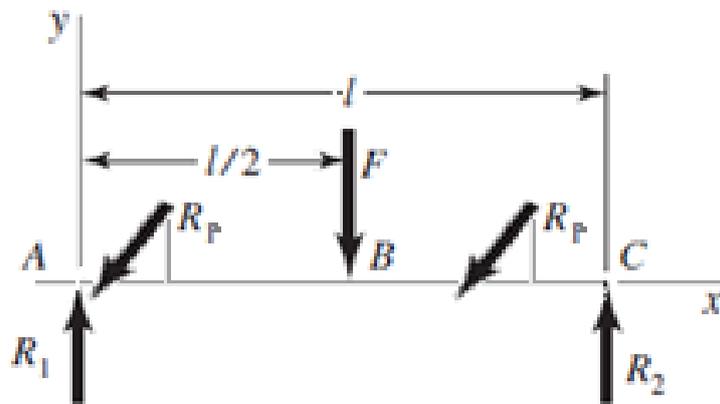
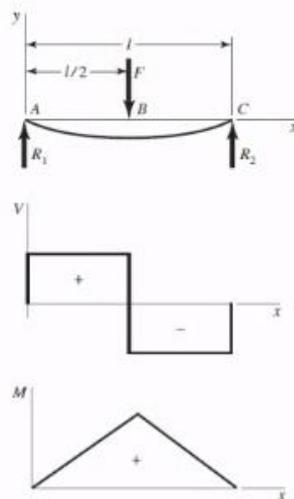


Ilustración 16: Representación de fuerzas sobre eje.

Teniendo en cuenta la referencia encontrada en el libro “Diseño en Ingeniería Mecánica - Shigley - 9na Edición”, pág. 971, se realizó un cálculo de la flexión presente.

**Tabla A-9**

Cortante, momento y deflexión de vigas (continuación)  
 (Nota: La fuerza y las reacciones de momento son positivas en las direcciones que se muestran; las ecuaciones de la fuerza cortante  $V$  y el momento cortante  $M$  siguen las convenciones de signos que se dieron en la sección 3-2.)



$$R_1 = R_2 = \frac{F}{2}$$

$$V_{AB} = R_1 \quad V_{BC} = -R_2$$

$$M_{AB} = \frac{Fx}{2} \quad M_{BC} = \frac{F}{2}(l-x)$$

$$y_{AB} = \frac{Fx}{48EI}(4x^2 - 3l^2)$$

$$y_{\max} = -\frac{Fl^3}{48EI}$$

**Tabla A-4**

Unidades SI opcionales de deflexión por flexión  $y = f(Fl^3/EI)$  o  $y = f(wl^4/EI)$  y deflexión por torsión  $\theta = Tl/GJ$

Deflexión por flexión					Deflexión por torsión				
$F, wl$	$l$	$I$	$E$	$y$	$T$	$l$	$J$	$G$	$\theta$
N <sup>†</sup>	m	m <sup>4</sup>	Pa	m	N · m <sup>†</sup>	m	m <sup>4</sup>	Pa	rad
kN <sup>†</sup>	mm	mm <sup>4</sup>	GPa	mm	N · m <sup>†</sup>	mm	mm <sup>4</sup>	GPa	rad
kN	m	m <sup>4</sup>	GPa	μm	N · mm	mm	mm <sup>4</sup>	MPa (N/mm <sup>2</sup> )	rad
N	mm	mm <sup>4</sup>	kPa	m	N · m	cm	cm <sup>4</sup>	MPa (N/mm <sup>2</sup> )	rad

Se toma el Módulo de elasticidad del acero al carbono:

**Tabla A-5**

Constantes físicas de materiales

Material	Módulo de elasticidad $E$		Módulo de rigidez $G$		Relación de Poisson $\nu$	Peso específico $w$		
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa		lbf/pulg <sup>3</sup>	lbf/ft <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>
Aluminio (todas las aleaciones)	10.4	71.7	3.9	26.9	0.333	0.098	169	26.6
Cobre al berilio	18.0	124.0	7.0	48.3	0.285	0.297	513	80.6
Latón	15.4	106.0	5.82	40.1	0.324	0.309	534	83.8
Acero al carbono	30.0	207.0	11.5	79.3	0.292	0.282	487	76.5
Hierro fundido (gris)	14.5	100.0	6.0	41.4	0.211	0.260	450	70.6

El cabezal pesa 300 gramos y esta sostenido sobre dos travesaños. La situación más comprometida es cuando el cabezal está “virtualmente” sobre el carro. En esta posición, la fuerza  $F$  es de 150grf, como se muestra en la sección 2.2. Sumando el peso propio de las varillas, se obtiene 175grf.

La longitud entre los apoyos en los carros es de 400mm, el material es acero y el diámetro 8mm. Se realiza el cálculo en el software de Microsoft Excel y se obtiene:

DATOS			
P	Fuerza	175	[gr]
		1,71675	[N]
Ø	Diametro	8	[mm]
L	Longitud	400	[mm]
E	Modulo de Young	207	[Gpa]
I	Momento de Inercia	201,06	[mm <sup>4</sup> ]

Flexión	
0,0550	[mm]
55,00	[mm]

Tabla 3: Cálculos de Flexión en los ejes.

Por lo tanto, la flexión esperada es de 55µm para la condición más exigente.

Este desplazamiento, sumado al obtenido en el travesaño, indica que el cabezal tiene una flecha acumulada de aprox. 120µm. Este valor es aceptado ya que el sensor BLTouch permite corregir los desplazamientos causados por las fuerzas involucradas en el sistema.

La carrera del vástago extensible del sensor es de aprox. 5.6 a 6.6mm y mantiene una precisión en el rango de 0.001~0.05mm, por lo que se cumple con la especificación indicada en la etapa II de altura de capa mínima de 100µm.

### 2.5. Rotura en ejes

Se decidió analizar los ejes que transmiten el movimiento de los motores a los travesaños, teniendo en cuenta el peso del cabezal sobre los ejes y la fuerza tangencial que generan las poleas sobre el eje (Cálculos realizados en sección 1.3) ante la rotura.

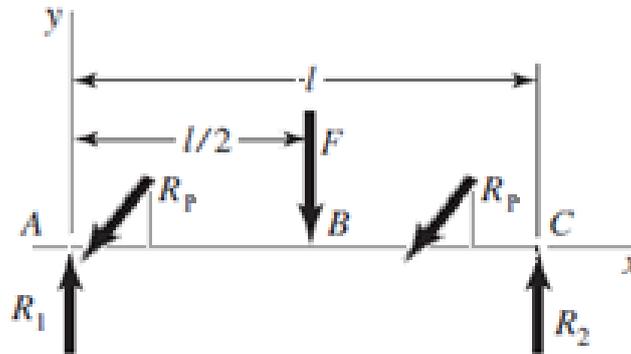


Ilustración 17: Ilustración de cargas sometidas en los ejes.

Para este análisis se despreciaron la fuerza generada por la aceleración y desaceleración del cabezal. Esto se debe a que las aceleraciones involucradas son de  $2\text{ m/s}^2$ , representando solamente un 20% de la aceleración de la gravedad ( $0,2g$ ).

En esta situación las cargas actuantes son:

Fuerza Peso				Fuerza Tangencial			
P	Fuerza	175	[gr]	P	Fuerza	6,00	[N]
		1,72	[N]	$\emptyset$	Diametro	8	[mm]
$\emptyset$	Diametro	8	[mm]	L	Longitud	400	[mm]
L	Longitud	400	[mm]	E	Modulo de Young	207000	[Mpa]
E	Modulo de Young	207000	[Mpa]	A	Area	50,27	[mm <sup>2</sup> ]
A	Area	50,27	[mm <sup>2</sup> ]	I	Momento de Inercia	201,06	[mm <sup>4</sup> ]
I	Momento de Inercia	201,06	[mm <sup>4</sup> ]				

Tabla 4: Fuerzas sometidas en eje.

Teniendo en cuenta la referencia encontrada en el libro “Diseño en Ingeniería Mecánica - Shigley - 9na Edición”, se realizaron los cálculos de las tensiones presentes. Se utilizará el criterio de rotura de Von Mises.

El eje es de diámetro 8mm, el material acero 1045 trefilado en frio y el largo entre los apoyos de 400mm.

Realizando los cálculos en el software Microsoft Excel, obtenemos:

ESFUERZOS			ESFUERZOS		
Q <sub>max</sub>	-0,86	[N]	Q <sub>max</sub>	6,00	[N]
M <sub>max</sub>	171,675	[Nmm]	M <sub>max</sub>	300	[Nmm]

TENSIONES			TENSIONES		
$\tau$	-0,017	[Mpa]	$\tau$	0,030	[Mpa]
$\sigma$	3,42	[Mpa]	$\sigma$	5,97	[Mpa]

**Tensiones Equivalentes**

$\sigma_{eq}$	6,88	[Mpa]	$\tau_{eq}$	0,034	[Mpa]
---------------	------	-------	-------------	-------	-------

Tabla 5: Esfuerzos y tensiones. (Izq.) Fuerza Normal. (Der) Fuerza Tangencial.

Comparado con la tensión de fluencia del material, obtenemos que tiene un coeficiente de seguridad de 77. Podemos decir finalmente que el eje no va estar sometido a tensiones que puedan causar su rotura.

### 2.6. Análisis de Resistencia Estructural

Las fuerzas involucradas en el movimiento del cabezal y los pesos se transfieren a la estructura por medio de los rodamientos, como puede observarse en la Ilustración 18.



Ilustración 18: Fuerzas en rodamientos.

Luego, por medio del panel lateral y los bulones, se transfiere a la estructura.

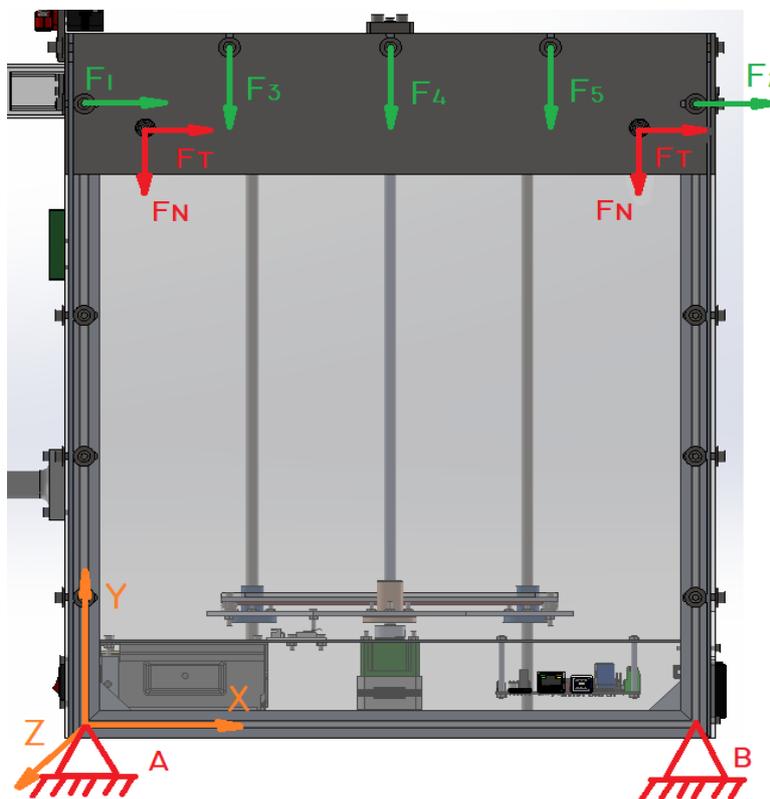


Ilustración 19: Fuerzas en la estructura.

Se realizó un análisis de elementos finitos con el software SolidWorks para verificar las tensiones y desplazamientos de la estructura.

El panel lateral pesa 560gr, las fuerzas tangenciales son de 6N cada una, las normales de 2,5N y el perfil es Bosch 20x20.

La tensión máxima obtenida es de 1,4MPa y el desplazamiento máximo es de 0,06mm.

Por lo tanto, se puede asegurar que la estructura no va a romper y cuenta con la rigidez necesaria para no afectar la impresión.

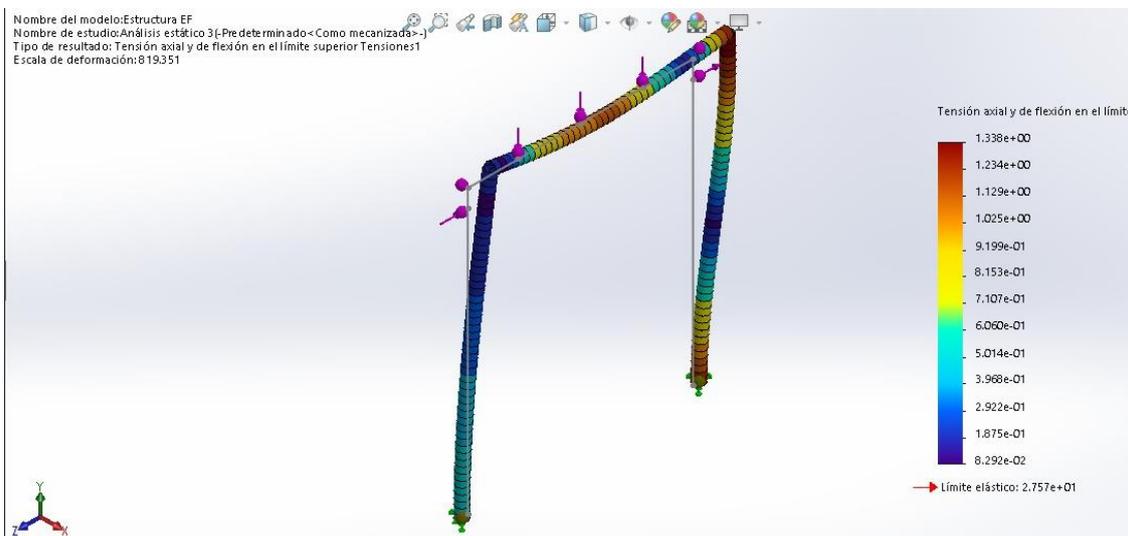


Ilustración 20: Diagrama de Tensiones. Estructura.

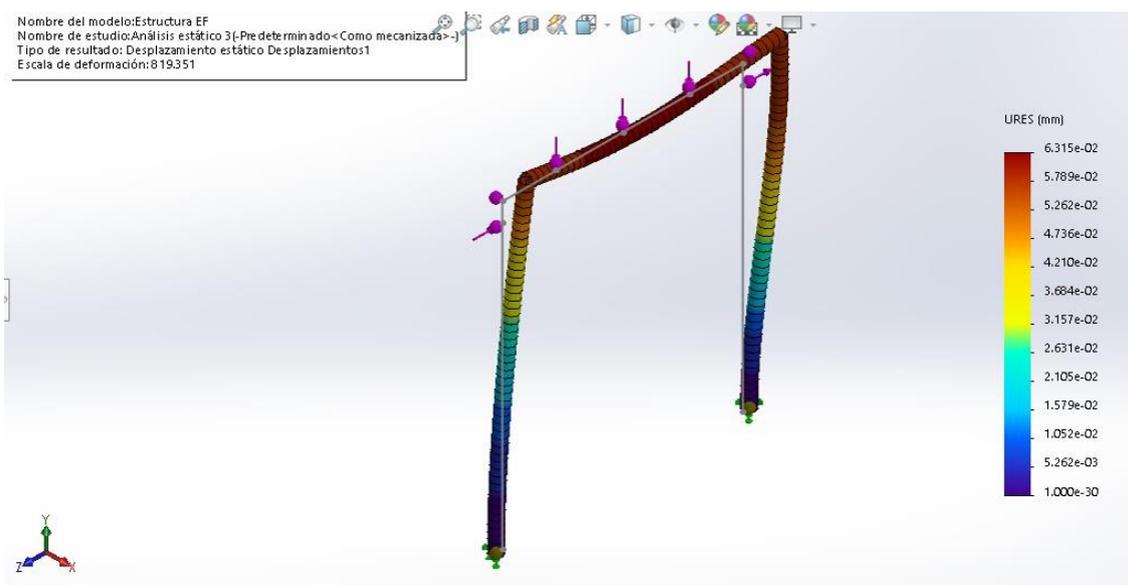


Ilustración 21: Análisis de desplazamiento. Estructura.

## 2.7. Flexión en la mesa

Se analizó la flexión en la mesa ya que es un factor muy importante para la precisión de las piezas impresas. Además del peso propio de la cama, la pieza que se está fabricando sobre la cama comienza a ejercer una fuerza cada vez mayor.

Al estar la carga aplicada sobre la cama y esta, apoyada sobre cuatro tornillos, la fuerza se transmite al soporte por estos cuatro puntos.

La cama, por su parte, al ser de vidrio, no se flexiona, pero se desplaza en función de la flexión que tenga el soporte de acero.

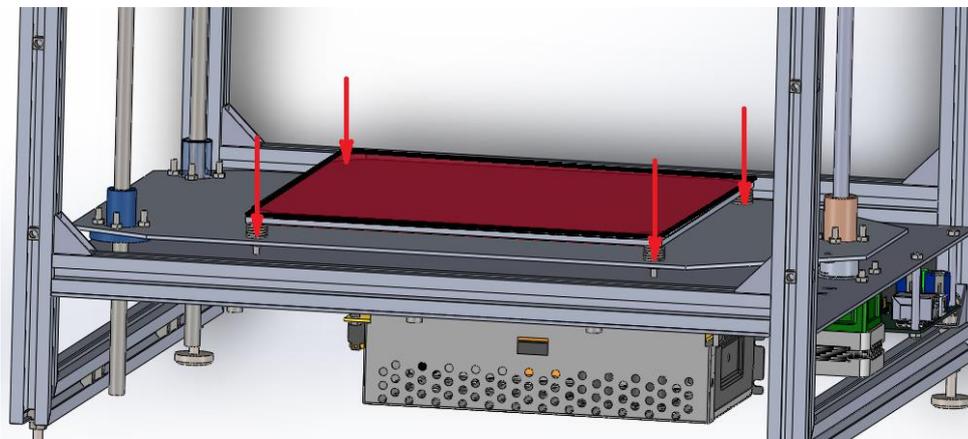


Ilustración 22: Representación de fuerzas. Cama caliente.

En primera instancia se analizó con una carga de 1Kg, ya que es el peso máximo que trae un carretel de los materiales de impresión (PLA, ABS, NYLON, etc.).

Utilizando el módulo de simulación del SolidWorks, se puede observar cómo flexiona el material y los puntos máximos. En este caso, los puntos de interés son los que están debajo de la mesa.

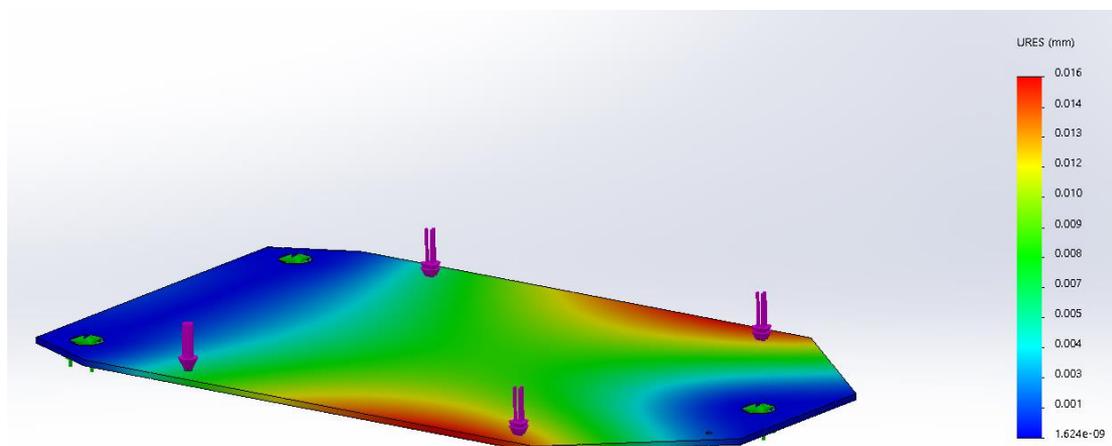


Ilustración 23: Flexión simulada en SolidWorks. Peso 1Kg.

Bajo estas condiciones, la flexión máxima es de 0,016mm, muy por debajo del tamaño de un espesor de capa (0,1mm especificado en etapa II).

Por otra parte, también se evaluó la posibilidad de que se coloquen elementos de mayor peso en la impresión. Por lo tanto, se calcula el peso máximo al que puede ser sometida la cama hasta alcanzar los 0,1mm de flexión.

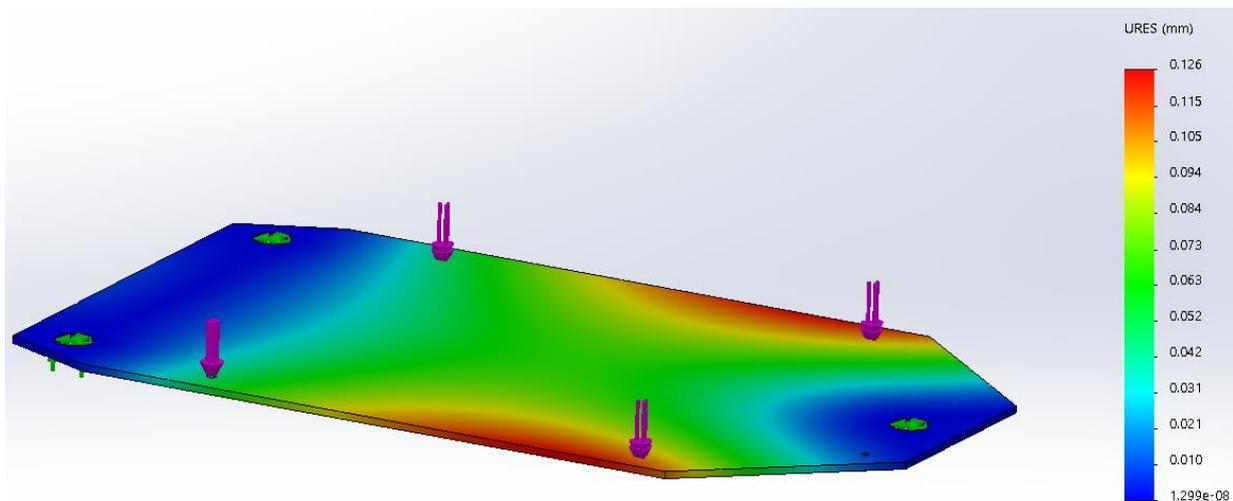


Ilustración 24: Flexión simulada en SolidWorks. Peso 8Kg

Con un peso de 8Kg, la flexión dentro del área de impresión, comienza a estar por encima de los 0,1mm definidos como altura de capa mínima y no se puede asegurar que la impresión mantenga la precisión definida.

### 3. Componentes

#### 3.1. Altura de capa

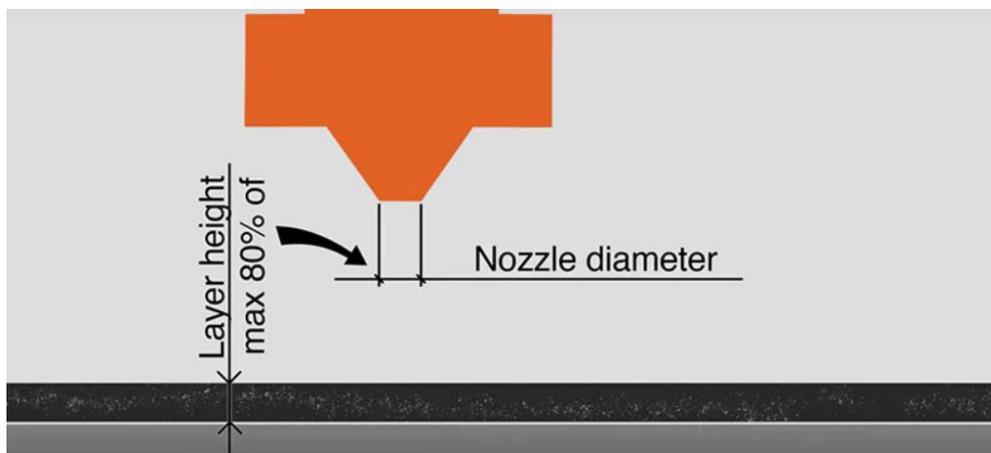
La altura de capa mínima depende únicamente de la precisión del movimiento del eje Z. Anteriormente, en la sección 1.5, se mostró que la precisión del movimiento en el eje Z es de  $1.25\mu\text{m}$ .

Sin embargo, a espesores menores a  $50\mu\text{m}$  comienzan a aparecer factores que hacen que no sea recomendable su uso:

- Excesivo tiempo de impresión.
- Deformación de las capas por estar la boquilla caliente siempre muy cerca de la capa inferior.

Por otro lado, en el otro extremo, la experiencia muestra que la altura de capa no debe ser mayor al 80% del diámetro de la boquilla. Esto se debe a que, a alturas mayores, se genera un efecto de aplastamiento en el material saliente. Para este proyecto se recomienda utilizar boquillas con un diámetro de  $0,4\text{mm}$ .

$$\text{Altura Capa}_{MAX} = 0.4 \cdot 80\% = \mathbf{0.32\text{mm}}$$



De esta manera, se cumple el valor de altura de capa mínimo de  $100\mu\text{m}$  especificado en la etapa II.

#### 4. Lista de planos

Se detalla el listado de planos, marcando su versión y el plano con el que se relaciona.

ID	Plano	Descripción	Entregado	Revisión	Referencia	Plano	
						E	N
1	PL-AS-000	Ensamblaje general	12/3/2023	C	N/A	1	-
2	PL-AS-001	Ensamblaje mesa	12/3/2023	C	PL-AS-000	1	-
3	PL-AS-002	Ensamblaje medio eje X	12/3/2023	C	PL-AS-000	1	-
4	PL-AS-003	Cabezal	12/3/2023	C	PL-AS-000	1	-
5	PL-AS-004	Ensamblaje Estructura	12/3/2023	C	PL-AS-000	1	-
6	PL-AS-005	Ensamblaje medio eje Y	12/3/2023	C	PL-AS-000	1	-
7	PL-AS-010	Ensamblaje Bowden	12/3/2023	C	PL-AS-000	1	-
8	PL-PN-100	Distanciador	12/3/2023	C	PL-AS-000	1	-
9	PL-PN-101	Tapa Cajeras	12/3/2023	C	PL-AS-000	1	-
10	PL-PN-102	Eje X lado libre	12/3/2023	C	PL-AS-002 PL-AS-005	1	-
11	PL-PN-103	Eje X lado motor	12/3/2023	C	PL-AS-002 PL-AS-005	1	-
12	PL-PN-105	Bloque de calor	-	-	PL-AS-003	-	1
13	PL-PN-106	Soporte extrusor	-	-	PL-AS-003	-	1
14	PL-PN-107	Sujetador extrusor	-	-	PL-AS-003	-	1
15	PL-PN-108	Adaptador Boquilla	-	-	PL-AS-003	-	1
16	PL-PN-109	Soporte Extrusor Bowden	13/3/2023	C	PL-AS-010	1	-
17	PL-PN-110	Carcasa Sensor Filamento Derecho	-	-	PL-AS-000	-	1
18	PL-PN-111	Carcasa Sensor Filamento Izquierdo	-	-	PL-AS-000	-	1
19	PL-PN-112	Carro eje X Frontal	-	-	PL-AS-000	-	1
20	PL-PN-113	Carro eje X Trasero	-	-	PL-AS-000	-	1
21	PL-PN-114	Carro eje Y Frontal	-	-	PL-AS-000	-	1
22	PL-PN-115	Carro eje Y Trasero	-	-	PL-AS-000	-	1
23	PL-PN-116	Portarollo	-	-	PL-AS-000	-	1
24	PL-PN-117	Soporte final de carrera lzq.	-	-	PL-AS-000	-	1
25	PL-PN-118	Soporte final de carrera Der.	-	-	PL-AS-000	-	1
26	PL-PN-119	Guía Lineal Eje Z	-	-	PL-AS-000	-	1
27	PL-PN-120	Guía lineal Cabezal	-	-	PL-AS-000	-	1
28	PL-PN-200	Sostén de mesa	13/3/2023	C	PL-AS-001	1	-
29	PL-PN-201	Soporte eje X lado libre	13/3/2023	C	PL-AS-002	1	-
30	PL-PN-202	Panel Frontal Eje Y	13/3/2023	C	PL-AS-005	1	-
31	PL-PN-203	Soporte eje Y lado motor	-	-	PL-AS-000	-	1
32	PL-PN-204	Soporte eje X lado motor	-	-	PL-AS-000	-	1
33	PL-PN-205	Porta Rodamiento Eje Z	13/3/2023	C	PL-AS-000	1	-
34	PL-PN-206	Piso Electrónica	-	-	PL-AS-000	-	1
35	PL-PN-207	Panel Derecho	-	-	PL-AS-000	-	1
36	PL-PN-208	Panel Izquierdo	-	-	PL-AS-000	-	1
37	PL-PN-209	Panel Trasero	-	-	PL-AS-000	-	1
38	PL-PN-210	Panel Frontal	-	-	PL-AS-000	-	1
39	PL-PN-300	Perfil Bastidor 1	-	-	PL-AS-004	-	1
40	PL-PN-301	Perfil Bastidor 2	-	-	PL-AS-004	-	1
41	PL-PN-302	Perfil Bastidor 3	-	-	PL-AS-004	-	1

La confección de los documentos fue realizada con el objetivo de evaluar y compartir los conceptos mínimos a alcanzar por la cátedra. Los planos no realizados quedarán solo en la lista de materiales (estado de ingeniería básica) indicando el tipo de pieza o subconjunto para que el lector pueda comprender el alcance del equipo.



# PROYECTO FINAL

## Impresora 3D

### *ETAPA 5: Fabricación*

UTN - Facultad Regional Delta

Departamento de Ingeniería Mecánica

Ing. Fernando Maidana - Ing. Julio Basualdo

Alumnos:

FERRER, Braian - NASI, Franco - TORRANO, Federico

Versión 2 - Abril 2023

**Índice de Contenidos:**

1. Impresión 3D .....	2
1.1. Carcasa para sensor de filamento .....	3
1.2. Porta Rollo .....	4
1.3. Mitad de carro eje X (Trasero) .....	5
1.4. Mitad de carro eje X (Delantero) .....	6
1.5. Mitad de carro eje Y (Trasero) .....	7
1.6. Mitad de carro eje Y (Delantero) .....	8
1.7. Soporte de extrusor.....	9
1.8. Sujeción de extrusor (pivote) .....	10
1.9. Separador Motor Nema (Eje Z) .....	11
1.10. Separador Motor Nema (Eje XY) .....	12
1.11. Soporte final de carrera .....	13
2. Piezas mecanizadas .....	14
3. Embalaje y ensamblado de kits .....	15

## 1. Impresión 3D

Algunas piezas serán fabricadas mediante impresión 3D. Esto nos da la posibilidad de hacer diseños que no se podrían fabricar mediante los métodos tradicionales de arranque de viruta y le permite al usuario poder fabricar sus propios repuestos. El material para todas las piezas será ABS debido a su mayor resistencia, tanto mecánica como química y térmica, y su disponibilidad en el mercado.

Las siguientes piezas serán fabricadas mediante impresoras 3D.

- Carcasa para sensor de filamento
- Porta Rollo
- Medio carro eje X (delantero)
- Medio carro eje X (trasero)
- Medio carro eje Y (delantero)
- Medio carro eje Y (trasero)
- Soporte de extrusor
- Sujeción de extrusor (pivote)
- Separador Motor Nema (Eje Z)
- Separador Motor Nema (Ejes XY)
- Soporte de finales de carrera.

El software utilizado para la generación de los programas de impresión es “Ultimaker Cura®”. Al tener la impresora 3D un volumen de impresión de 220x220x300, se utilizó este tamaño para el posicionamiento de las piezas.

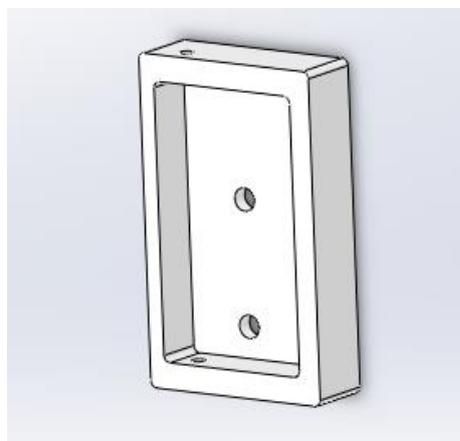
En cada impresión, se colocaron la mayor cantidad de piezas que se pueden realizar al mismo tiempo para mejorar la eficiencia de los trabajos.

Los valores de tiempo necesario y cantidad de material se obtienen de los cálculos realizado por el software. Con esta información, se calcula el costo de cada pieza (Mas detalle en Etapa 6).

### 1.1. Carcasa para sensor de filamento

**Pieza:**

Carcasa sensor filamento

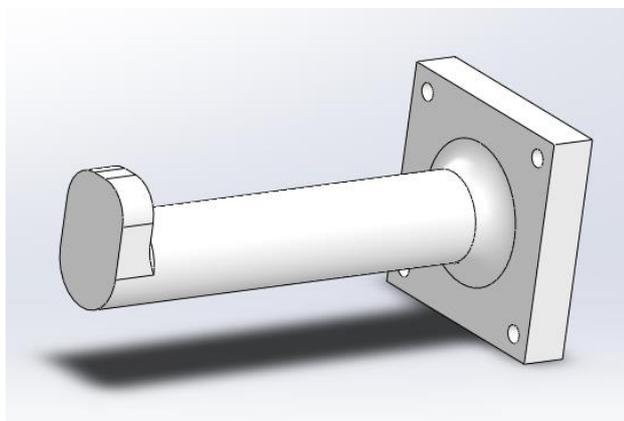


<i>Layer Height</i>	Altura de capa	<b>0,3 mm</b>
<i>Infill</i>	Relleno	<b>30 %</b>
<i>Wall Thickness</i>	Espesor de pared	<b>0,6 mm</b>
<i>Bottom Layer Thickness</i>	Espesor de base	<b>0,6 mm</b>
<i>Top Layer Thickness</i>	Espesor de capa superior	<b>0,6 mm</b>
<i>Material</i>	Material	<b>ABS</b>
<i>Printing Temperature</i>	Temperatura de Impresión	<b>235 °C</b>
<i>Heating Bed Temperature</i>	Temperatura de Impresión	<b>90 °C</b>
<i>Printing Speed</i>	Velocidad de Impresión	<b>70 mm/s</b>
<i>Retraction</i>	Retracción	<b>SI</b>
<i>Support Material</i>	Material de Soporte	<b>NO</b>
<i>Build Plate Adhesion</i>	Adherencia a la cama caliente	<b>NO</b>
<i>Fan Speed</i>	Velocidad de Cooler	<b>100 %</b>
<b><i>Printing Time</i></b>	<b>Tiempo de Impresión</b>	<b>24,4 min</b>
<b><i>Print Weight</i></b>	<b>Peso de la Impresión</b>	<b>4,7 gr</b>
<b><i>Price</i></b>	<b>Precio</b>	<b>0,03 U\$S</b>

## 1.2. Porta Rollo

**Pieza:**

Porta Rollo

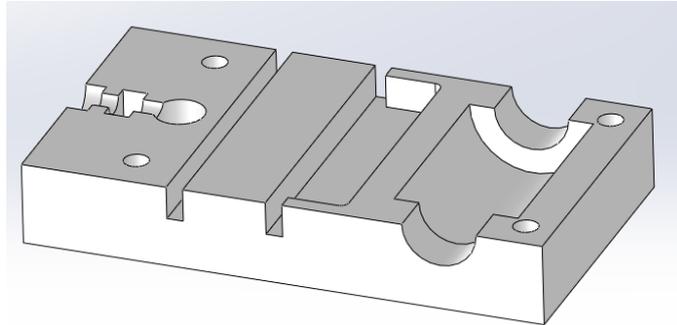


<i>Layer Height</i>	Altura de capa	<b>0,25 mm</b>
<i>Infill</i>	Relleno	<b>40 %</b>
<i>Wall Thickness</i>	Espesor de pared	<b>0,5 mm</b>
<i>Bottom Layer Thickness</i>	Espesor de base	<b>0,5 mm</b>
<i>Top Layer Thickness</i>	Espesor de capa superior	<b>0,5 mm</b>
<i>Material</i>	Material	<b>ABS</b>
<i>Printing Temperature</i>	Temperatura de Impresión	<b>235 °C</b>
<i>Heating Bed Temperature</i>	Temperatura de Impresión	<b>90 °C</b>
<i>Printing Speed</i>	Velocidad de Impresión	<b>70 mm/s</b>
<i>Retraction</i>	Retracción	<b>SI</b>
<i>Support Material</i>	Material de Soporte	<b>NO</b>
<i>Build Plate Adhesion</i>	Adherencia a la cama caliente	<b>NO</b>
<i>Fan Speed</i>	Velocidad de Cooler	<b>100 %</b>
<i>Printing Time</i>	Tiempo de Impresión	<b>132,5 min</b>
<i>Print Weight</i>	Peso de la Impresión	<b>30,7 gr</b>
<i>Price</i>	Precio	<b>0,22 U\$S</b>

### 1.3. Mitad de carro eje X (Trasero)

**Pieza:**

Mitad de carro eje X (Trasero)

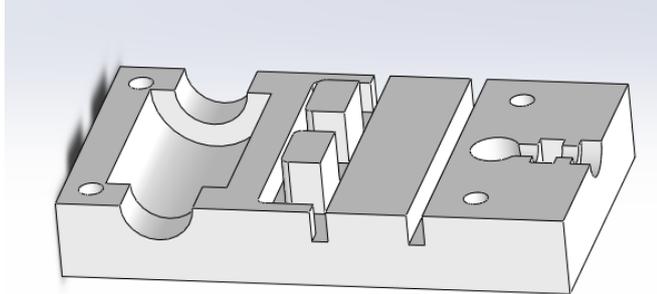


<i>Layer Height</i>	Altura de capa	<b>0,2 mm</b>
<i>Infill</i>	Relleno	<b>40 %</b>
<i>Wall Thickness</i>	Espesor de pared	<b>0,4 mm</b>
<i>Bottom Layer Thickness</i>	Espesor de base	<b>0,4 mm</b>
<i>Top Layer Thickness</i>	Espesor de capa superior	<b>0,4 mm</b>
<i>Material</i>	Material	<b>ABS</b>
<i>Printing Temperature</i>	Temperatura de Impresión	<b>235 °C</b>
<i>Heating Bed Temperature</i>	Temperatura de Impresión	<b>90 °C</b>
<i>Printing Speed</i>	Velocidad de Impresión	<b>70 mm/s</b>
<i>Retraction</i>	Retracción	<b>SI</b>
<i>Support Material</i>	Material de Soporte	<b>NO</b>
<i>Build Plate Adhesion</i>	Adherencia a la cama caliente	<b>NO</b>
<i>Fan Speed</i>	Velocidad de Cooler	<b>100 %</b>
<i>Printing Time</i>	Tiempo de Impresión	<b>62,0 min</b>
<i>Print Weight</i>	Peso de la Impresión	<b>10,18 gr</b>
<i>Price</i>	Precio	<b>0,08 U\$S</b>

### 1.4. Mitad de carro eje X (Delantero)

**Pieza:**

Mitad de carro eje X  
(Delantero)

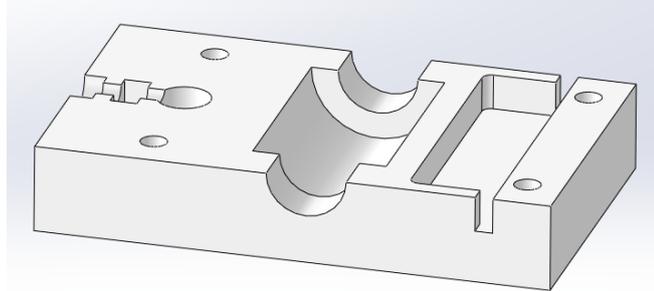


<i>Layer Height</i>	Altura de capa	<b>0,2 mm</b>
<i>Infill</i>	Relleno	<b>40 %</b>
<i>Wall Thickness</i>	Espesor de pared	<b>0,4 mm</b>
<i>Bottom Layer Thickness</i>	Espesor de base	<b>0,4 mm</b>
<i>Top Layer Thickness</i>	Espesor de capa superior	<b>0,4 mm</b>
<i>Material</i>	Material	<b>ABS</b>
<i>Printing Temperature</i>	Temperatura de Impresión	<b>235 °C</b>
<i>Heating Bed Temperature</i>	Temperatura de Impresión	<b>90 °C</b>
<i>Printing Speed</i>	Velocidad de Impresión	<b>70 mm/s</b>
<i>Retraction</i>	Retracción	<b>SI</b>
<i>Support Material</i>	Material de Soporte	<b>NO</b>
<i>Build Plate Adhesion</i>	Adherencia a la cama caliente	<b>NO</b>
<i>Fan Speed</i>	Velocidad de Cooler	<b>100 %</b>
<i>Printing Time</i>	Tiempo de Impresión	<b>65,4 min</b>
<i>Print Weight</i>	Peso de la Impresión	<b>10,4 gr</b>
<i>Price</i>	Precio	<b>0,08 U\$S</b>

### 1.5. Mitad de carro eje Y (Trasero)

**Pieza:**

Mitad de carro eje Y (Trasero)

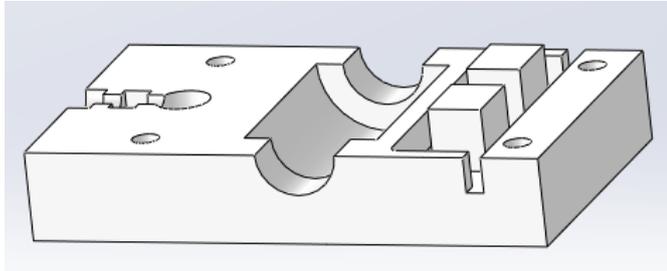


<i>Layer Height</i>	Altura de capa	<b>0,2 mm</b>
<i>Infill</i>	Relleno	<b>40 %</b>
<i>Wall Thickness</i>	Espesor de pared	<b>0,4 mm</b>
<i>Bottom Layer Thickness</i>	Espesor de base	<b>0,4 mm</b>
<i>Top Layer Thickness</i>	Espesor de capa superior	<b>0,4 mm</b>
<i>Material</i>	Material	<b>ABS</b>
<i>Printing Temperature</i>	Temperatura de Impresión	<b>235 °C</b>
<i>Heating Bed Temperature</i>	Temperatura de Impresión	<b>90 °C</b>
<i>Printing Speed</i>	Velocidad de Impresión	<b>70 mm/s</b>
<i>Retraction</i>	Retracción	<b>SI</b>
<i>Support Material</i>	Material de Soporte	<b>NO</b>
<i>Build Plate Adhesion</i>	Adherencia a la cama caliente	<b>NO</b>
<i>Fan Speed</i>	Velocidad de Cooler	<b>100 %</b>
<i>Printing Time</i>	Tiempo de Impresión	<b>55,5 min</b>
<i>Print Weight</i>	Peso de la Impresión	<b>9,18 gr</b>
<i>Price</i>	Precio	<b>0,07 U\$S</b>

### 1.6. Mitad de carro eje Y (Delantero)

**Pieza:**

Mitad de carro eje Y (Delantero)

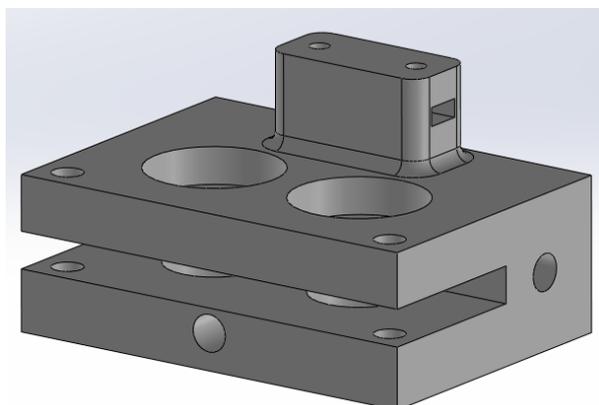


<i>Layer Height</i>	Altura de capa	<b>0,2 mm</b>
<i>Infill</i>	Relleno	<b>40 %</b>
<i>Wall Thickness</i>	Espesor de pared	<b>0,4 mm</b>
<i>Bottom Layer Thickness</i>	Espesor de base	<b>0,4 mm</b>
<i>Top Layer Thickness</i>	Espesor de capa superior	<b>0,4 mm</b>
<i>Material</i>	Material	<b>ABS</b>
<i>Printing Temperature</i>	Temperatura de Impresión	<b>235 °C</b>
<i>Heating Bed Temperature</i>	Temperatura de Impresión	<b>90 °C</b>
<i>Printing Speed</i>	Velocidad de Impresión	<b>70 mm/s</b>
<i>Retraction</i>	Retracción	<b>SI</b>
<i>Support Material</i>	Material de Soporte	<b>NO</b>
<i>Build Plate Adhesion</i>	Adherencia a la cama caliente	<b>NO</b>
<i>Fan Speed</i>	Velocidad de Cooler	<b>100 %</b>
<i>Printing Time</i>	Tiempo de Impresión	<b>59,7 min</b>
<i>Print Weight</i>	Peso de la Impresión	<b>9,54 gr</b>
<i>Price</i>	Precio	<b>0,07 U\$S</b>

### 1.7. Soporte de extrusor

**Pieza:**

Soporte Extrusor

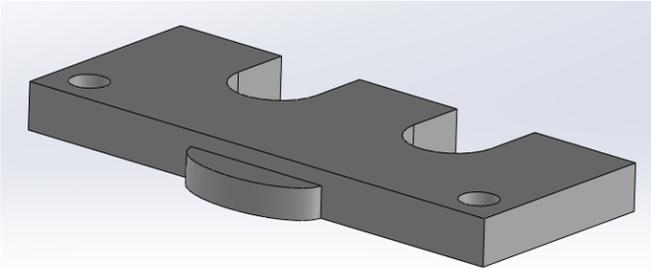


<i>Layer Height</i>	Altura de capa	<b>0,25 mm</b>
<i>Infill</i>	Relleno	<b>40 %</b>
<i>Wall Thickness</i>	Espesor de pared	<b>0,5 mm</b>
<i>Bottom Layer Thickness</i>	Espesor de base	<b>0,5 mm</b>
<i>Top Layer Thickness</i>	Espesor de capa superior	<b>0,5 mm</b>
<i>Material</i>	Material	<b>ABS</b>
<i>Printing Temperature</i>	Temperatura de Impresión	<b>235 °C</b>
<i>Heating Bed Temperature</i>	Temperatura de Impresión	<b>90 °C</b>
<i>Printing Speed</i>	Velocidad de Impresión	<b>70 mm/s</b>
<i>Retraction</i>	Retracción	<b>SI</b>
<i>Support Material</i>	Material de Soporte	<b>SI</b>
<i>Build Plate Adhesion</i>	Adherencia a la cama caliente	<b>NO</b>
<i>Fan Speed</i>	Velocidad de Cooler	<b>100 %</b>
<i>Printing Time</i>	Tiempo de Impresión	<b>177,5 min</b>
<i>Print Weight</i>	Peso de la Impresión	<b>39 gr</b>
<i>Price</i>	Precio	<b>0,28 U\$S</b>

### 1.8. Sujeción de extrusor (pivote)

**Pieza:**

Soporte Extrusor con pivote

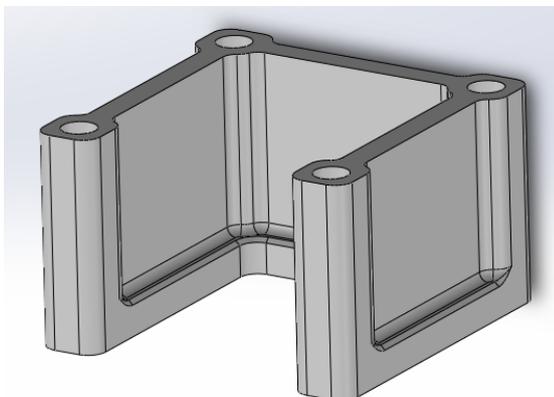


<i>Layer Height</i>	Altura de capa	<b>0,25 mm</b>
<i>Infill</i>	Relleno	<b>40 %</b>
<i>Wall Thickness</i>	Espesor de pared	<b>0,5 mm</b>
<i>Bottom Layer Thickness</i>	Espesor de base	<b>0,5 mm</b>
<i>Top Layer Thickness</i>	Espesor de capa superior	<b>0,5 mm</b>
<i>Material</i>	Material	<b>ABS</b>
<i>Printing Temperature</i>	Temperatura de Impresión	<b>235 °C</b>
<i>Heating Bed Temperature</i>	Temperatura de Impresión	<b>90 °C</b>
<i>Printing Speed</i>	Velocidad de Impresión	<b>70 mm/s</b>
<i>Retraction</i>	Retracción	<b>SI</b>
<i>Support Material</i>	Material de Soporte	<b>NO</b>
<i>Build Plate Adhesion</i>	Adherencia a la cama caliente	<b>NO</b>
<i>Fan Speed</i>	Velocidad de Cooler	<b>100 %</b>
<i>Printing Time</i>	Tiempo de Impresión	<b>29,7 min</b>
<i>Print Weight</i>	Peso de la Impresión	<b>5,9 gr</b>
<i>Price</i>	Precio	<b>0,04 U\$S</b>

## 1.9. Separador Motor Nema (Eje Z)

### Pieza:

Separador Motor  
Nema (Eje Z)

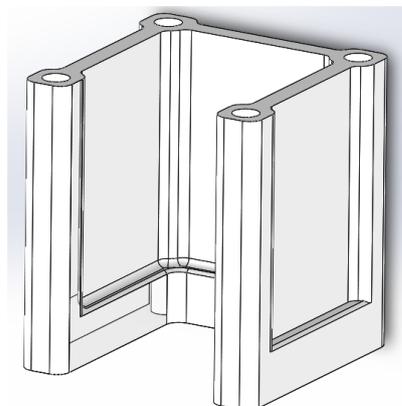


<i>Layer Height</i>	Altura de capa	<b>0,3 mm</b>
<i>Infill</i>	Relleno	<b>40 %</b>
<i>Wall Thickness</i>	Espesor de pared	<b>0,6 mm</b>
<i>Bottom Layer Thickness</i>	Espesor de base	<b>0,6 mm</b>
<i>Top Layer Thickness</i>	Espesor de capa superior	<b>0,6 mm</b>
<i>Material</i>	Material	<b>ABS</b>
<i>Printing Temperature</i>	Temperatura de Impresión	<b>235 °C</b>
<i>Heating Bed Temperature</i>	Temperatura de Impresión	<b>90 °C</b>
<i>Printing Speed</i>	Velocidad de Impresión	<b>70 mm/s</b>
<i>Retraction</i>	Retracción	<b>SI</b>
<i>Support Material</i>	Material de Soporte	<b>NO</b>
<i>Build Plate Adhesion</i>	Adherencia a la cama caliente	<b>NO</b>
<i>Fan Speed</i>	Velocidad de Cooler	<b>100 %</b>
<i>Printing Time</i>	Tiempo de Impresión	<b>37,8 min</b>
<i>Print Weight</i>	Peso de la Impresión	<b>7,3 gr</b>
<i>Price</i>	Precio	<b>0,05 U\$S</b>

### 1.10. Separador Motor Nema (Eje XY)

**Pieza:**

Separador Motor  
Nema (Eje XY)

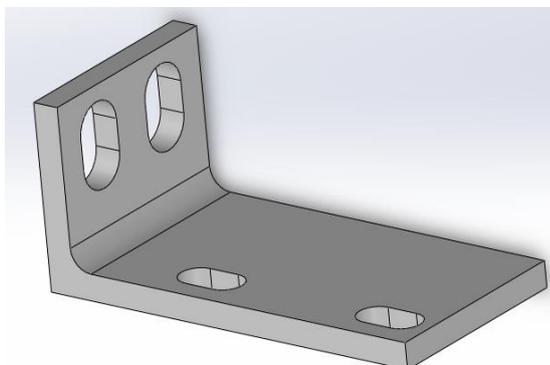


<i>Layer Height</i>	Altura de capa	<b>0,3 mm</b>
<i>Infill</i>	Relleno	<b>40 %</b>
<i>Wall Thickness</i>	Espesor de pared	<b>0,6 mm</b>
<i>Bottom Layer Thickness</i>	Espesor de base	<b>0,6 mm</b>
<i>Top Layer Thickness</i>	Espesor de capa superior	<b>0,6 mm</b>
<i>Material</i>	Material	<b>ABS</b>
<i>Printing Temperature</i>	Temperatura de Impresión	<b>235 °C</b>
<i>Heating Bed Temperature</i>	Temperatura de Impresión	<b>90 °C</b>
<i>Printing Speed</i>	Velocidad de Impresión	<b>70 mm/s</b>
<i>Retraction</i>	Retracción	<b>SI</b>
<i>Support Material</i>	Material de Soporte	<b>NO</b>
<i>Build Plate Adhesion</i>	Adherencia a la cama caliente	<b>NO</b>
<i>Fan Speed</i>	Velocidad de Cooler	<b>100 %</b>
<i>Printing Time</i>	Tiempo de Impresión	<b>63,4 min</b>
<i>Print Weight</i>	Peso de la Impresión	<b>13 gr</b>
<i>Price</i>	Precio	<b>0,09 U\$S</b>

### 1.11. Soporte final de carrera

**Pieza:**

Soporte final de carrera



<i>Layer Height</i>	Altura de capa	<b>0,3 mm</b>
<i>Infill</i>	Relleno	<b>30 %</b>
<i>Wall Thickness</i>	Espesor de pared	<b>0,6 mm</b>
<i>Bottom Layer Thickness</i>	Espesor de base	<b>0,6 mm</b>
<i>Top Layer Thickness</i>	Espesor de capa superior	<b>0,6 mm</b>
<i>Material</i>	Material	<b>ABS</b>
<i>Printing Temperature</i>	Temperatura de Impresión	<b>235 °C</b>
<i>Heating Bed Temperature</i>	Temperatura de Impresión	<b>90 °C</b>
<i>Printing Speed</i>	Velocidad de Impresión	<b>70 mm/s</b>
<i>Retraction</i>	Retracción	<b>SI</b>
<i>Support Material</i>	Material de Soporte	<b>SI</b>
<i>Build Plate Adhesion</i>	Adherencia a la cama caliente	<b>NO</b>
<i>Fan Speed</i>	Velocidad de Cooler	<b>100 %</b>
<i>Printing Time</i>	Tiempo de Impresión	<b>12,5 min</b>
<i>Print Weight</i>	Peso de la Impresión	<b>1,8 gr</b>
<i>Price</i>	Precio	<b>0,01 U\$S</b>

## 2. Piezas mecanizadas

Por otra parte, varias piezas no van a ser fabricadas por el método de impresión 3D, ya sea por la necesidad de resistencia mecánica o precisión dimensional.

En primera instancia, hay piezas que deben ser mecanizadas por métodos de arranque de viruta tradicionales: Torneado, Fresado, etc.

Lista de piezas mecanizadas:

- PL-PN-101 - Tapa Cajeras
- PL-PN-102 - Eje X lado libre
- PL-PN-103 - Eje X lado motor
- PL-PN-105 - Bloque de calor
- PL-PN-108 - Adaptador Boquilla
- PL-PN-119 -Guía Lineal Eje Z
- PL-PN-120 - Guía lineal Cabezal
- PL-PN-205 - Porta Rodamiento Eje Z
- PL-PN-300 - Perfil Bastidor 1
- PL-PN-301 - Perfil Bastidor 2
- PL-PN-302 - Perfil Bastidor 3
- PL-PN-201 - Soporte eje X lado libre
- PL-PN-202 - Soporte eje Y lado libre
- PL-PN-203 - Soporte eje Y lado motor
- PL-PN-204 - Soporte eje X lado motor

Para la fabricación de estas piezas, se estima que serán necesarias unas 12hs de mecanizado.

Tomando el costo de la hora de mecanizado, el costo de este proceso es de aproximadamente U\$S90.

Por otra parte, hay piezas que son fabricadas en base a una chapa plana y, solamente, deberán ser cortadas y agujereadas según plano.

Lista de piezas corte de chapa:

Chapa:

- PL-PN-206 - Piso Electrónica
- PL-PN-200 - Sostén de mesa

Para la fabricación de estas piezas, se estima una cantidad de 2 horas de corte.

Tomando el costo de la hora de mecanizado, el costo de este proceso es de aproximadamente U\$S 15.

### 3. Embalaje y ensamblado de kits

#### 3.1. Materiales

La impresora será enviada al cliente en una caja de cartón que tendrá en su interior diferentes bolsas con sus componentes clasificados.

Los perfiles y varillas serán envueltas en Film Stretch para evitar rayaduras y golpes.

- Rollo de film stretch 50cm x 4.5Kg: U\$S 10
- Caja 700x500x500: U\$S 4
- Bolsas para separar 20x20mm: U\$S 0.15
- Etiqueta para marketing: U\$S 1

Para un equipo completo, se van a utilizar 18 bolsas de 20x20mm, para poder separar las diferentes etapas de ensamblaje de manera ordenada.

Tomando estos valores del mercado, estimamos un costo de packaging de U\$S 7,5.

#### 3.2. Tiempo de armado

El equipo va a ser enviado al cliente como un kit que debe ser ensamblado por el mismo. De esta manera, disminuimos el costo del producto y permitimos que sea alcanzable para un rango mayor de clientes de la sociedad.

Para tener una estimación del tiempo que requiere una persona para ensamblar un kit completo, suponemos el tiempo que puede tardar en armar 10 equipos, clasificando de un elemento a la vez.

El equipo consta de 74 piezas independientes, de las cuales 50 son piezas de las que se requiere una cantidad menor a 4 unidades y pueden ser separadas rápidamente. Para esta tarea, vamos a suponer que necesita 3hs.

Luego, 16 de esas piezas son diferentes componentes de bulonería con diferentes cantidades de cada uno. Para esta tarea vamos a suponer unas 3hs de clasificación.

Los elementos restantes tienen una cantidad menor a 10 unidades: poleas, rodamientos y los motores nema. Esta tarea puede tardar 30min.

En total para el armado de los 10 kits se requiere de aproximadamente 6hs. Por lo tanto, se estima un tiempo de 40min por impresora y un costo de ensamblado de U\$S 5.



# PROYECTO FINAL

## Impresora 3D

### *ETAPA 6: Comercialización*

UTN - Facultad Regional Delta

Departamento de Ingeniería Mecánica

Ing. Fernando Maidana - Ing. Julio Basualdo

Alumnos:

FERRER, Braian - NASI, Franco - TORRANO, Federico

Versión 2 - Abril 2023

## 1. Evaluación Económica

Una vez diseñado el modelo del equipo, se confeccionó la lista de materiales para conocer el costo total del producto y el costo de ganancia marginal.

POS.	Descripcion	Material	OBSERVACIONES	CANT.	COSTO UNID.	COSTO TOTAL
27	VARILLA ROSCADA ACME Ø8 x 400	SAE 1045	4 ENTRADAS - PASO 2	1	\$ 4,50	\$ 4,50
21	TUERCA DE BRONCE Ø8	BRONCE SAE 68	ROSCA ACME - PASO 2 - 4 ENTRADAS	1	\$ 2,00	\$ 2,00
28	REDONDO Ø8x500	SAE 1045	BARRA CALIBRADA	2	\$ 3,50	\$ 7,00
37	REDONDO Ø8x450	SAE 1045	BARRA CALIBRADA	2	\$ 3,50	\$ 7,00
38	REDONDO Ø8x430	SAE 1045	BARRA CALIBRADA	2	\$ 3,00	\$ 6,00
53	REDONDO Ø6x340	SAE 1045	BARRA CALIBRADA	2	\$ 2,50	\$ 5,00
43	REDONDO Ø8x9	SAE 1020	N/A	2	\$ 0,08	\$ 0,16
10	REDONDO Ø4x45	SAE1020	N/A	4	\$ 0,12	\$ 0,48
41	REDONDO Ø25x5	SAE 1020	N/A	4	\$ 0,11	\$ 0,44
46	VARILLA M3X50	COMERCIAL	N/A	8	\$ 0,50	\$ 4,00
17	VARILLA M3X35	COMERCIAL	N/A	4	\$ 0,45	\$ 1,80
54	CARRO EJE X FRONTAL	ABS	IMPRESION 3D	2	\$ 0,08	\$ 0,16
55	CARRO EJE Y FRONTAL	ABS	IMPRESION 3D	2	\$ 0,07	\$ 0,14
56	SOPORTE EXTRUSOR	ABS	IMPRESION 3D	1	\$ 0,28	\$ 0,28
57	SUJETADOR EXTRUSOR	ABS	IMPRESION 3D	1	\$ 0,04	\$ 0,04
66	CARRO EJE X TRASERO	ABS	IMPRESION 3D	2	\$ 0,08	\$ 0,16
67	CARRO EJE Y TRASERO	ABS	IMPRESION 3D	2	\$ 0,07	\$ 0,14
76	PORTA ROLLO	ABS	IMPRESION 3D	2	\$ 0,22	\$ 0,44
79	CARCASA SENSOR IZQUIERDO	ABS	IMPRESION 3D	1	\$ 0,03	\$ 0,03
82	CARCASA SENSOR DERECHO	ABS	IMPRESION 3D	1	\$ 0,03	\$ 0,03
84	SOPORTE FIN DE CARRERA	ABS	IMPRESION 3D	2	\$ 0,01	\$ 0,02
14	SEPARADOR MOTOR EJE Z	ABS	IMPRESION 3D	1	\$ 0,05	\$ 0,05
44	SEPARADOR MOTOR EJE XY	ABS	IMPRESION 3D	2	\$ 0,09	\$ 0,18
15	PERFIL TIPO BOSCH 20x20x380	ALUMINIO	N/A	1	\$ 2,50	\$ 2,50
29	CHAPA 45x30x7,9	SAE 1020	N/A	1	\$ 0,80	\$ 0,80
1	CHAPA 420x420x2	SAE 1020	N/A	1	\$ 6,00	\$ 6,00
19	CHAPA 410X240X3,2	SAE 1020	N/A	1	\$ 6,80	\$ 6,80
22	CHAPA 220X220X3	ALUMINIO	N/A	1	\$ 2,70	\$ 2,70
36	CHAPA 415x100x6	ALUMINIO	N/A	4	\$ 5,00	\$ 20,00
59	MACISO 45x24x24	ALUMINIO	N/A	1	\$ 1,20	\$ 1,20
69	PANEL 415x400x3	ACRILICO	N/A	4	\$ 10,00	\$ 40,00
24	PLACA DE SILICONA 200X200X2	SILICONA	N/A	1	\$ 6,00	\$ 6,00
23	VIDRIO 220X220X3	VIDRIO	N/A	1	\$ 4,00	\$ 4,00
4	ESCUADRA 20X20	N/A	COMERCIAL	20	\$ 0,80	\$ 16,00
5	TUERCA T M5	COMERCIAL	N/A	111	\$ 0,12	\$ 13,32
33	ALLEN CABEZA CILINDRICA M3X8	COMERCIAL	SEGUN DIN 912	17	\$ 0,10	\$ 1,70
18	ALLEN CABEZA CILINDRICA M3X12	COMERCIAL	SEGUN DIN 912	22	\$ 0,10	\$ 2,20
34	ALLEN CABEZA CILINDRICA M3X16	COMERCIAL	SEGUN DIN 912	28	\$ 0,10	\$ 2,80
25	ALLEN CABEZA CILINDRICA M3X20	COMERCIAL	SEGUN DIN 912	20	\$ 0,12	\$ 2,40
75	ALLEN CABEZA CILINDRICA M3X25	COMERCIAL	SEGUN DIN 912	4	\$ 0,12	\$ 0,48
77	ALLEN CABEZA CILINDRICA M4X20	COMERCIAL	SEGUN DIN 912	8	\$ 0,15	\$ 1,20
6	ALLEN CABEZA CILINDRICA M5X8	COMERCIAL	SEGUN DIN 912	77	\$ 0,13	\$ 10,01
35	ALLEN CABEZA CILINDRICA M5X10	COMERCIAL	SEGUN DIN 912	30	\$ 0,13	\$ 3,90
65	ALLEN CABEZA CILINDRICA M5X30	COMERCIAL	SEGUN DIN 912	2	\$ 0,15	\$ 0,30
8	ARANDELA PLANA M5	COMERCIAL	SEGUN DIN 125	52	\$ 0,03	\$ 1,56
32	ARANDELA PLANA M3	COMERCIAL	SEGUN DIN 125	7	\$ 0,03	\$ 0,21
7	TUERCA HEXAGONAL M5	COMERCIAL	SEGUN DIN 934	6	\$ 0,06	\$ 0,36
16	TUERCA HEXAGONAL M3	COMERCIAL	SEGUN DIN 934	104	\$ 0,05	\$ 5,20
78	TUERCA HEXAGONAL M4	COMERCIAL	SEGUN DIN 934	8	\$ 0,05	\$ 0,40
9	PATA REGULACION M5	COMERCIAL	N/A	4	\$ 1,00	\$ 4,00
2	FUENTE 12V	COMERCIAL	N/A	1	\$ 15,00	\$ 15,00
12	MOTOR PASO A PASO	N/A	MODELO 17HS4023	5	\$ 10,50	\$ 52,50
74	PANTALLA LCD	COMERCIAL	TIPO 2004 C/5 BOTONES	1	\$ 12,00	\$ 12,00
80	FIN DE CARRERA IZQUIERDO	COMERCIAL	TIPO MECANICO	3	\$ 1,50	\$ 4,50
83	FIN DE CARRERA DERECHO	COMERCIAL	TIPO MECANICO	2	\$ 1,50	\$ 3,00
11	PLACA ELECTRONICA MKS SBASE 1.3	COMERCIAL	VER ESPECIFICACION	1	\$ 30,00	\$ 30,00
61	PALPADOR BLTOUCH	COMERCIAL	-	1	\$ 17,00	\$ 17,00
72	VENTILADOR 40x40x10	COMERCIAL	N/A	2	\$ 4,50	\$ 9,00

45	ACOPLE FLEXIBLE	ALUMINIO	MODELO ST20 05/05	2	\$ 1,50	\$ 3,00
13	ACOPLE FLEXIBLE	ALUMINIO	MODELO ST20 06/06	1	\$ 1,50	\$ 1,50
63	ACOPLE M6	COMERCIAL	N/A	2	\$ 1,20	\$ 2,40
64	ACOPLE RAPIDO Ø8	COMERCIAL	N/A	2	\$ 1,50	\$ 3,00
89	ACOPLE RAPIDO Ø5	COMERCIAL	N/A	2	\$ 1,00	\$ 2,00
40	RODAMIENTO LINEAL Ø8	COMERCIAL	TIPO LM8 UU	4	\$ 1,00	\$ 4,00
20	RODAMIENTO LINEAL Ø8	N/A	MODELO LMF8UU	2	\$ 2,50	\$ 5,00
26	RESORTE CAMA	SAE 1070	COMERCIAL	4	\$ 2,00	\$ 8,00
58	BOQUILLA 0,4xM6	LATON	COMERCIAL	1	\$ 2,20	\$ 2,20
62	DISIPADOR	ALUMINIO	COMERCIAL	2	\$ 4,00	\$ 8,00
60	ADAPTADOR M12XM6	BRONCE	N/A	1	\$ 1,80	\$ 1,80
87	EXTRUSOR	COMERCIAL	TIPO BOWDEN CON ENGRANAJE	2	\$ 7,00	\$ 14,00
39	POLEA DENTADA Ø8	ALUMINIO	TIPO GT2 20 DIENTES	8	\$ 1,50	\$ 12,00
68	CORREA DENTADA	COMERCIAL	TIPO GT2 LARGO 680	4	\$ 2,00	\$ 8,00
31	SOPORTE BARRA Ø8 (EJE Z)	ALUMINIO	TIPO SK8A	4	\$ 3,50	\$ 14,00
30	RODAMIENTO DE BOLAS Ø8	COMERCIAL	TIPO SKF 6186	9	\$ 2,00	\$ 18,00

El costo total es de los materiales es de aproximadamente U\$S 440.

Tomando en cuenta los costos de mecanizado, los materiales para el packaging y los costos de armado de los kits, el costo total del equipo es de aproximadamente U\$S 560.

Esto nos deja con margen de ganancia de U\$S 40 por equipo en relación a lo especificado en la etapa 2.

Los valores de los precios en pesos argentinos (AR\$) fueron convertidos a dólar tomando el valor de dólar MEP (U\$S 1 = AR\$ 350) al día 25 de febrero de 2023.



# **ANEXO I**

# **PROBLEMAS**

# **FRECUENTES**

**UTN - Facultad Regional Delta**

**Departamento de Ingeniería Mecánica**

**Ing. Fernando Maidana - Ing. Julio Basualdo**

**Alumnos:**

**FERRER, Braian - NASI, Franco - TORRANO, Federico**

**Versión 2 - Abril 2023**

**Índice de contenido:**

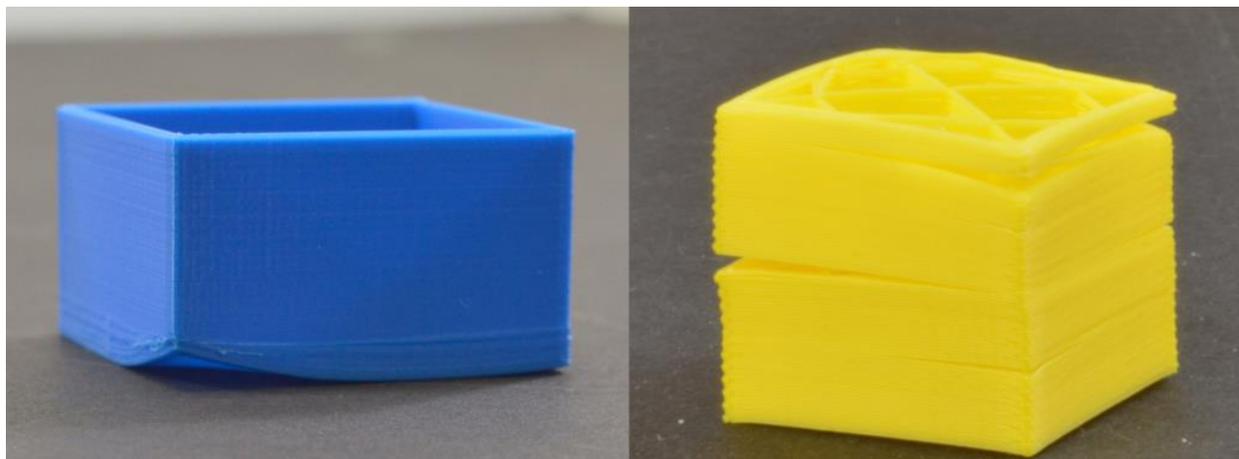
1. Warping y delaminación: .....	3
2. Bridging: .....	3
3. Stringing:.....	4
4. Extrusor obturado: .....	4
5. Temperatura excesiva: .....	6
6. Extracción de piezas terminadas:.....	7
7. Desprendimiento de piezas: .....	8
8. Repuestos: .....	9
9. Capas de material incompletas:.....	9
10. Falta de filamento: .....	9
11. Soportes: .....	9
12. Deformación en piezas de gran tamaño: .....	10

## 1. Warping y delaminación

La temperatura es una variable muy importante en la impresión 3D. El warping y delaminación son efectos similares que se deben directamente a la variación de dicha variable.

El warping, en particular, es cuando las esquinas de una pieza que se está imprimiendo comienzan a desprenderse de la mesa debido a la contracción del material (Ver ilustración 1).

La delaminación ocurre cuando el filamento con el que se está imprimiendo tiene una mala adherencia entre capas, debido a esto, las impresiones tendrán grietas o se romperán más fácilmente. Esto se debe principalmente a la contracción de una capa a diferente velocidad que las adyacentes.



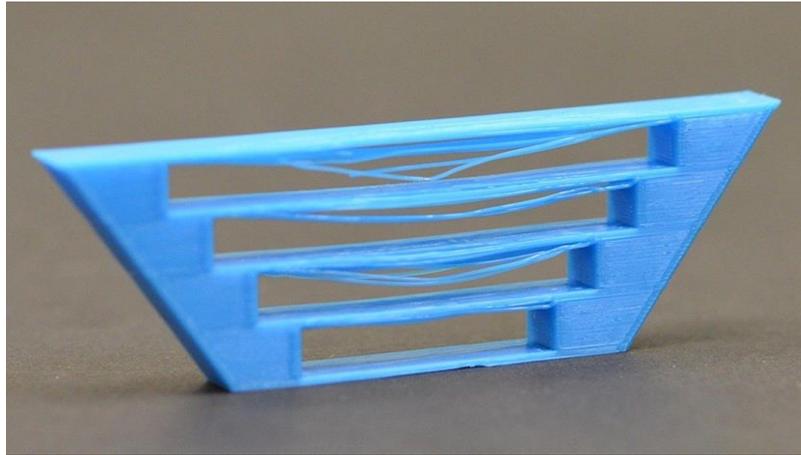
*Ilustración 1: Ejemplos de Warping (Izq.) y delaminación (Der.)*

## 2. Bridging

Hay piezas donde la impresora tiene que realizar puentes. Lugares donde se requiere que haya material sólido entre dos columnas de material. El problema que trae esta situación es que el extrusor está depositando material en el aire.

Al estar el material en estado dúctil, el propio peso del filamento hace que se flexione. Las siguientes capas se apoyan sobre ese material flexionado y se logra completar el puente. Sin embargo, en lugar de tener un puente completo y rígido, aparecen hilos que cuelgan por debajo.

La ilustración 2 muestra una pieza donde se puede apreciar con facilidad este problema en particular.



*Ilustración 2: Problema de Bridging*

### 3. Stringing

Este fenómeno se produce porque el filamento, en el extremo caliente del extrusor, continúa exudando fuera de la boquilla durante movimientos que no son de impresión debido a la gravedad, a pesar de que el motor no hace avanzar el filamento.

Es muy común en piezas que tienen columnas separadas entre sí (Ver ilustración 3). La principal desventaja es la necesidad de tener que realizar un proceso de post-procesado para mejorar la terminación de la pieza.



*Ilustración 3: Problema de Stringing*

### 4. Extrusor obturado

Una situación muy común es que el extrusor se obstruya con filamento. Cuando esto ocurre, el extrusor es incapaz de alimentar el filamento a través de la boquilla y es a

menudo acompañado por otros problemas: recalentamiento del motor, pieza fallida, corte de filamento (Ver ilustración 5).

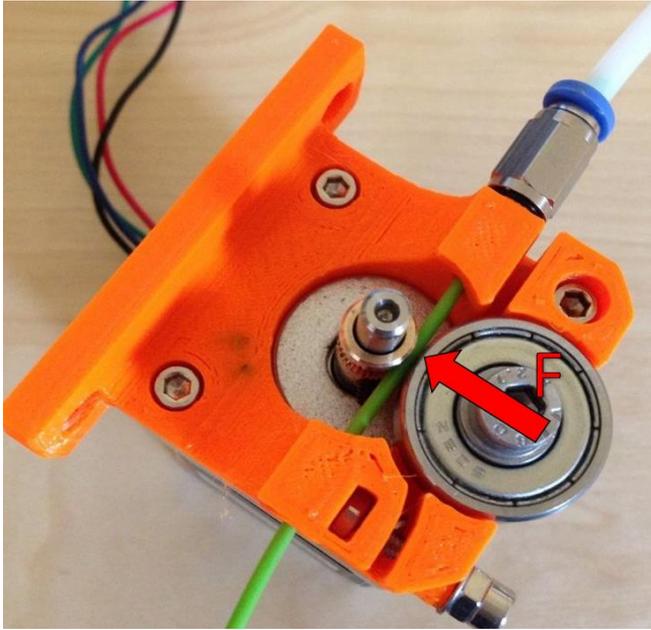
Esta situación se produce por varios motivos:

- Cuando el calor que se genera en la punta caliente se transmite a partes superiores del extrusor, el filamento se vuelve maleable en el ducto y no solamente en la punta. Cuando el motor lo empuja, este tiende a doblarse dentro del mismo.
- La mala ubicación del rollo puede generar que el filamento se trabe, provocando que el extrusor realice una fuerza excesiva sobre el filamento para hacerlo avanzar. Si esta fuerza es superior a la tensión de corte del material, el filamento se corta y la parte que queda dentro del extrusor es difícil de retirar.



*Ilustración 4: Ejemplo de Extrusor tapado.*

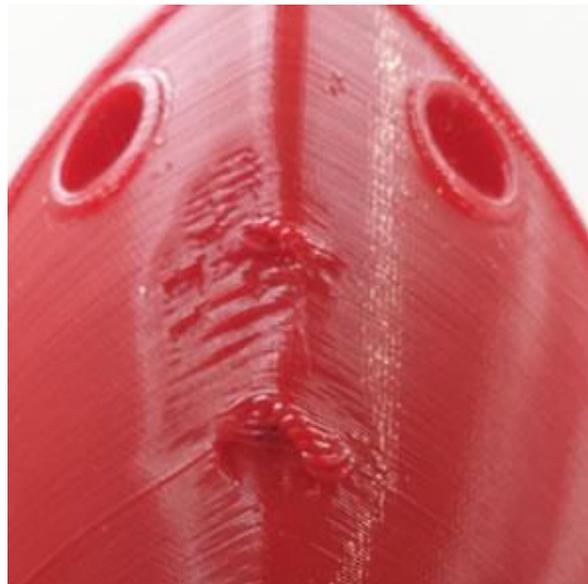
- Otra posibilidad es que la tensión que el tornillo acanalado le ejerce al filamento sea excesiva, lo cual hace que se termine desgastando y finalmente, cortando. De la misma manera que en la situación anterior, el filamento dentro del extrusor es difícil de retirar de forma simple. Normalmente, si esto ocurre, hay que desarmarlo completamente.



*Ilustración 5: Filamento desgastado por excesiva presión del tornillo acanalado.*

## 5. Temperatura excesiva

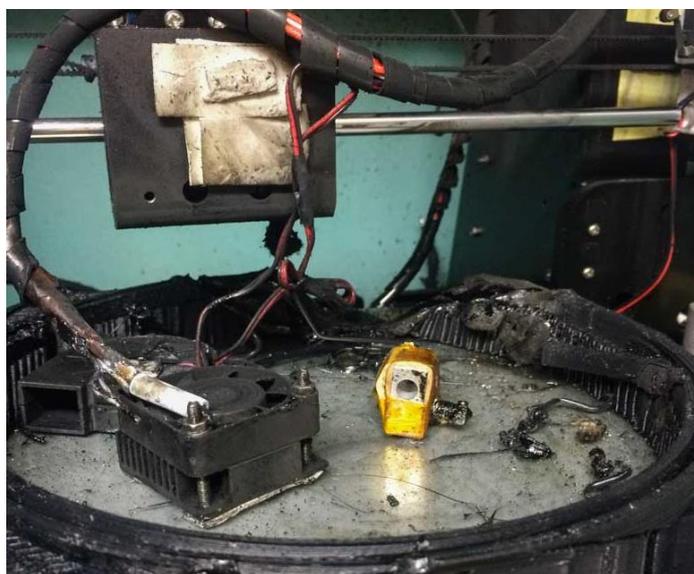
Cada material de impresión 3D tiene su propia temperatura de impresión óptima y cada impresora es diferente. Algunos materiales manejan una amplia gama de temperatura, mientras que otros sólo manejan un rango de 5 °C. Si un material se calienta más allá de su temperatura de impresión óptima, se vuelve demasiado blando y puede burbujear, hervir o quemar, por lo que es difícil de imprimir (Ver ilustración 6).



*Ilustración 6: Material recalentado.*

La peor situación posible es que la temperatura esté muy por encima de la de trabajo, ya que el material se carboniza y se adhiere a las paredes del ducto interno del extrusor, haciendo casi imposible limpiar el extrusor cuando se llega a esta situación.

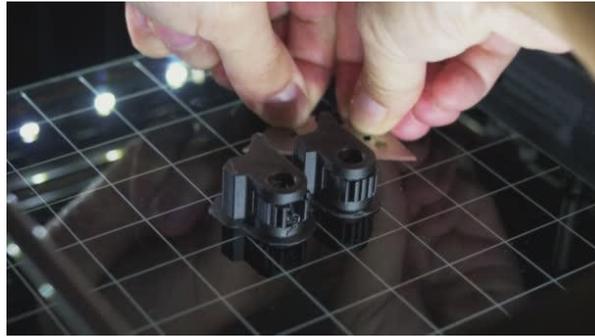
Es muy común que esta situación se deba al sensado de temperatura. Si el termistor se mueve de lugar, la temperatura que censa no es realmente la que hay en la punta caliente. Por lo tanto, la resistencia continúa calentando por encima de lo esperado. Es muy común utilizar fijadores (volátiles) para fijar la pieza, por lo que, en situaciones puntuales, la temperatura puede derretir partes de la impresora o prender fuego tal como se muestra en la ilustración 7.



*Ilustración 7: Impresora quemada.*

## 6. Extracción de piezas terminadas

Cuando finaliza la impresión, la pieza está completamente adherida a la mesa. Para lograr extraerla, lo mejor es esperar un tiempo hasta que todo enfríe. En ese momento, la pieza se contrae y se separa de la mesa.



*Ilustración 8: Extracción de una pieza terminada.*

Cuando se requiere extraer rápidamente la pieza por alguna necesidad, comúnmente se realiza fuerza con algún utensilio para separarla de la mesa. En piezas chicas o con partes débiles, esta práctica puede generar que la pieza se rompa y quede inutilizable.

## **7. Desprendimiento de piezas**

Este problema sucede cuando la impresora, al intentar imprimir, deja material que no se adhiere correctamente (Ver ilustración 9). Si esto ocurre en la primera capa, los siguientes filamentos quedan desnivelados o inclusive despegarse antes de que finalice la impresión.



*Ilustración 9: Pieza desprendida por una mala adhesión a la cama.*

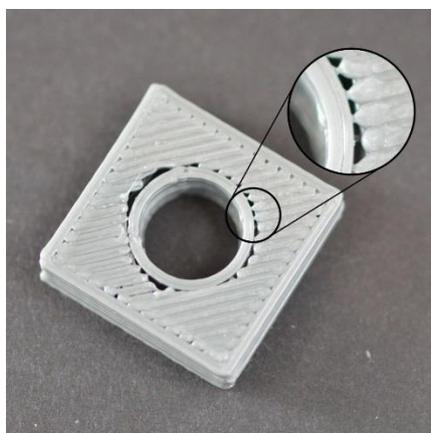
Esto se debe a varios fenómenos: una mala nivelación de la cama de impresión; una velocidad de impresión elevada; o bien, temperatura de la cama muy baja, lo que hace que se contraiga el material.

## 8. Repuestos

Generalmente, las piezas son fabricadas únicamente por la empresa que vende el producto. Es muy común que los repuestos no se consigan en el país y haya que importarlos. Esto provoca que se utilicen componentes que no fueron diseñados para la impresora, generando riesgos para la persona que la utiliza.

## 9. Capas de material incompletas

El extrusor no completa las capas de la pieza dejando agujeros en la misma (Ver ilustración 10). Se debe a la forma de programación de la máquina y errores en la generación del código de impresión.



*Ilustración 10: capas incompletas.*

## 10. Falta de filamento

Cuando no se calcula la cantidad correcta de material necesario y disponible en el rollo, el filamento puede acabarse a la mitad de una impresión. Algunas impresoras no tienen forma de censar la existencia de filamento mientras imprime, por lo que siguen funcionando sin material, provocando que la pieza quede incompleta y la impresión falle.

## 11. Soportes

En las impresoras, la forma de imprimir partes de piezas que quedan en voladizo es por medio de soportes. Esto permite que el filamento se apoye sobre estos hasta que logren solidificarse (Ver ilustración 11).

En impresoras de un solo extrusor, el mismo material con el que se imprime la pieza es utilizado para generar los soportes. Esto requiere que después se necesiten algunos

procedimientos extra para retirarlos. Al realizar fuerza o utilizar herramientas para retirarlos, se pueden dañar otras partes de la pieza misma.

En impresoras de más de un extrusor, es muy común utilizar un material diferente para la pieza y los soportes. El material de estos últimos suele ser degradable en agua o alcohol, lo que permite que sea sencillo retirarlos.



*Ilustración 11: Ejemplo de soportes en una pieza.*

## 12. Deformación en piezas de gran tamaño

Cuando la pieza tiene un gran tamaño, el peso de la pieza suele empezar a tener impacto en su impresión. Se empieza a apreciar una desalineación de las capas impresas, sobre todo en las últimas. Esto se debe a que la mesa comienza a tener cada vez más inercia por el peso mismo de la pieza.

Una situación similar sucede con el extrusor, si el peso del mismo es demasiado grande, aparece una inercia que disminuye la calidad dimensional de la pieza impresa. Este fenómeno se vuelve más importante cuando la velocidad de impresión es mayor. Por lo tanto, limita la velocidad máxima con la que se puede trabajar.



# ANEXO II

## Referencia del Mercado

**UTN - Facultad Regional Delta**

**Departamento de Ingeniería Mecánica**

**Ing. Fernando Maidana - Ing. Julio Basualdo**

**Alumnos:**

**FERRER, Braian - NASI, Franco - TORRANO, Federico**

**Versión 2 - Abril 2023**

### 1. Necesidades del mercado:

Una vez realizado los estudios pertinentes, a través de encuestas con los potenciales clientes (etapa I), se procedió con la elaboración de una matriz de doble entrada la cual enumera las necesidades básicas que el producto tiene que satisfacer (filas) y las métricas o parámetros (columnas) con los cuales se van a relacionar dichas necesidades. Este vínculo se ve reflejado en la tabla 1.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Peso máximo de la impresora	Volumen de la impresora	Tipo de extrusor	Tiempo de ensamblaje	Uso de herramientas estandar	Costo total	Presición de impresión	Área de impresión	Interfaz con el usuario amigable	Confiability de los componentes	Estanqueidad de los componentes	Temperatura de impresión	Tiempo de puesta a punto
Necesidades													
1 Que el producto sea económico						X	X			X			
2 Que el producto sea estético		X							X				
3 Que el producto sea fácil de mover	X		X	X				X					
4 Que producto sea versátil a la hora de imprimir			X				X	X				X	
5 Que el producto sea fácil de usar									X				X
6 Que haya poco descarte de piezas			X				X			X		X	
7 Que el producto requiera poco mantenimiento				X	X					X	X		
8 Que pueda imprimir por mucho tiempo										X	X	X	

Tabla 1: Métricas obtenidas de las necesidades.

## 2. Referencia del mercado:

Para poder realizar un análisis de mayor profundidad, se realizó un estudio de mercado en base a cinco de los equipos actualmente disponibles (ver tabla 2) para ponderar estas y otras métricas que se consideran importantes, y así poder cuantificar la manera en la que impactan sobre las necesidades del producto.

	PRUSA I3 MK3	Ultimaker 3	ROBO R1	FLASHFORGE FINDER	Creality Ender 5
					
Forma de Trabajo	FDM	FDM	FDM	FDM	FDM
Velocidad máxima de impresión	100 mm/s	100 mm/s	80 mm/s	100 mm/s	100 mm/s
Costo total	USD 1.200	USD 3.500	USD 800	USD 400	USD 390
Espesor de capa recomendado (0,4mm)	50 - 400 µm	20 - 400 µm	100 - 300 µm	100 - 400 µm	100 - 400 µm
Accesibilidad a diferentes boquillas	Si	SI	SI	NO	SI
Temperatura máxima del extrusor	280 °C	280 °C	260 °C	240 °C	260 °C
Temperatura máxima en la cama	120 °C	120 °C	120 °C	No tiene	125 °C
Precisión de movimiento XYZ	10 x 10 x 5 µm	12.5 x 12.5 x 2.5 µm	11 x 11 x 1.6 µm	11 x 11 x 2.5 µm	10 x 10 x 5 µm
Diámetro de filamento	1.75 mm	2.85 mm	1.75 mm	1.75 mm	1.75mm
Doble extrusor	No	Sí	No	No	No
Conectividad de información	SD, USB cable	Ethernet, USB cable, WIFI	SD	Ethernet, SD, USB cable, WIFI	SD Card, USB
Nivelación de cama automática	Sí	Si	Sí	No	No
Sistema de extrusión bowden	No	Sí	No	No	No
Recinto cerrado	No	Semi	No	Sí	No
Compatibilidad de filamentos	Si	Si	Si	Si	Si
Volumen de impresión (XYZ)	250 x 210 x 200 mm	197 x 215 x 200 mm	254 x 228 x 200 mm	140 x 140 x 140 mm	220 x 220 x 300mm
Peso total	6,35 kg	10,6 kg	10,5 kg	11 kg	14,2 kg

Tabla 2: Comparativa de cinco equipos disponibles en la actualidad.



# **ANEXO III**

## **DETALLE DE**

# **INGENERÍA BÁSICA**

**UTN - Facultad Regional Delta**

**Departamento de Ingeniería Mecánica**

**Ing. Fernando Maidana - Ing. Julio Basualdo**

**Alumnos:**

**FERRER, Braian - NASI, Franco - TORRANO, Federico**

**Versión 4 - Abril 2023**

**Índice de Contenidos:**

1. Sistema de posicionamiento de ejes	4
1.1. Tipos de Impresora	4
1.1.1. Impresora Belt	4
1.1.2. Impresora Polar	6
1.1.3. Impresora SCARA	8
1.1.4. Impresora Cartesiana	9
1.1.5. Impresora Delta	10
1.2. Selección del tipo de Impresora	11
2. Movimiento de los ejes	13
2.1. Tipos de Movimiento de los ejes	14
2.1.1. Zona de impresión en Y, con cabezal en XZ	14
2.1.2. Zona de impresión en Z, con cabezal en XY	14
2.1.3. Cabezal en XYZ	15
2.2. Selección de tipo de movimiento	16
3. Sistema de transmisión eje Z	17
3.1. Tipos de sistemas de transmisión	17
3.1.1. Tornillo de potencia	17
3.1.2. Sistemas neumáticos e hidráulicos	18
3.1.3. Sistema de correas	19
3.2. Selección de Sistema de transmisión eje Z	20
4. Movimiento ejes XY	22
4.1. Transmisión mediante piñón-cremallera	22
4.2. Transmisión mediante poleas y correas	23
4.3. Selección del tipo de transmisión	24
4.4. Configuración de la transmisión	25
4.4.1. Configuración de movimiento cartesiano	25
4.4.2. Configuración de movimiento CoreXY	28
4.5. Selección de la configuración de transmisión	30
5. Sistema de Extrusión	31
5.1. Tipos de sistemas de Extrusión	31
5.1.1. Extrusión directa	32
5.1.2. Sistema Bowden	34

5.2.	Sistema de tracción	36
5.2.1.	Tracción a través de corona y rodamiento	37
5.2.2.	Tracción a través dos engranajes	39
5.3.	Selección del sistema de extrusión	41
6.	Cabezal	42
6.1.	Doble extrusor con un bloque de calor	42
6.2.	Doble extrusor con doble bloque de calor	43
6.3.	Selector de filamento con un bloque de calor	44
6.4.	Selección de la configuración	45
7.	Partes del cabezal	46
7.1.	Tubo de garganta	46
7.1.1.	Acero inoxidable	46
7.1.2.	Acero inoxidable con teflón	47
7.1.3.	Cobre y acero inoxidable	48
7.1.4.	Selección del tubo de garganta	48
7.2.	Acople	50
7.3.	Disipador	51
7.4.	Cooler disipador	53
7.5.	Boquilla	56
7.5.1.	Boquilla de Latón	56
7.5.2.	Boquilla de Acero inoxidable	56
7.5.3.	Boquilla de acero endurecido	57
7.5.4.	Selección de boquilla	58
8.	Motores	59
8.1.	Motores paso a paso	59
8.2.	Servomotores	59
8.3.	Selección de Motor	60
9.	Microcontrolador	61
9.1.	Diagrama de conexiones	63
10.	Cama caliente	64
10.1.	Temperatura de la cama	64
10.1.1.	Placas de silicona	65
10.1.2.	Placas PCB	65

10.2. Material de la cama	66
10.2.1. Vidrio	67
10.2.2. Aluminio	67
10.3. Selección de cama caliente	67
10.4. Nivelación de la cama	69
10.4.1. Nivelación en 4 puntas	70
10.4.2. Nivelación con sensor	71
11. Electrónica	73
11.1. Resistencia del extrusor	73
11.2. Coolers	74
11.3. Pantalla LCD	75
11.4. Final de carrera	76
11.5. Fuente	77
12. Sensor de temperatura	78
13. Sensor de proximidad	80
13.1. Tipos de sensores de proximidad	80
13.1.1. Sensores Inductivos	80
13.1.2. Sensores Ópticos	81
13.1.3. Sensores Capacitivos	82
13.1.4. Mecánico (Bed Level Touch)	83
13.2. Efecto del ambiente	84
13.3. Selección del tipo de sensor	85
14. Sensor de Filamento	87
14.1. Tipos de sensores de filamento	87
14.1.1. Sensor mecánico	87
14.1.2. Sensor óptico-mecánico	88
14.1.3. Sensor óptico	89
14.2. Selección del sensor de filamento	89
15. Porta Rollo	91

## 1. Sistema de posicionamiento de ejes

El sistema de posicionamiento de ejes de una impresora es una variable importante a tener en cuenta a la hora de definir la mayoría de las partes del equipo, debido a que cada una de las distintas configuraciones disponibles se adaptan a los diferentes tipos de piezas y a la cantidad que se desee producir. Dentro de estos parámetros, las impresoras de tipo FDM se clasifican en tipo *Belt*; *Polar*; *SCARA*; cartesianas; o tipo delta siendo las últimas dos, las más utilizadas.

### 1.1. Tipos de Impresora

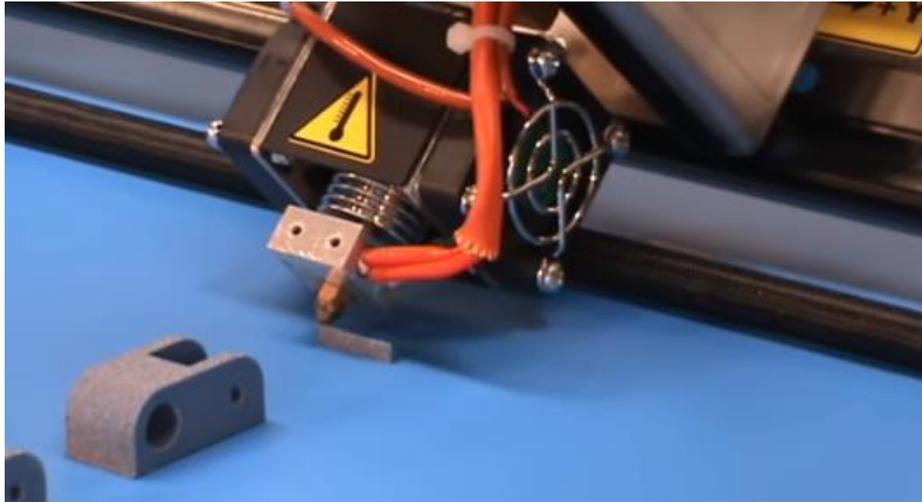
#### 1.1.1. Impresora Belt

Este tipo impresora cuenta con una cinta móvil que se desplaza en el eje Z, mientras que el cabezal se desplaza en un cuadro XY inclinado a  $45^\circ$ , como se puede apreciar en la Ilustración 1.



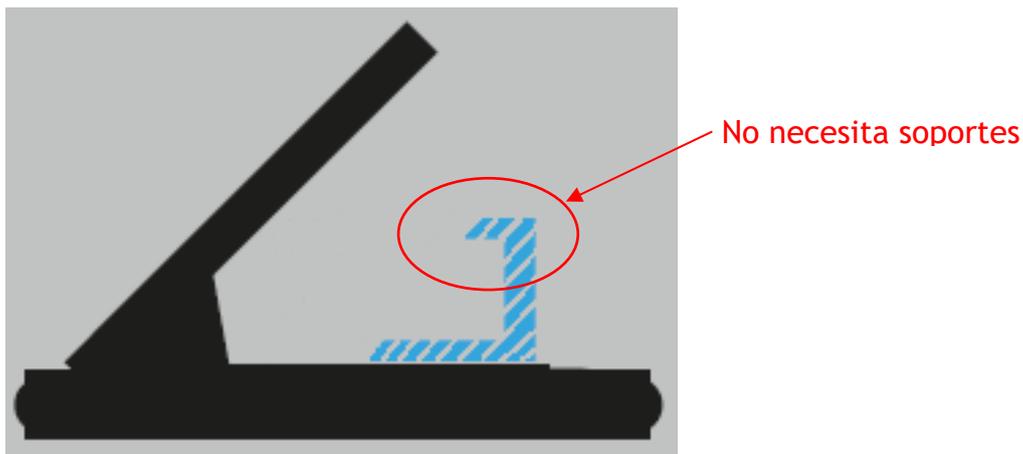
*Ilustración 1: Ejemplo de Impresora tipo Belt.*

Esta configuración de cama permite imprimir piezas sin limitación en cuanto a la longitud del eje Z. También brinda la opción de imprimir varias piezas en serie sin detener la impresión, por lo tanto, es una buena opción para realizar una producción de piezas en masa tal como se muestra en la Ilustración 2.



*Ilustración 2: Cabezal impresora Belt.*

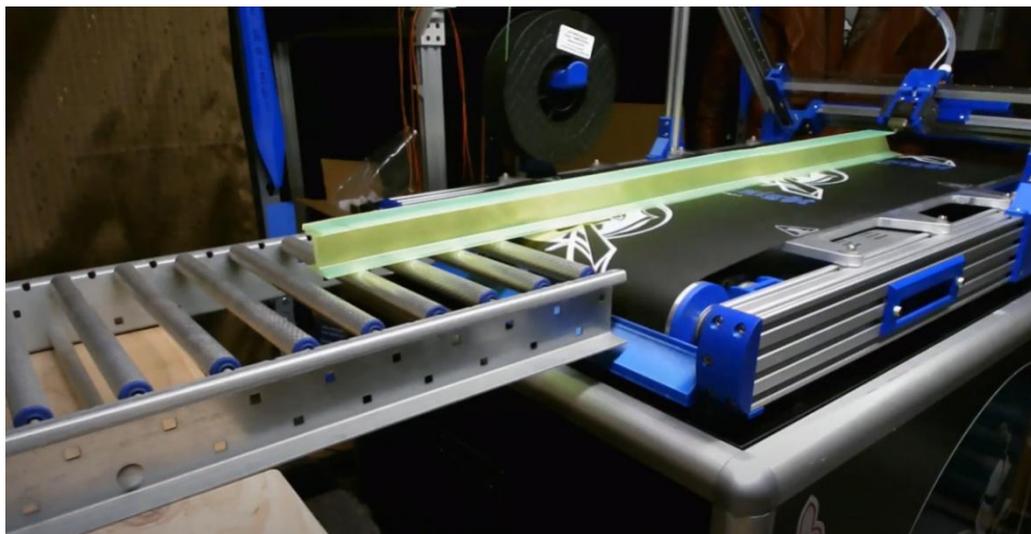
La inclinación del cabezal permite imprimir piezas en voladizo sin necesidad de utilizar soportes como puede apreciarse en la Ilustración 3, lo cual evita la aparición del efecto bridging (Ver “Anexo I: Problemas Frecuentes”).



*Ilustración 3: Impresora Belt. Soportes en voladizo.*

La velocidad promedio de una impresora tipo Belt ronda los 100-120 mm/s, dependiendo de su estructura y del tipo de sistema de extrusión.

Si bien este tipo de impresora está diseñada para imprimir piezas de gran longitud, cuando la misma supera la longitud de la cinta, es necesario colocar soportes adicionales para mantener la estabilidad de la pieza al salir de la cama. Esto incrementa no solo el valor de la misma sino también el espacio necesario para alojarla, lo que la convierte en una impresora orientada a la industria.



*Ilustración 4: Soportes en impresora tipo Belt.*

En cuanto al tipo de cama que utilizan estas impresoras, deben ser de un material flexible capaz de desplazarse por los rodillos. Debido a esto, se imposibilita el uso de materiales rígidos como por ejemplo el vidrio, el cual es uno de los mejores materiales que se pueden utilizar para la cama ya que es barato, plano, firme, durable, fácil de retirar las piezas, fácil de lavar, etc.

Otro inconveniente respecto a la cama es la dificultad de calentar y mantener su temperatura. Como se muestra en el “Anexo I: Problemas Frecuentes”, la mayoría de los inconvenientes a la hora de imprimir ocurren por una mala fijación de la pieza a la cama caliente. Por lo tanto, muchos materiales, como el ABS, quedan imposibilitados de poder usarse en este tipo de impresora.

La impresora tipo Belt es un tipo de impresora con poca trayectoria en el mercado. Usualmente los usuarios generan miles de archivos, modelos, instructivos, informes, etc, dedicados a la personalización y mejora continua de los equipos, los cuales no benefician a este tipo de impresoras debido a que el alcance que tiene dentro de la comunidad es limitado.

### **1.1.2. Impresora Polar**

La impresora Polar lleva su nombre debido al formato de coordenadas con el que trabaja. El plano bidimensional de impresión en el cual trabaja se define por los ejes Radio ( $\rho$ ) y Angulo ( $\theta$ ), generando así un recinto circular en la mesa como se muestra en la Ilustración 5. El volumen de trabajo se completa con el eje Z.

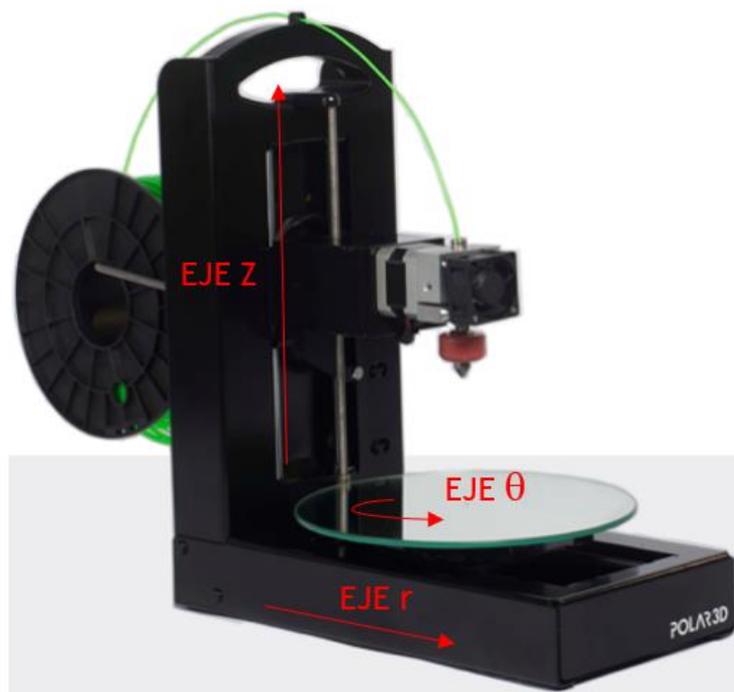


Ilustración 5: Ejemplo de Impresora tipo Polar.

La mesa rota en el sentido del eje  $\theta$  mientras que el resto de los movimientos se distribuyen entre la mesa y el cabezal, dependiendo de la configuración adaptada. Hay otras variaciones de este tipo de impresoras donde el cabezal también tiene un movimiento articulado, sumando un ángulo a las coordenadas.

Este tipo de impresora permite tener una mejor optimización de la zona de impresión en función del volumen utilizado en comparación con el resto de los tipos de impresoras en el mercado, esto se debe a que la zona de impresión es circular. Esta característica, junto con la rotación de la mesa en el eje  $\theta$ , la convierte en el mejor tipo de impresora para fabricar piezas de revolución.

Por otro lado, la rotación de la mesa hace que sea muy difícil colocar una resistencia interna que esté en contacto con la misma, ya que los cables pueden enredarse en el sistema de rotación. Por este motivo se vuelve muy difícil mantener una temperatura constante en la mesa en el caso de que necesite mantenerse caliente.

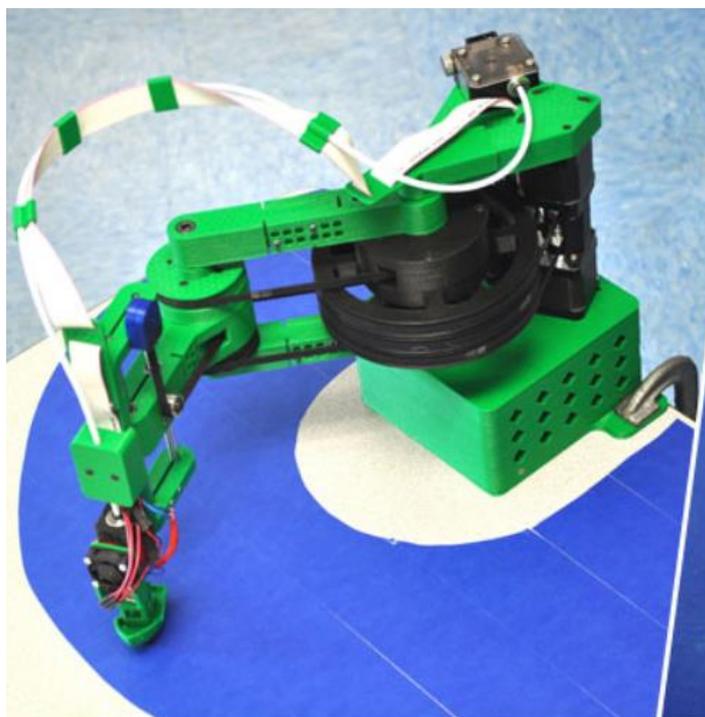
El principal problema de las impresoras polares es la precisión. Al girar de forma circular, hay mucha más precisión en el centro que en la zona externa. Es por ello que no es buena idea escalar agrandando estas impresoras.

Este tipo de impresora, al igual que el tipo Belt, está en desarrollo y tiene un alcance limitado dentro de la comunidad lo cual, también conlleva los inconvenientes ya mencionados.

Existe una versión de las impresoras polares, la cual, tiene un mecanismo que hace que a medida que la mesa realiza una revolución completa, la misma se desplace una cierta distancia en el eje Z. Esto permite trabajar con 2 motores lo que genera una impresora más económica, sin embargo, esta configuración está limitada solamente a piezas de revolución.

### 1.1.3. Impresora SCARA

Este tipo de impresoras están basadas en el tipo de robot SCARA, este robot que es conocido por sus rápidos ciclos de trabajo, excelente repetitividad, gran capacidad de carga y su amplio campo de aplicación sobre todo en líneas de montajes y soldadura por puntos. Este robot se puede adaptar a la impresión 3D colocando un extrusor en el terminal del mismo como se puede apreciar en la Ilustración 6.



*Ilustración 6: Impresora SCARA.*

Este tipo de impresora consta de brazos rígidos y articulados, por lo tanto, para posicionarse en las coordenadas X e Y utiliza 3 motores haciendo movimientos rotatorios, mientras que para desplazarse en el eje Z, generalmente utilizan una guía lineal.

La principal ventaja de la impresión 3D con el tipo SCARA es la automatización de procesos productivos de forma más rápida y sencilla. El movimiento de la cabeza del extrusor es también extremadamente flexible, lo cual abre un montón de nuevas posibilidades de diseños complejos.

Otra característica de este tipo de impresoras es que no cuenta con una cama incorporada, esto genera tanto ventajas como desventajas. En cuanto a las ventajas, el área de impresión está limitada solamente por la longitud de los brazos y los puntos en los que estos puedan posicionarse, por lo general, la zona de impresión es mayor a muchas de las impresoras comerciales. Sin embargo, el hecho de no contar con cama, hace que la zona de impresión no siempre sea plana, lo que podría llevar a una mala calidad de impresión. También se imposibilita el uso de una cama caliente incorporada en la impresora.

En cuanto a su construcción se utilizan piezas robustas, lo cual le permite (A diferencia de la impresora polar) no perder precisión dependiendo de la posición, sin embargo, esto hace que requiera de motores más grandes para su movimiento en comparación con otros tipos de impresoras, aumentando su costo de fabricación.

#### 1.1.4. Impresora Cartesiana

Las impresoras tipo cartesianas, reciben este nombre debido al sistema de coordenadas que utilizan para el movimiento. Este se traduce en tres ejes ortogonales en los cuales puede moverse el cabezal o la cama (Ver Ilustración 7).



Ilustración 7: Ejemplo impresoras Cartesianas.

Las impresoras cartesianas, en general, cuentan con un motor independiente para cada eje. Esta característica hace que sea más sencillo realizar una calibración y puesta a punto,

además de que facilita la detección de posibles errores en el movimiento de cada eje independiente. También, como cada motor trabaja por separado hace que el tiempo de funcionamiento sea menor y debido a esto no se recalientan, además de que se vida útil se extiende.

El hecho de que cada eje sea independiente, posibilita desacoplar cada uno para poder realizarle mantenimiento. Por otra parte, hace que estas impresoras sean las más sencillas de programar.

Este tipo de impresora, generalmente, alcanzan velocidades de impresión de entre 80 y 100 mm/s dependiendo de la configuración.

En la mayoría de las impresoras cartesianas, es necesario el desplazamiento de la mesa, lo cual genera que se descalibre y que en cada impresión sea necesario verificar la condición de la misma.

### 1.1.5. Impresora Delta

Las impresoras 3D de este tipo están basadas en el robot delta. Cuentan por lo general con una cama de impresión circular, que se mantiene fija en la base. El extrusor está suspendido por encima, posicionado mediante tres brazos articulados que se deslizan arriba y abajo sobre unas guías verticales dispuestas en una configuración triangular, como se muestra en la Ilustración 8. Dependiendo de la altura de cada brazo se consigue el posicionamiento del cabezal en todo el espacio disponible para la fabricación.



*Ilustración 8: Ejemplo de Impresora Delta.*

El formato de movimientos delta, hace que varios motores trabajen al mismo tiempo. Esto genera que los mismos estén constantemente exigidos y que la programación de los movimientos sea más compleja, haciendo que sea muy difícil detectar errores individuales.

Este tipo de impresoras, trabajan con un sistema de extrusión Bowden, lo cual permite disminuir el peso en el cabezal, obteniendo así grandes velocidades de impresión, con un promedio de 150mm/s. Sin embargo, cuando se trabaja con altas velocidades, generalmente disminuye la calidad de impresión.

En las impresoras delta, la cama siempre es circular, lo cual permite (Al igual que en las impresoras polares), obtener una buena optimización de la zona de impresión en función del volumen utilizado.

Debido a su configuración, el cabezal se desplaza en todos los ejes, esto hace que la cama siempre se mantenga estática y no se descalibre regularmente, sin embargo, cada vez que se requiera, la calibración suele ser muy compleja. Esto se debe a que las ecuaciones cinemáticas utilizadas en la programación para el posicionamiento del cabezal dependen de que los brazos estén montados de forma paralela y tengan exactamente la misma medida, de lo contrario es muy complicado lograr compensar la calibración.

## **1.2. Selección del tipo de Impresora**

Una vez detallados los distintos tipos de impresoras y explicadas las características de cada una, se procede a seleccionar la más adecuada para cumplir con las especificaciones propuestas en la etapa 2 del proyecto. Entre las principales especificaciones que se buscan cumplir son: la velocidad de impresión (Entre 80 y 100mm/s); que sea ensamblable y fácil de calibrar; que esté pensada para usuarios inexpertos en el tema; que no apunte a un uso industrial; que tenga una buena mantenibilidad; y que sea económica.

Realizando un balance de las características mencionadas anteriormente, se optó por utilizar una impresora cartesiana, la cual cumple con el rango de velocidades establecido y resulta ser la menos compleja en cuanto al funcionamiento y la programación. Esto hace que no se requieran conocimientos específicos y experiencia previa tanto para el montaje como para la calibración. El hecho de que sea sencilla de montar, hace que las piezas sean más accesibles facilitando el mantenimiento del equipo.

Si bien se consideró que la impresora tipo Belt es la mejor opción en cuanto a productividad de piezas, como la impresora a diseñar no es del tipo industrial, este es un parámetro que se puede llegar a resignar.

En cuanto al costo del equipo, la mayoría de los tipos de impresoras comparten un valor similar, a excepción de las impresoras polar y SCARA. La impresora SCARA cuenta con un complejo sistema y robustez que encarece mucho el diseño, por otro lado, algunas impresoras polares brindan la posibilidad de trabajar con dos motores, lo cual reduce el precio. Sin embargo, este tipo de impresoras limita la versatilidad del equipo ya que solo se pueden producir piezas de revolución. Considerando esto, la variación de precio no justifica la selección de este tipo de impresora.

Comprando la velocidad de impresión, se observa que la impresora tipo Delta es la que cuenta con la posibilidad de acceder a una mayor velocidad, sin embargo, el rango de velocidades accesibles con una impresora de tipo cartesiana abarca las velocidades establecidas dentro de las especificaciones.

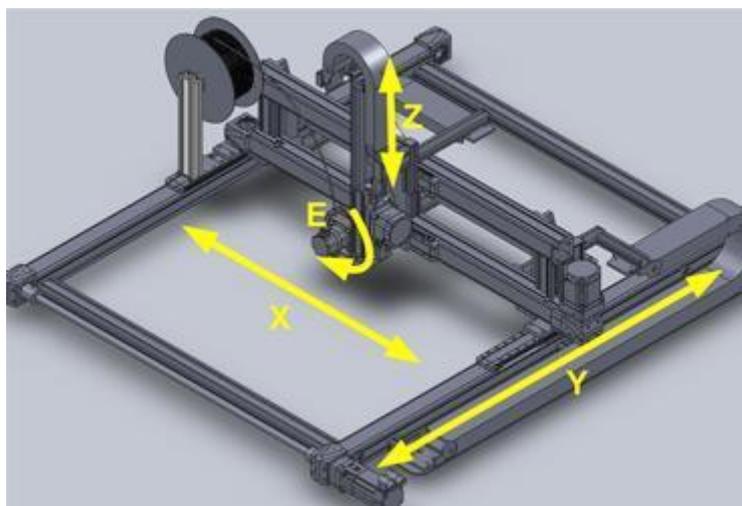
Por último, una característica a resaltar en el tipo de impresora seleccionada es que cuenta con un gran respaldo dentro de la comunidad, lo cual permite tener acceso a material digital creado por distintos usuarios, como así también, una mayor asistencia técnica, la posibilidad de personalización y una mejora continua.

## 2. Movimiento de los ejes

Una vez definido el tipo cartesiano como movimiento para la impresora a diseñar, resta definir cómo será el movimiento de cada uno de los ejes. Existen diferentes tipos de movimiento para cada uno de los mismos en función de las distintas prestaciones que se buscan en una impresora. Las partes móviles pueden variar según las siguientes configuraciones:

- Zona de impresión se mueve en Y mientras que el cabezal se mueve en XZ.
- Zona de impresión se mueve en Z mientras que el cabezal se mueve en XY.
- Cabezal se mueve en XYZ.

Para nombrar los ejes cartesianos de la impresora se consideró que el eje Z siempre es perpendicular a la zona de impresión, el eje Y representa la profundidad de cama, mientras que el eje X indica el ancho de la misma. A modo gráfico, se puede observar esta situación en la Ilustración 9.



*Ilustración 9: Ejes coordenados.*

## 2.1. Tipos de Movimiento de los ejes

A continuación, se describirá el funcionamiento de cada una de las configuraciones mencionadas indicando sus ventajas y desventajas.

### 2.1.1. Zona de impresión en Y, con cabezal en XZ

En este tipo de configuración, el cabezal se desplaza por una guía en sentido del eje x, mientras que dicha guía está sujeta en el eje Z, generando así que todo el cabezal se mueva en un plano vertical, mientras que la base solo se mueve en sentido del eje Y completando así el movimiento cartesiano. (Ver Ilustración 10). Constructivamente, este tipo de configuración es muy sencilla y económica. La inercia del movimiento en el eje X es absorbida por la estructura que soporta el eje Z. Mientras que la base, la cual se mueve en Y, debe soportar una inercia variable a medida que se imprime la pieza.

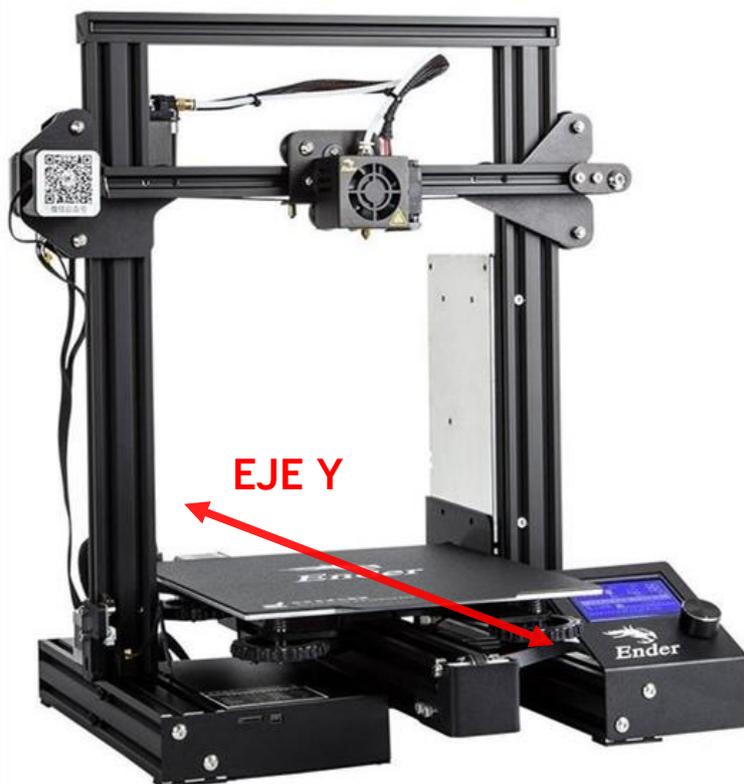
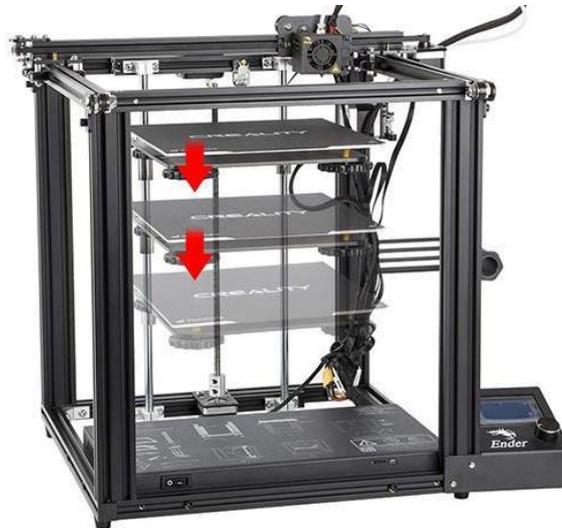


Ilustración 10: Base en Y, cabezal en XZ.

### 2.1.2. Zona de impresión en Z, con cabezal en XY

En este tipo de impresoras, el cabezal se mueve en el plano horizontal, mientras que la zona de impresión se desplaza en sentido vertical. Para sujetar las guías por las que se mueve el cabezal, es recomendable diseñar una estructura en forma de caja o similar, lo cual encarece el diseño de la impresora con respecto a la configuración anterior, sin

embargo, brinda una estructura más rígida a la vez que permite evitar la inercia añadida que genera la impresión de la pieza. Esta última ventaja, permite entre otras cosas lograr mayores velocidades de impresión.



*Ilustración 11: Base en Z, cabezal en X, Y.*

### 2.1.3. Cabezal en XYZ

En este tipo de configuración, la zona de impresión permanece estática mientras que el cabezal se mueve en todos los ejes. Esto hace que la estructura de la misma sea sumamente rígida, por lo cual está orientada a impresiones muy grandes tales como casas, donde se utilizan puentes grúa con una manga extrusora de hormigón (Ver Ilustración 12). El hecho de contar con una estructura tan rígida hace que se genere demasiada inercia en el extrusor, por lo tanto, se vuelve una desventaja en comparación con las configuraciones ya mencionadas.



*Ilustración 12: Cabezal XYZ.*

## 2.2. Selección de tipo de movimiento

Una vez detallados los distintos tipos de movimiento y explicado las ventajas y desventajas de cada uno, se procede a seleccionar el más adecuado para cumplir con las especificaciones propuestas en la etapa 2 del proyecto, en la cual, entre otras cosas, se dispuso de un recinto semicerrado. Si bien esta no es una característica inamovible, se considera que puede brindar múltiples ventajas. Otras características que se busca en el diseño de la impresora es contar con una alta velocidad de impresión y una gran precisión.

Realizando un balance de las características mencionadas anteriormente, se optó por utilizar un tipo de movimiento donde la zona de impresión se mueva en el eje Z y el cabezal se mueva en el plano XY, debido a que las guías necesarias para mover al cabezal brindan una estructura en forma de caja, lo cual facilita la creación del recinto semicerrado. También, el hecho de desplazar la zona de impresión en el eje Z, hace que los movimientos en el plano XY mantengan una inercia constante, lo que permite obtener mayores velocidades de impresión y una mejor precisión sobre todo en las zonas donde sea necesario un cambio de movimiento. Adicionalmente, este tipo de movimiento permite ahorrar volumen en el diseño de la impresora, ya que el cabezal se desplaza por un área ya delimitada por la zona de impresión y no es necesario expandir la misma.

Cabe destacar que este tipo de movimiento exige una estructura un poco más compleja que la que admite el movimiento de la zona de impresión en Y el cabezal en el plano X, Z, sin embargo, esta es una condición aceptable en el diseño, ya que igualmente se logra cumplir con las especificaciones del proyecto.

### 3. Sistema de transmisión eje Z

El movimiento en el eje Z es muy simple en comparación a los movimientos XY. En este eje, solo se debe levantar la cama de a pequeños incrementos durante la impresión (de acuerdo al espesor de la capa). Es importante que el ascenso de la mesa sea parejo y mantenga la perpendicularidad con la boquilla caliente (hotend) en todo momento.

Dentro de los mecanismos utilizados comercialmente para este tipo de aplicación, generalmente se utilizan los tornillos de potencia, los sistemas neumáticos e hidráulicos y los sistemas de correas.

#### 3.1. Tipos de sistemas de transmisión

##### 3.1.1. Tornillo de potencia

Un tornillo de potencia es un dispositivo que se utiliza en maquinaria para cambiar el movimiento angular a movimiento lineal y, por lo general, para transmitir potencia. Se usan en muchas aplicaciones, como tornillos de avance en máquinas herramientas, mordazas, gatos mecánicos para elevación de vehículos, prensas y otros dispositivos de elevación de cargas, máquinas universales de tracción y compresión, etc.



*Ilustración 13: Ejemplo de movimiento en el eje Z.*

Comúnmente, la rosca del tornillo utilizado en este tipo de mecanismo es cuadrada o trapezoidal, también conocida como ACME (ver Ilustración 14).

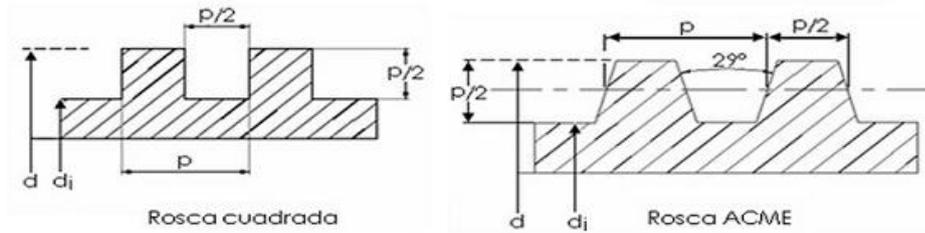


Ilustración 14: Clases de rosca.

Este tipo de rosca tiene la ventaja sobre otras que cumplen con la condición de autobloqueo, esto se da cuando el coeficiente de fricción de la rosca es igual o mayor a la tangente del ángulo de avance de la misma (ver Ilustración 15). Esta condición da la ventaja de poder usar este tipo de mecanismo cuando se requiera elevar una carga y evitar que, ante cualquier tipo de falla, caiga generando un accidente.

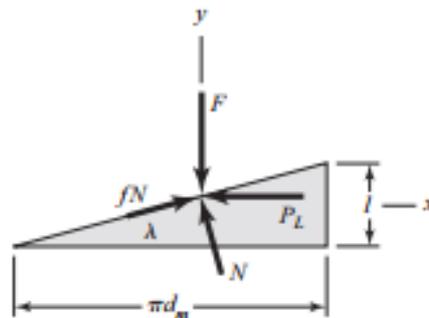


Ilustración 15: Distribución de fuerzas sobre la rosca.

Generalmente, la rosca Acme no resulta tan eficiente como la rosca cuadrada, debido a la fricción adicional que provoca la acción de cuña. Sin embargo, es más fácil de maquinar y permite el empleo de una tuerca dividida, la cual se ajusta para compensar el desgaste. Por otro lado, la rosca cuadrada presenta mayor concentración de tensiones debido a los ángulos rectos.

Un efecto adverso a tener en cuenta es el desgaste del material generado por el rozamiento constante entre las partes puede afectar a la precisión de la impresión debido a los juegos generados. Este efecto puede reducirse aplicando un lubricante adecuado.

### 3.1.2. Sistemas neumáticos e hidráulicos

Un cilindro neumático o hidráulico es un dispositivo mecánico que transforma la energía potencial del fluido de trabajo en energía cinética. Este genera trabajo a partir de un movimiento lineal de avance o retroceso.

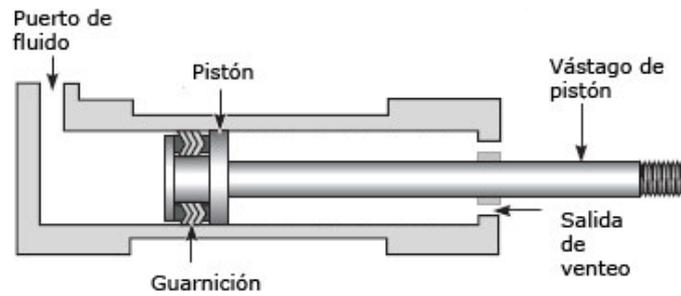


Ilustración 16: Bosquejo de un cilindro.

Es importante separar ambos sistemas ya que cada uno tiene características diferentes, aunque trabajen de manera similar. Los sistemas neumáticos utilizan aire u otro gas energizado para realizar movimientos. Se caracteriza por trabajar con una velocidad más grande que un sistema hidráulico, pero con una fuerza inferior. Es un sistema seguro ya que trabaja a bajas presiones (menos de 10 bar) y ante una fuga, solo se libera aire.

Los sistemas hidráulicos utilizan aceite energizado para realizar trabajo. Puede realizar grandes fuerzas a una baja velocidad, dándole precisión al movimiento del embolo.

Sin embargo, una característica a contemplar es toda la instalación adicional que requieren para energizar el fluido.

### 3.1.3. Sistema de correas

Un sistema de transmisión por correa es un conjunto de dos poleas acopladas por medio de una correa con el fin de transmitir fuerzas y velocidades angulares entre ejes paralelos que se encuentran a una cierta distancia.

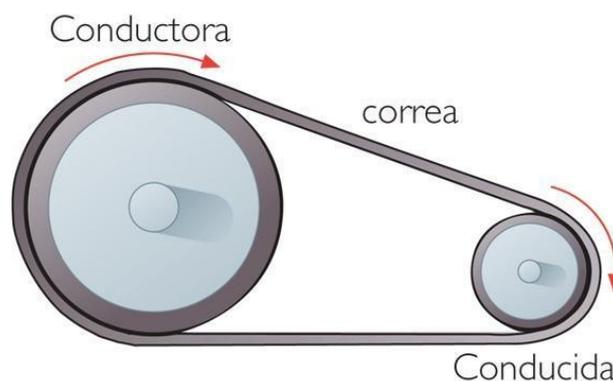


Ilustración 17: Sistema de transmisión de correas.

La potencia se transmite debido a la fricción entre las poleas y la correa. Este efecto se puede incrementar con diferentes tipos de perfiles de correa dependiendo de la situación.

Este mecanismo tiene la particularidad de ser simple y económico, con un buen rendimiento mecánico. Sin embargo, las correas deben ser controladas con frecuencia para evitar estiramientos o posibles roturas.

### **3.2. Selección de Sistema de transmisión eje Z**

Habiendo planteado las distintas posibilidades y basándose en las especificaciones del producto, se prosiguió a seleccionar el sistema de transmisión.

Particularmente, al buscar una altura de capa menor a 100 micrones, es necesario tener precisión en el movimiento de la mesa. El sistema de correas tiene la desventaja de que, al estirarse la correa, se debe realizar una calibración y tensado de la misma de forma periódica. Por otro lado, si bien esto se puede conseguir con un sistema neumático o hidráulico, el costo de los equipos auxiliares es comparable con el presupuesto planteado en las especificaciones y produce que no sea viable.

En el caso del tornillo de potencia, esto se logra por medio del sistema electrónico que controla el giro del motor en función del paso del tornillo.

Teniendo en cuenta que se busca que la impresora sea confiable y amigable con el usuario, es importante que no requiera de un mantenimiento o calibraciones frecuentes. En el sistema del tornillo de potencia, a pesar de requerir un mantenimiento básico (lubricación), es sustancialmente menor al requerido por las otras posibilidades.

Por otro lado, un tema de gran importancia es la seguridad e integridad del equipo. Ante un posible corte energético, el sistema de tornillo de potencia y el sistema neumático o hidráulico (aunque de menor manera) protegen a la cama manteniéndola en posición o descendiendo lentamente.

Tomando como base el análisis anterior, se decidió que el sistema de transmisión que mejor se adapta a los requisitos impuestos es el tornillo de potencia. En particular, se utilizará una rosca Acme junto a su tuerca correspondiente ya que es económica, comercial y presenta menor concentración de tensiones.

Teniendo en referencia los equipos actuales del mercado, encontramos varios sistemas donde el tornillo de potencia está en un extremo de la mesa, acompañado por 2 varillas lisas de guía. Este sistema tiene la gran desventaja de estar en voladizo, lo que significa que va a estar sometido a un gran esfuerzo de flexión. Particularmente, cualquier fuerza

que se aplique sobre la mesa va a tender a flexionarla elásticamente o incluso, plásticamente, trayendo un problema permanente a la impresión.

Debido a lo mencionado anteriormente, se plantea tener las dos guías lineales posicionadas en frente, al otro lado de la cama. De esta manera se mantienen los 3 puntos de apoyo para distribuir esfuerzos y evitar la flexión de la misma.

## 4. Movimiento ejes XY

Como ya se definió anteriormente, el cabezal de la impresora es el encargado de desplazarse en el plano XY. Para cumplir con este objetivo, se plantean distintos tipos de transmisión de movimiento a las partes móviles, los cuales son, mediante piñón-cremallera o mediante poleas y correas.

### 4.1. Transmisión mediante piñón-cremallera

El mecanismo piñón-cremallera transforma el movimiento giratorio de un eje, en el que va montado un piñón, en movimiento rectilíneo, al engranar los dientes del piñón con los dientes de una cremallera, la cual, puede desplazarse o permanecer fija, haciendo que se desplace el piñón.

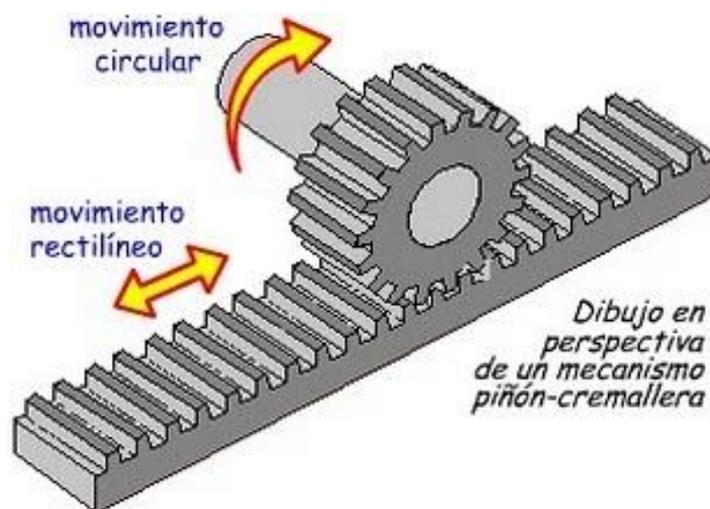
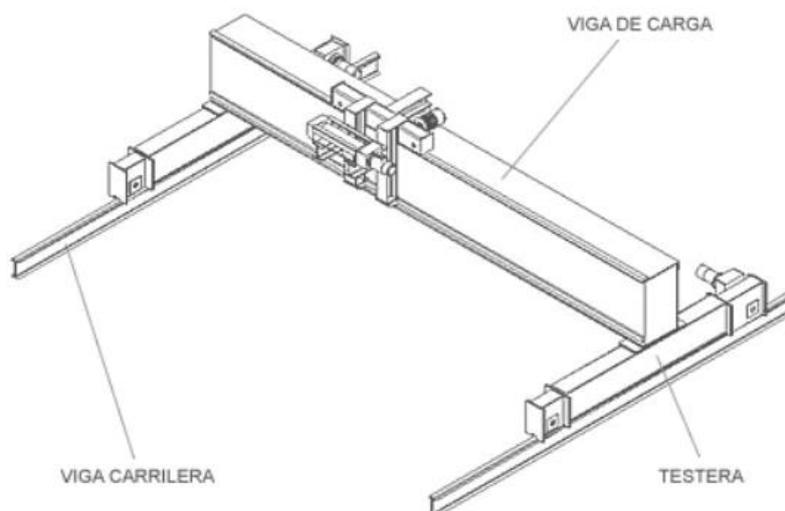


Ilustración 18: Movimiento Piñón - Cremallera.

En el caso aplicado a una impresora 3D donde se busca un movimiento en el plano XY, se plantearía una configuración similar al movimiento de un puente grúa, donde el cabezal se mueve a través de una de carga, la cual se encuentra apoyada sobre una viga carrilera como se muestra en la Ilustración 19.



*Ilustración 19: Piñón - Cremallera en Impresora 3D.*

La configuración planteada permite colocar el cabezal sobre una viga considerablemente robusta, lo cual permitiría incrementar el peso del cabezal sin afectar demasiado la deflexión de la viga. Sin embargo, si bien, el mecanismo de piñón-cremallera permite realizar grandes fuerzas de empuje, se debe tener en cuenta que el costo de fabricación y de los materiales es elevado (Sólo un piñón para una impresora 3D puede valer alrededor de 13 dólares), además de que no son elementos de recambio comerciales, y generalmente requieren de un plan de mantenimiento. Cabe destacar que el peso que pueda llegar a tener el cabezal (Aun contando con un sistema de extrusión directa), no llega a ser tan alto como para justificar el uso de una viga de carga como la que pueda requerir este sistema.

#### **4.2. Transmisión mediante poleas y correas**

Se trata de sistemas formados por poleas situadas a cierta distancia, con ejes normalmente paralelos, que giran simultáneamente transmitiendo el movimiento desde el eje de entrada o motriz hasta el eje de salida o conducido mediante una correa.

Existen diferentes tipos de correas, sin embargo, sólo se analizará el uso de la correa dentada (Ver imagen), ya que es la única que puede brindar la precisión necesaria para cumplir con las especificaciones y además disminuye el resbalamiento durante el arranque.



Ilustración 20: Polea y correa.

El sistema de poleas y correas es un sistema de transmisión económico a comparación de otros sistemas (Un juego de correa y polea para una impresora puede rondar alrededor de 6 dólares), el cuál brinda flexibilidad y un fácil mantenimiento e instalación. Dicho sistema no requiere de lubricación y permite una operación silenciosa al no tener contacto entre piezas rígidas. Sin embargo, requiere de ajustes frecuentes debido a que las correas tienden a estirarse.

### 4.3. Selección del tipo de transmisión

A continuación, se realiza una tabla a modo de resumen, comparando las características principales de ambos métodos:

	Piñón - Cremallera	Polea - Correa
Ventajas	Grandes fuerzas de empuje Mayor robustez Menor recambio de piezas	Menor costo Piezas comerciales Flexibilidad Fácil mantenimiento
Desventajas	Requiere mantenimiento periódico Alto costo de piezas	Deterioro/recambio de piezas

Tabla 1: Ventajas y desventajas sistema de transmisión XY.

Una vez realizada la comparación de ambos métodos, se consideró que el sistema de transmisión que mejor se adapta a las especificaciones del producto es el sistema de poleas y correas. Esto se debe a que el costo de colocar una cremallera que permita a cada eje recorrer las distancias de impresión establecidas en las características del producto (220x220 mm) es mucho mayor que utilizar correas. Además, el peso máximo que pueda llegar a tener el cabezal, no justifica la robustez que implica colocar las carrileras y la viga de carga.

Para reducir los intervalos de inspección debido al estiramiento de la correa se consideró el uso de resortes de torsión los cuales funcionarán como tensores automáticos de las correas, como se puede apreciar en la Ilustración 21.



*Ilustración 21: Tensor para correa.*

#### **4.4. Configuración de la transmisión**

Una vez establecido el sistema de poleas y correas como método de transmisión, se debe establecer cuál es la mejor configuración para llevar a cabo el movimiento.

Para esto se proponen distintos estilos de accionamiento propuestos, los cuales serán presentados a continuación:

- Cartesiano
- CoreXY

##### **4.4.1. Configuración de movimiento cartesiano**

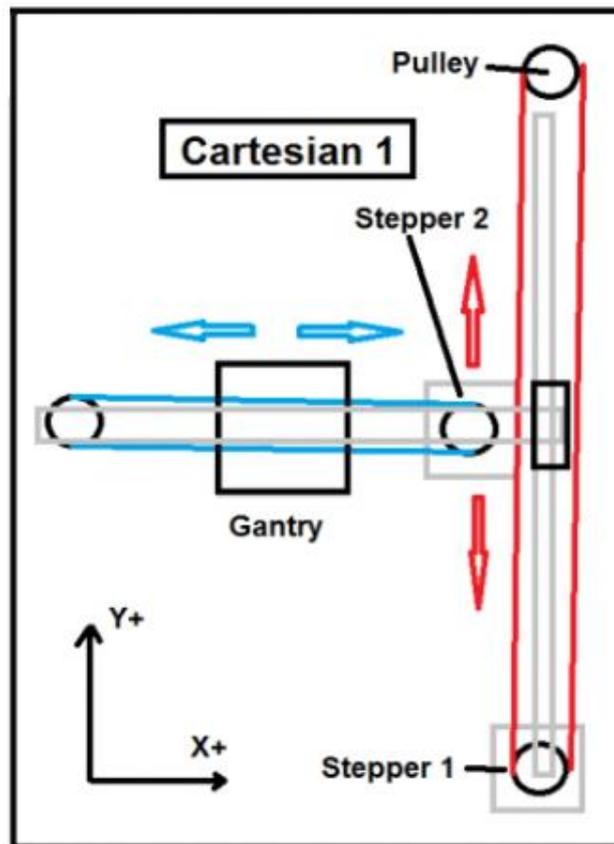
Este tipo de configuración se destaca por tener uno o más motores que accionan individualmente a cada eje.

En general, este tipo de configuración es fácil de entender por el usuario y de implementar. Los cálculos que debe realizar el procesador para lograr el movimiento son simples y directos. Además, esta configuración cuenta con gran soporte dentro de la comunidad.

La distribución del movimiento cartesiano se puede aplicar de distintas maneras:

- Accionando sobre uno de los ejes del cabezal.
- Con accionamiento externo a los ejes del cabezal.

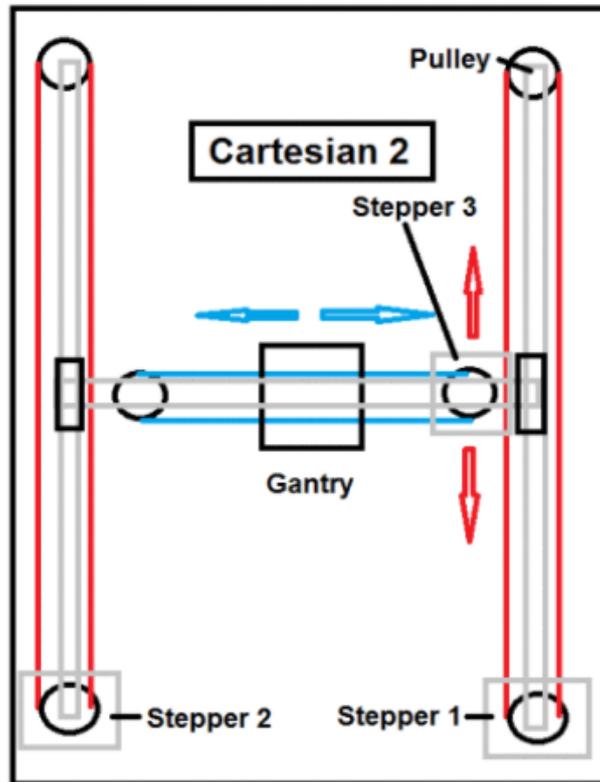
Para el primer caso, es necesario que uno de los motores siempre se encuentre colineal a uno de los ejes del cabezal, por lo tanto, el motor se debe desplazar solidario al cabezal en todo momento (Como se muestra en la Ilustración 22).



*Ilustración 22: Movimiento accionado sobre uno de los ejes del cabezal.*

Una característica de este tipo de configuración es que la estructura donde se sostiene el cabezal debe ser lo suficientemente rígida como para soportar el peso del cabezal y del motor sin flexionarse más del rango establecido en las especificaciones. Además, los motores deben tener la suficiente potencia como para absorber la inercia en el movimiento que genera el peso extra del motor.

Una variante a este tipo de configuración se logra colocando 2 motores que desplacen al eje del cabezal como se muestra en la Ilustración 23.



*Ilustración 23: Movimiento con accionamiento externo a los ejes del cabezal.*

Esta variante permite distribuir el esfuerzo de los motores, sin embargo, encarece el producto ya que es necesario agregar un motor extra. Además, se debe lograr un sincronismo entre ambos motores para evitar que el carro pierda la alineación.

Por otra parte, la configuración de movimiento cartesiano con accionamiento externo a los ejes del cabezal, tiene como característica que los motores permanecen fijos a la estructura (Ver Ilustración 24).

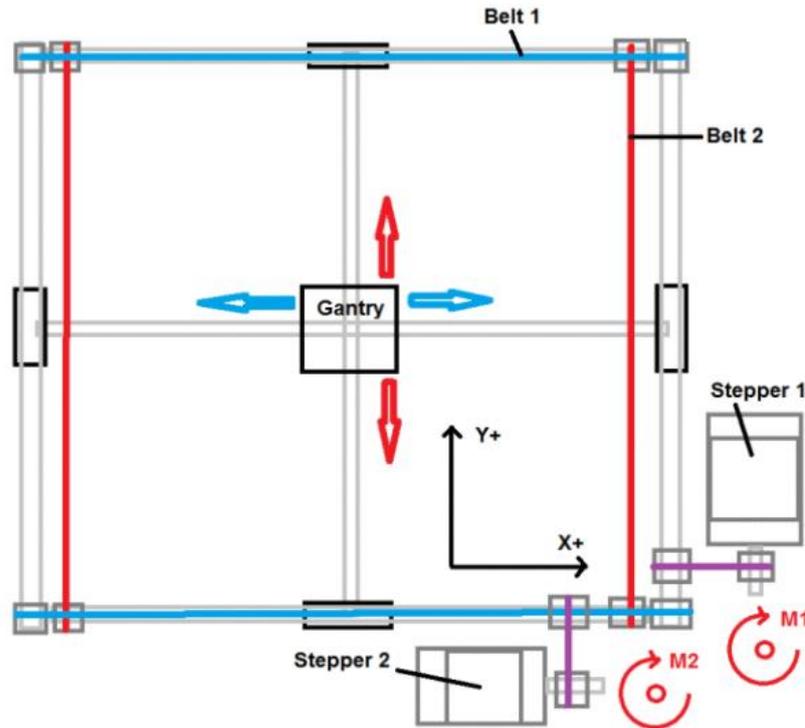


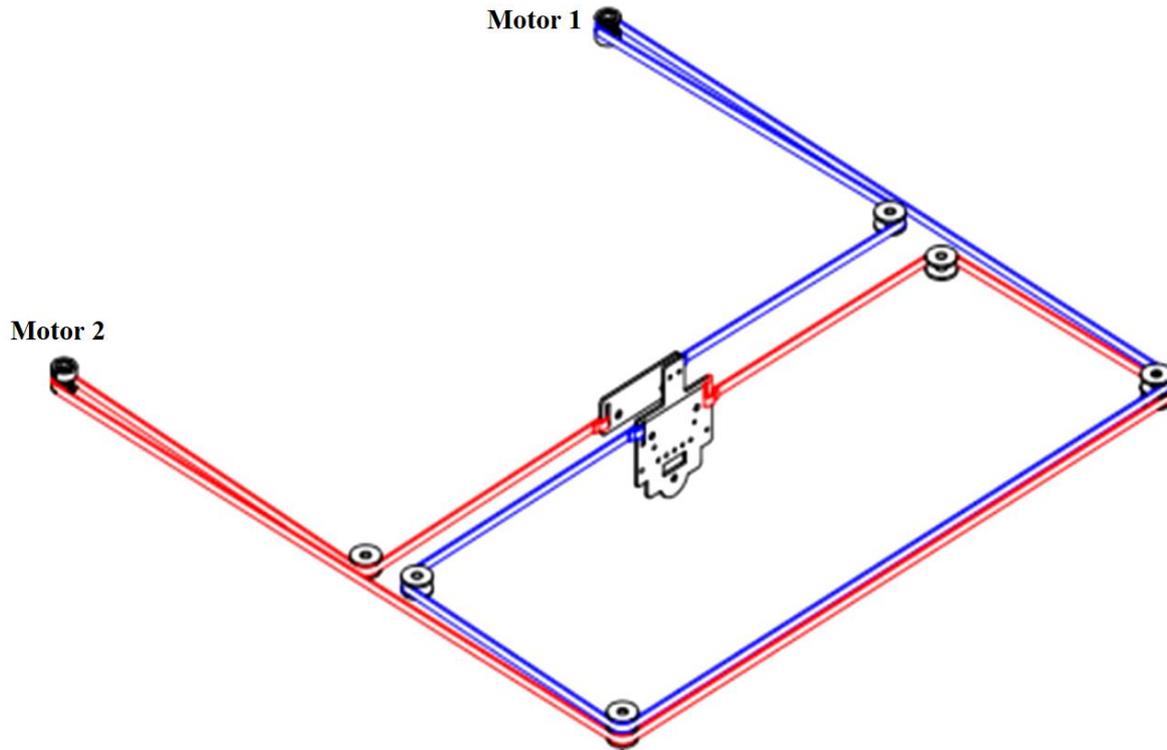
Ilustración 24: Movimiento con accionamiento externo a los ejes del cabezal.

Esta configuración permite disminuir la inercia en el movimiento con respecto a la configuración anterior, ya que no es necesario mover ninguno de los motores. Por otro lado, es necesario utilizar cuatro correas para mantener la rectitud en el movimiento y así evitar que el cabezal se cruce.

#### 4.4.2. Configuración de movimiento CoreXY

Esta configuración se destaca por tener un sistema de coordenadas que rota 45° respecto del movimiento del cabezal, por lo tanto, no tiene un motor específico para eje, sino que cuenta con dos motores cuyas combinaciones de movimiento permiten obtener el desplazamiento deseado.

En la Ilustración 25 se muestra un esquema generalizado de la configuración de movimiento CoreXY.



*Ilustración 25: Configuración Core XY.*

En la configuración CoreXY, cada movimiento deseado debe realizarse combinando el giro de ambos motores, por lo tanto, el esfuerzo que necesita hacer cada motor se distribuye, disminuyendo así la potencia individual de cada uno. Sin embargo, la complejidad en el movimiento dificulta la detección de fallas de manera visual por parte del usuario.

#### **4.5. Selección de la configuración de transmisión**

Una vez realizada la comparación de ambos métodos, se consideró que la configuración de transmisión que mejor se adapta a la idea de la impresora es la configuración cartesiana con accionamiento externo a los ejes del cabezal.

La elección de la configuración se basa en distintas causas, principalmente que la configuración cartesiana tiene una cinemática menos compleja que la configuración CoreXY. Esto permite una mejor comprensión del sistema y de las posibles causas en el caso de detectarse falla por parte de los usuarios menos experimentados, además, facilita la puesta a punto inicial ya que se puede identificar con claridad las compensaciones que deben realizarse en cada motor.

Otro motivo de elección de dicha configuración es la disminución del peso en las partes móviles del sistema, lo cual se logra al colocar los motores fuera de los ejes de desplazamiento del cabezal.

## 5. Sistema de Extrusión

### 5.1. Tipos de sistemas de Extrusión

El extrusor en una impresora 3D tipo FDM consta de un elemento mecánico accionado por un motor cuyo objetivo es traccionar el filamento desde la bobina para enviarlo al cabezal donde se funde y se deposita en la zona de impresión.

Los distintos tipos de extrusores se pueden clasificar según el montaje en 2 clases:

- **Extrusión directa:** El mecanismo se monta sobre el cabezal de impresión de manera que el filamento ingresa inmediatamente a la zona caliente para ser fundido.
- **Sistema Bowden:** Por definición, el sistema Bowden es un sistema de accionamiento mecánico constituido por un cable desplazable en el interior de una vaina flexible. Esto permite que pueda ser montado en cualquier punto fijo.

En la siguiente ilustración se muestran los distintos tipos de extrusor según el montaje:

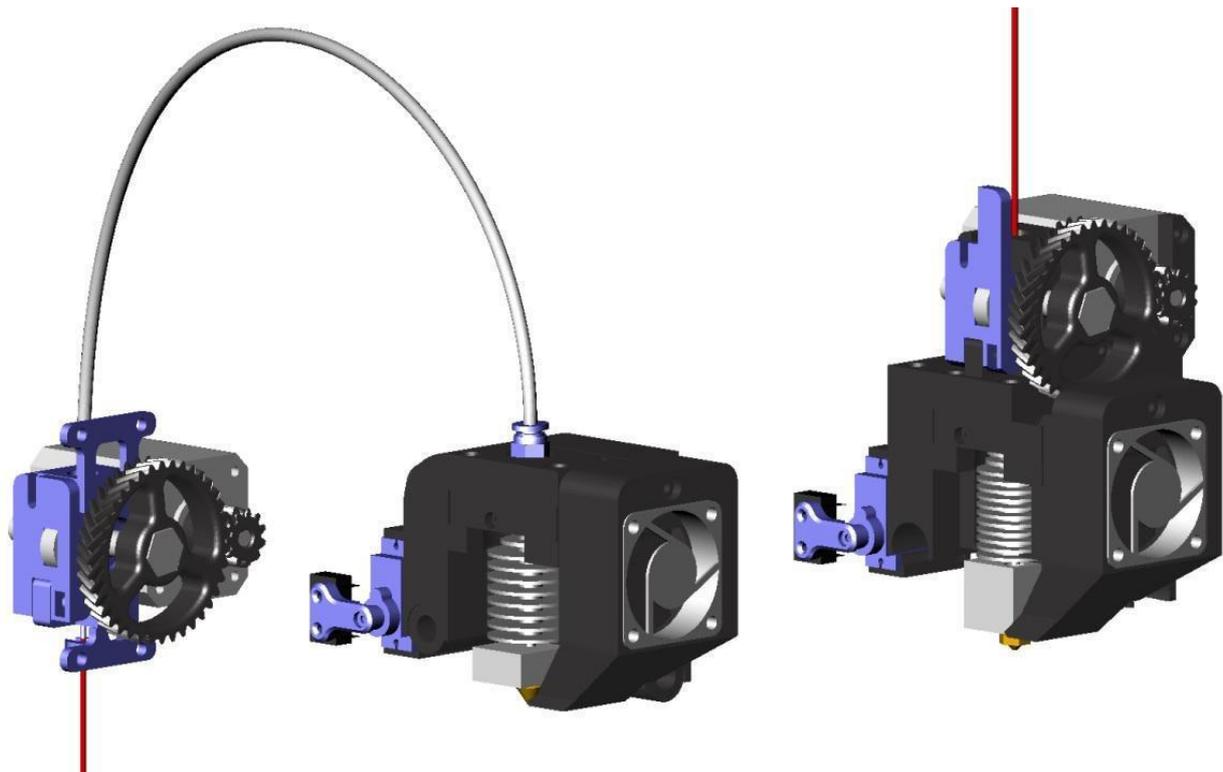
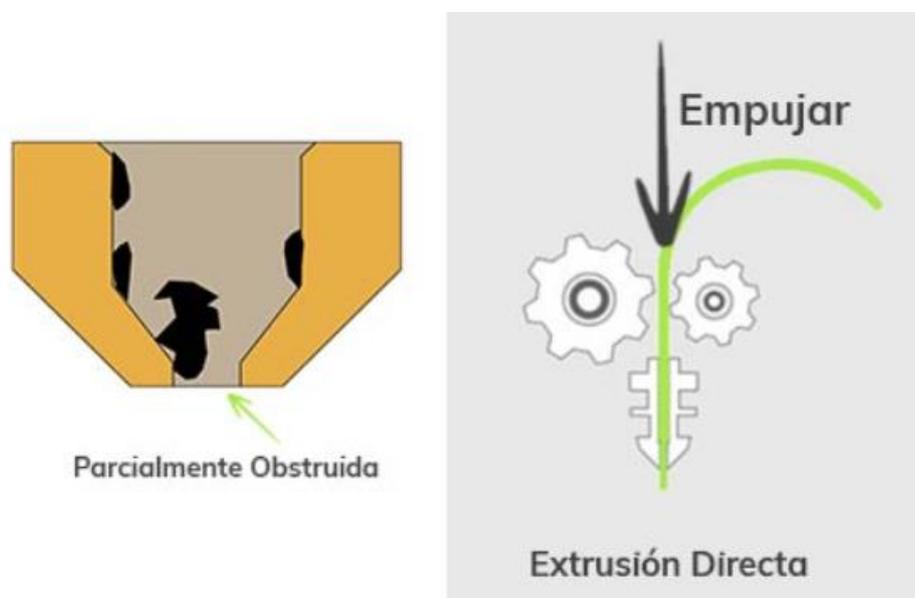


Ilustración 26:a) Extrusor tipo Bowden b) Extrusión directa.

A continuación, se detallarán las ventajas y desventajas de los distintos sistemas de extrusión.

### 5.1.1.Extrusión directa

Como se mencionó anteriormente, este sistema se monta sobre el cabezal de impresión. Debido a esto se puede tener una mayor precisión sobre el caudal del filamento ya que el material extruido se envía directamente a la zona caliente, reduciendo la posibilidad de que el mismo se comprima y/o flexione durante el recorrido. Es por este motivo que este tipo de sistema permite la impresión de materiales flexibles y materiales con cualquier tipo de diámetro, dando la posibilidad también, en el caso de un atasco, de empujar el filamento, para obligarlo a salir por la boquilla (Ver Ilustración 27). El hecho de tener mayor control en el caudal del filamento permite obtener piezas con mayor calidad de impresión.



*Ilustración 27: Obstrucción en sistema de extrusión directa.*

Sin embargo, este sistema obliga a colocar el motor de accionamiento en el cabezal, lo cual provoca un mayor peso y mayor inercia en el caso de que el cabezal deba moverse, provocando fallas en la pieza al alcanzar grandes velocidades de impresión (Ver Ilustración 28). Es importante tener en cuenta que el peso de un motor promedio utilizado en el sistema de extrusión es de alrededor de 500 gramos, mientras que el resto del cabezal puede pesar alrededor de 100 gramos, por lo que el sistema de extrusión directa puede incrementar el peso del cabezal aproximadamente cinco veces. Otro inconveniente de la extrusión directa es que, si la impresora es cerrada, se dificulta mucho intervenir el mismo en caso de un posible atasco o un mantenimiento de rutina (Ver Ilustración 29).



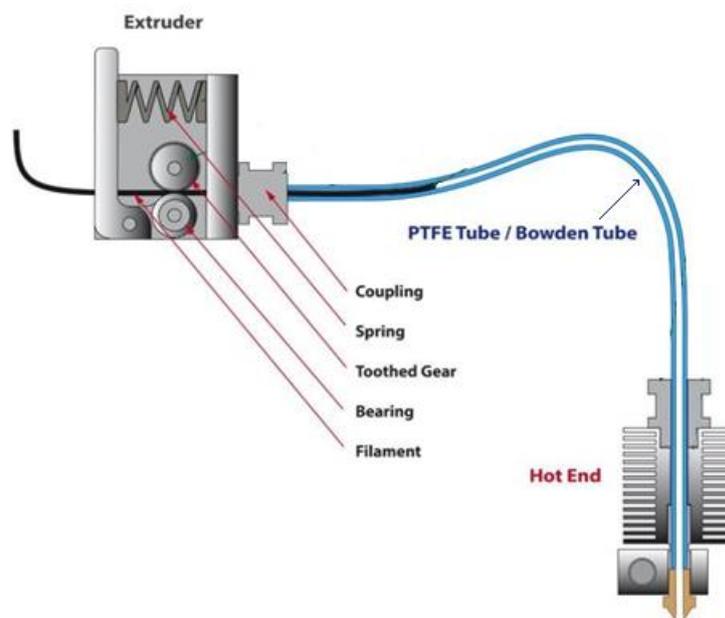
*Ilustración 28: Efecto de las vibraciones provocadas por la inercia en la calidad de impresión.*



*Ilustración 29 :Ejemplo acceso complejo en impresoras semi cerradas.*

### 5.1.2. Sistema Bowden

Este sistema cuenta con la posibilidad de montarse en cualquier punto de la impresora, por lo que se puede colocar en zonas donde sea fácil su intervención. Esta ventaja se suele aprovechar para colocar el extrusor en la estructura de la impresora, quitándolo del cabezal y reduciendo así el peso y la inercia del mismo, generando que este pueda desplazarse a mayores velocidades. Para comparar, la velocidad máxima de una impresora con sistema de extrusión directa ronda los 80 mm/s, mientras que una impresora con sistema de extrusión Bowden puede alcanzar los 100 mm/s, es decir, aproximadamente un 25% más rápida. También este sistema obliga a colocar una vaina flexible (Ver Ilustración 30) por donde se desplaza el filamento para guiarlo al cabezal, la cual adicionalmente protege al filamento de su exposición al ambiente evitando que ingresen partículas de polvos las cuales al quemarse crean carbonos que atascan la boquilla y son difíciles de quitar.



*Ilustración 30: Partes del sistema Bowden.*

En contraposición con el sistema de extrusión directa, el Bowden tiene un menor control sobre el caudal del filamento. Además, debido al trayecto que debe recorrer el filamento hace que se vuelva más difícil imprimir materiales flexibles y de diámetros pequeños (Ilustración 31) debido a que hay un cierto juego necesario entre el filamento y la vaina. Por lo general, en este tipo de sistema se suelen utilizar filamentos de 2,85mm de diámetro, los cuales son menos esbeltos en comparación con los demás filamentos comerciales de 1,75mm de diámetro, y así se intentan reducir los problemas anteriores.

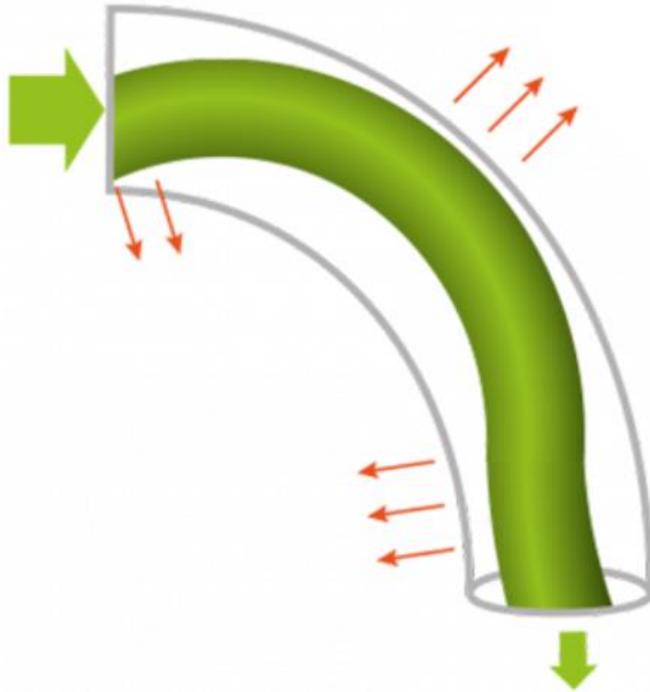


Ilustración 31: Flexión del filamento dentro de la vaina.

Otra desventaja es que cuando no se desea extruir material no, bastará con dejar de empujar el filamento, ya que la presión que se utilizó para hacer fluir el material deja una presión residual, la cual hará que el material siga fluyendo. Es por esto que cada vez que el cabezal se mueva a una nueva posición y no sea necesario aportar material, se deberá retraer el filamento la distancia necesaria para que este se descomprima y se libere la presión en el interior. Ya que en general los plásticos no son materiales rígidos, cuanto mayor sea la distancia entre el extrusor y el cabezal, mayor será la compresión del filamento necesaria para alcanzar la presión adecuada en la boquilla. Esto hace que también la distancia de retracción necesaria para liberar esa presión sea mayor. Es por esto que mientras que en sistemas directos las distancias de retracción suelen estar entre 0.8 mm y 2 mm, en sistemas de extrusión Bowden pueden alcanzar valores de 5 o 6 mm. Si no se retrae el material, se puede generar el fenómeno conocido como *stringing* (Ver anexo I).

A continuación, se resumirán las ventajas y desventajas de ambos sistemas en una tabla:

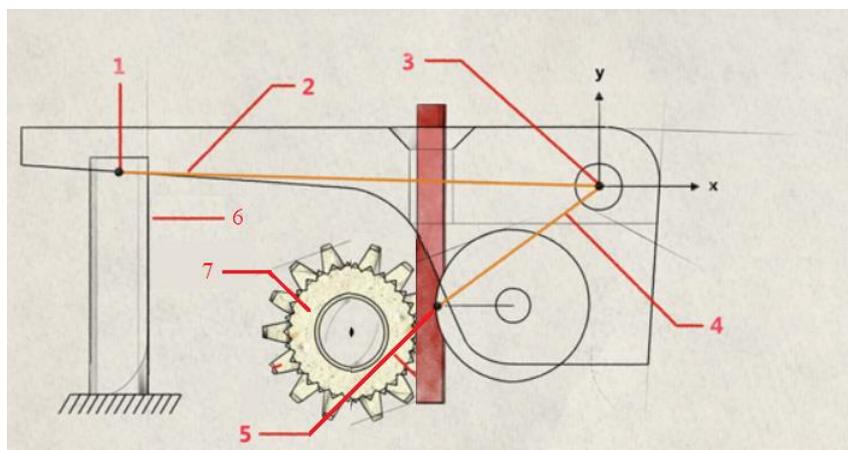
Sistema Bowden	Extrusión Directa
Fácil montaje/desmontaje Fácil mantenimiento Reducción de peso en las partes móviles Menor contaminación del filamento Mayor velocidad de impresión	Mayor control sobre el caudal de filamento Mejor calidad de impresión Versatilidad de material de impresión Posibilidad de desatascar boquilla Posibilidad de retracción del material
Dificultad para imprimir materiales flexibles Dificultad para imprimir diámetros pequeños Peor calidad de impresión Problemas de retracción del material Menor control sobre el caudal del filamento	Mayor peso en el cabezal Dificultad en cuanto al mantenimiento Menor velocidad de impresión

Tabla 2: Comparación Sistema Bowden y Sistema directo.

### 5.2. Sistema de tracción

Independientemente del montaje del extrusor, el sistema de tracción del mismo consta de un engranaje accionado por un motor el cual comprime el filamento contra otra superficie y lo impulsa hacia la zona caliente. La compresión que debe hacer el engranaje depende del tipo de material, para materiales flexibles, se necesita menor compresión, es por este motivo que, si se desea tener versatilidad a la hora de imprimir materiales, es necesario poder regular esta compresión.

La forma más simple de regular la compresión del filamento es utilizar un mecanismo de palanca y resorte, donde al comprimir o descomprimir el resorte se puede variar la distancia entre el engranaje y la superficie, ajustando así, la presión ejercida sobre el filamento. En las siguientes imágenes se muestra esquemáticamente cómo funciona el sistema y cómo se aplica en un extrusor comercial:



- 1) Punto de presión del resorte sobre la palanca
- 2) Brazo largo de palanca
- 3) Eje de giro
- 4) Brazo corto de palanca
- 5) Punto de presión del rodamiento sobre la superficie
- 6) Resorte
- 7) Engranaje fijo

Ilustración 32: Esquema del sistema de regulación del extrusor.

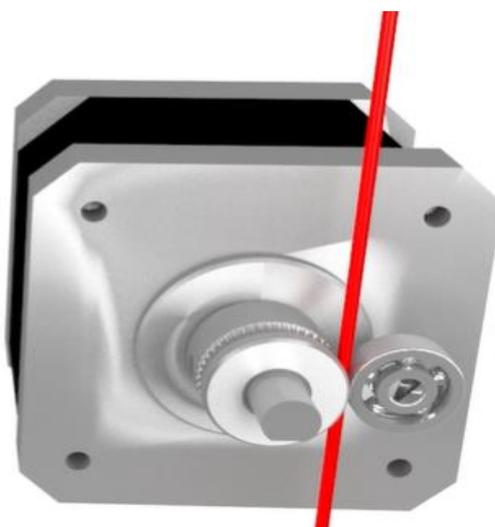


*Ilustración 33: Extrusor comercial.*

Además del sistema de regulación del extrusor, una característica importante es la de definir la superficie contra la que se comprimirá el filamento, para esto se presentarán dos alternativas: Tracción a través de corona y rodamiento (Ver Ilustración 34); o bien, tracción a través de dos engranajes (Ver Ilustración 36).

### **5.2.1. Tracción a través de corona y rodamiento**

En este caso la fuerza de tracción para desplazar el filamento la realiza el engranaje que es accionado directamente por el motor o a través de un reductor, mientras que el rodamiento solo sirve como superficie para presionar el filamento y hacer que este se desplace.



*Ilustración 34: Tracción a través de corona y rodamiento.*

A continuación, se podrá observar la distribución de fuerzas en dicho sistema:

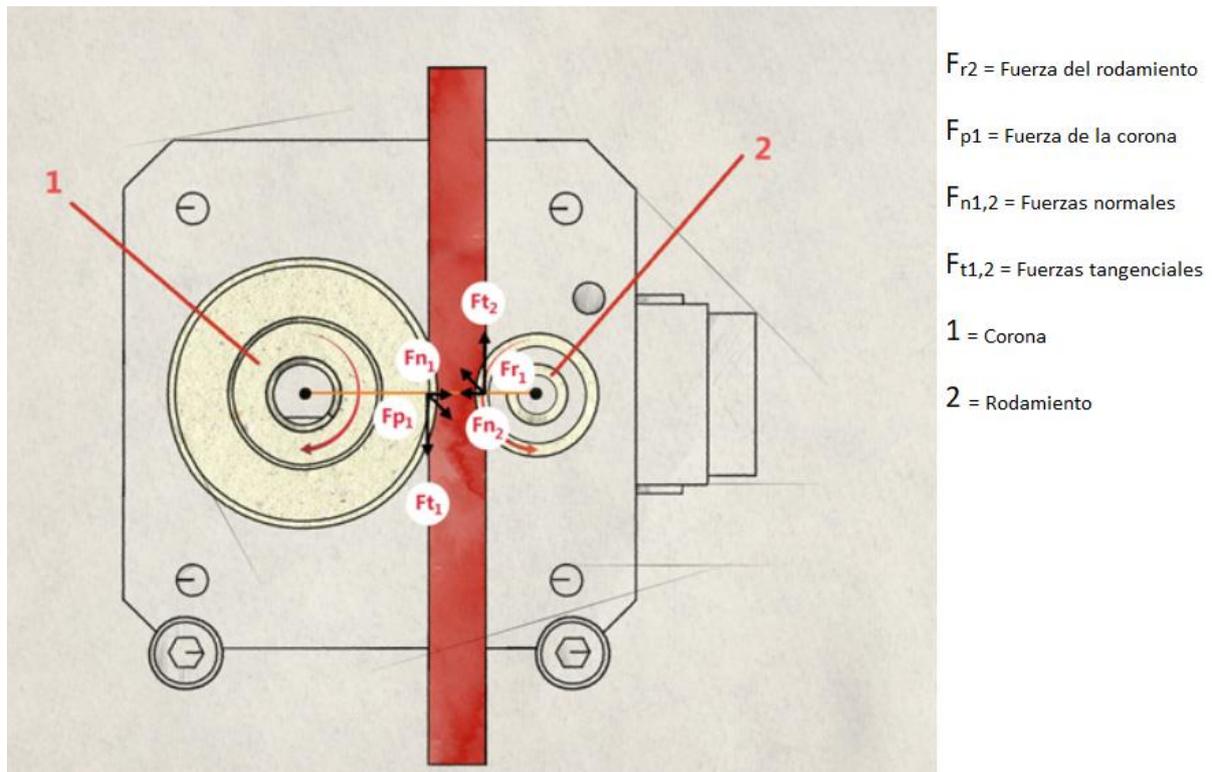


Ilustración 35: Distribución de fuerzas. Engranaje-Rodamiento.

La interacción de fuerzas en el sistema ocurre de la siguiente manera:

- La fuerza de tracción de la corona ( $F_{p1}$ ) se descompone en una fuerza normal ( $F_{n1}$ ) y otra tangencial ( $F_{t1}$ ), en sentido de extrusión del filamento.
- La fuerza de entrada del rodamiento ( $F_{r2}$ ) se descompone en una fuerza normal ( $F_{n2}$ ) y otra tangencial ( $F_{t2}$ ), en sentido contrario de extrusión del filamento.
- Cuanto mayor sea  $F_{n2}$ , mayor será la tracción. Esto se debe a que  $F_{n2}$  empuja el filamento contra la corona.
- La fuerza tangencial del rodamiento ( $F_{t2}$ ), al llevar sentido contrario al de extrusión, frena el filamento. Por ello esta componente debe ser lo más pequeña posible
- La fuerza tangencial de la polea ( $F_{t1}$ ) es la que tira del filamento hacia abajo. Debe ser lo mayor posible
- La diferencia entre  $F_{t1}$  y  $F_{t2}$  me da la fuerza total con la que tiro del filamento:

$$F_{TOTAL} = F_{t1} - F_{t2}$$

Cabe destacar que este sistema es más simple de construir y variando la compresión del resorte se puede adaptar para imprimir distintos diámetros de filamentos, sin embargo, es importante tener en cuenta que los centros de la corona y del rodamiento estén sobre la misma horizontal.

### 5.2.2. Tracción a través dos engranajes

En este caso el motor no solo acciona el engranaje principal, sino que también le transmite potencia al eje del sistema de regulación para accionar un segundo engranaje, de manera tal que el filamento es desplazado por ambos engranajes

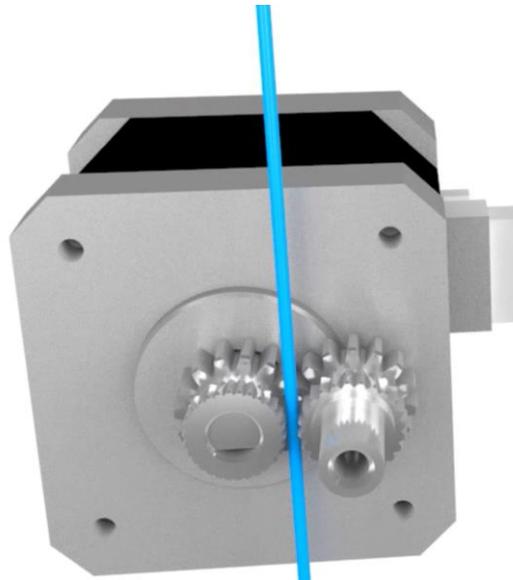


Ilustración 36: Tracción a través de dos engranajes.

A continuación, se podrá observar la distribución de fuerzas en dicho sistema:

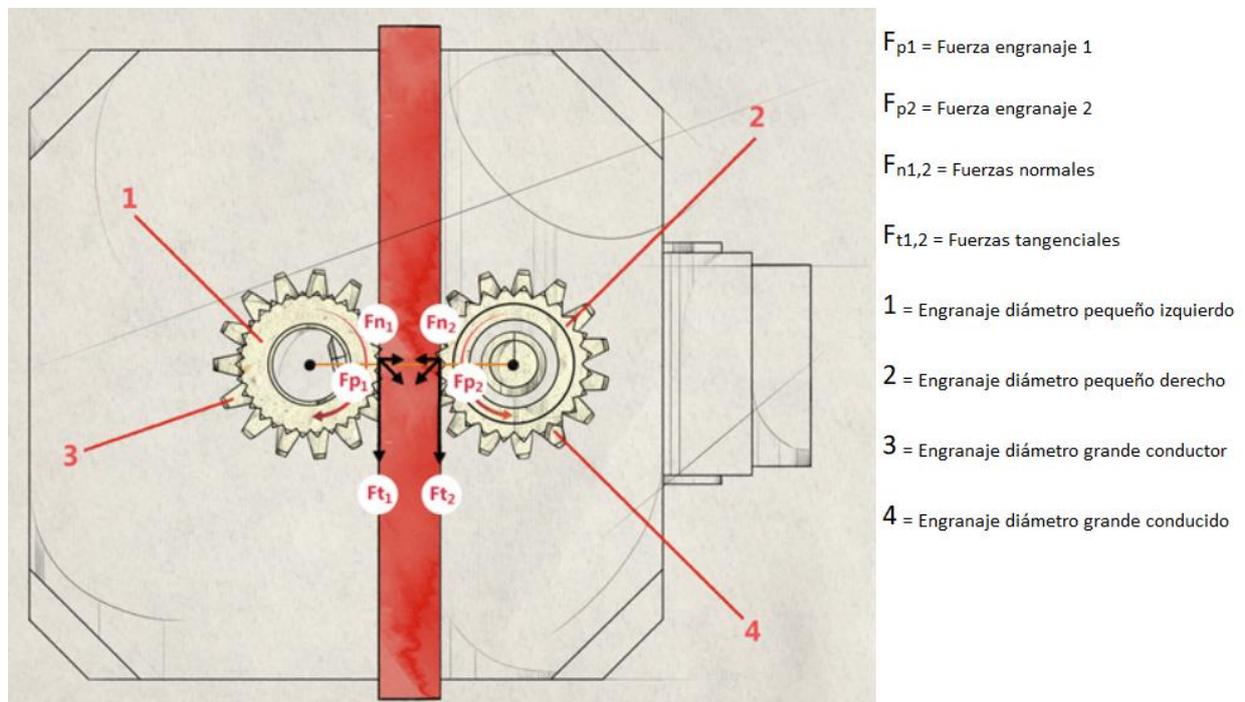


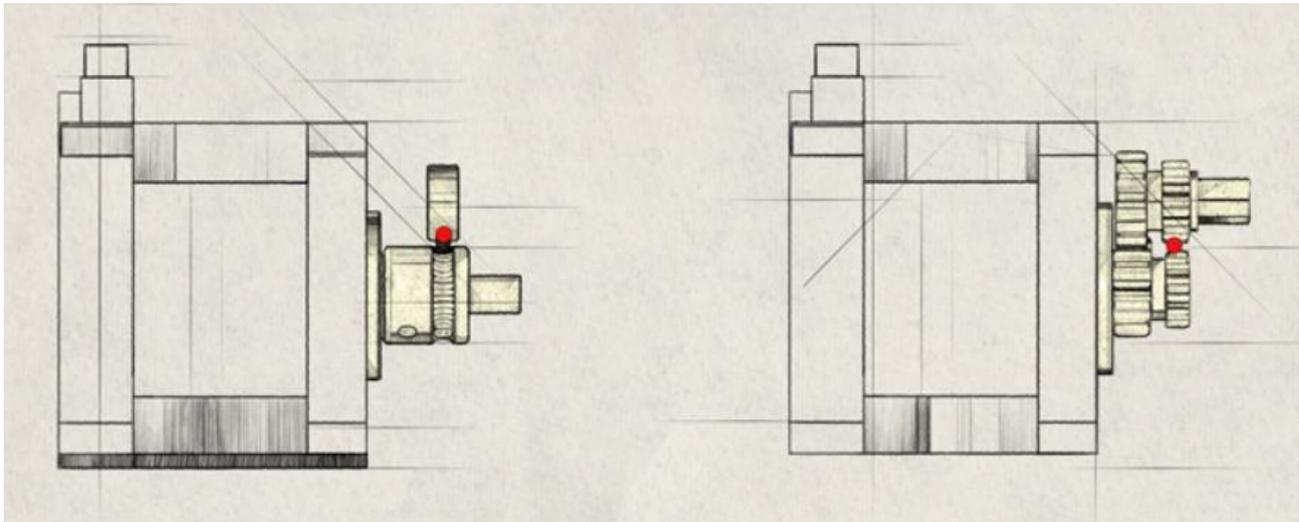
Ilustración 37: Distribución de fuerzas. Engranaje-Engranaje.

La interacción de fuerzas en el sistema ocurre de la siguiente manera:

- La fuerza de tracción del engranaje 1 ( $F_{p1}$ ) se descompone en una fuerza normal ( $F_{n1}$ ) y otra tangencial ( $F_{t1}$ ), en sentido de extrusión del filamento.
- La fuerza de tracción del engranaje 2 ( $F_{p2}$ ) se descompone en una fuerza normal ( $F_{n2}$ ) y otra tangencial ( $F_{t2}$ ), en sentido de extrusión del filamento.
- La fuerza  $F_{n1}$ , se anula con  $F_{n2}$  porque tienen mismo módulo y dirección, pero sentido contrario.
- Las fuerzas  $F_{t1}$  y  $F_{t2}$  tienen mismo módulo y sentido, tiran del filamento hacia abajo. Cuanto mayor sean estas fuerzas, mayor tracción se consigue.
- La suma entre  $F_{t1}$  y  $F_{t2}$  me da la fuerza total con la que tiro del filamento:

$$F_{TOTAL} = F_{t1} + F_{t2}$$

Es importante observar que en este sistema un engranaje hace traccionar a otro, por lo tanto, si bien se puede ajustar el juego entre ambos para variar la presión en el filamento, dicho juego no es tan amplio como para admitir filamentos de distintos diámetros. También, al igual que en el sistema anterior, los centros de los engranajes deben estar sobre la misma horizontal, para que el filamento no se doble al aplicar las fuerzas.



*Ilustración 38: a) Perfil del sistema de tracción a través de corona y rodamiento  
b) Perfil del sistema de tracción a través de dos engranajes*

Comprando los dos sistemas de tracción se puede observar que el sistema de tracción a través de corona y rodamiento necesita de la fuerza de rozamiento del rodamiento contra el filamento para que este último se desplace, sin embargo, mientras más grande sea esta fuerza, menor será la fuerza de tracción del extrusor. Por otra parte, en el sistema de tracción de dos engranajes, la corona y el piñón por donde se transmite la potencia, suelen tener el mismo tamaño y módulo, por lo tanto, las fuerzas que hacen desplazar al filamento, no solo son iguales, sino que se suman. En conclusión, utilizando la misma

corriente y el mismo motor en los dos tipos de sistema, la fuerza resultante con la que se tracciona el filamento será mayor en el sistema de dos engranajes.

### **5.3. Selección del sistema de extrusión**

Una vez detallados los distintos sistemas y explicado las ventajas y desventajas de cada uno, se procede a seleccionar el más adecuado para cumplir con las especificaciones propuestas en la etapa anterior. Teniendo en cuenta que se busca fabricar una impresora con recinto semicerrado, y pensando el producto para usuarios que tienen poco conocimiento sobre la impresión 3D, se considera importante que el extrusor se encuentre en un punto cómodo y accesible tanto para el montaje como su intervención. También se evaluó que el producto se utilizará principalmente con fines recreativos y no profesionales, por lo cual, la calidad de impresión es un factor que puede llegar a resignarse en cierta medida para cumplir con las especificaciones.

Luego de establecer lo anterior, se consideró que el sistema Bowden es el que mejor se adapta a las especificaciones establecidas, dando además algunas ventajas como la posibilidad de tener una mayor velocidad de impresión y una disminución considerable del peso en las partes móviles. Sin embargo, se deben tener en cuenta ciertas limitaciones como por ejemplo contar con una mayor distancia de retracción, las cuales pueden impactar en el tiempo de impresión de piezas grandes donde el cabezal se mueva constantemente a distintas posiciones sin aportar material. Otra limitación es la de utilizar filamentos de diámetro comercial de 2,85mm para disminuir el problema de flexión del mismo, sobre todo en filamentos flexibles.

En cuanto al sistema de tracción del filamento, se optó por elegir el sistema de dos engranajes, ya que se pueden obtener, con el mismo motor, una mayor fuerza para desplazar el filamento. Además, se elimina la desventaja de poder utilizar solamente un diámetro de filamento por sistema, debido a que es una condición ya impuesta por la elección del sistema Bowden. La única desventaja de este sistema en comparación con el sistema de corona y rodamiento es la complejidad y lo cual, aun así, logra cumplir con las especificaciones planteadas.

## 6. Cabezal

El cabezal de impresión es un conjunto de elementos cuyo objetivo consiste en orientar, calentar y depositar el filamento para lograr así el conformado de la pieza. El cabezal suele contar con distintos grados de movimientos, los cuales, como ya se definieron en la etapa anterior, serán en los ejes XY.

Otra condición para el diseño del cabezal es que debe contar con un sistema de doble extrusión para que pueda con las especificaciones planteadas para el producto. Este sistema puede darse a través de distintas configuraciones que se describirán a continuación:

### 6.1. Doble extrusor con un bloque de calor

Esta configuración consiste en utilizar extrusores independientes para cada uno de los distintos filamentos que son orientados a un mismo bloque de calor.



*Ilustración 39: Ejemplo doble extrusor con un bloque de calor.*

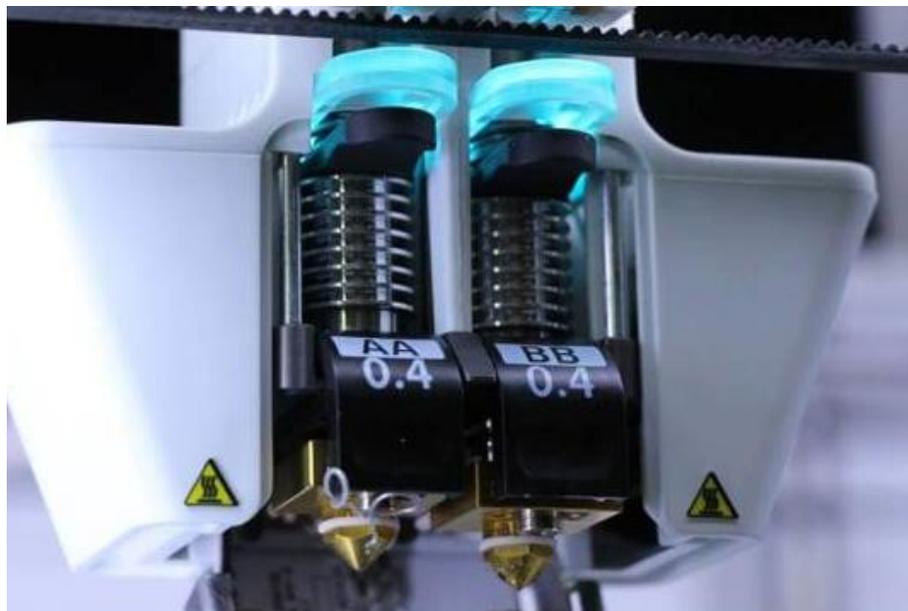
Esta disposición permite imprimir en dos colores utilizando una sola boquilla, y como los filamentos se mezclan en el bloque de calor, permite realizar una mezcla de colores logrando un degradé de colores en la impresión. Sin embargo, si se busca un cambio drástico de colores, es necesario realizar una retracción, llevar el cabezal a una esquina, purgar el filamento restante y luego continuar con la impresión.

Otro inconveniente de esta configuración es que, si se busca imprimir con dos materiales que trabajen con temperaturas muy distintas, como ambos se encuentran en el mismo

bloque de calor, es necesario detener la impresión y llevar el bloque a la temperatura óptima del filamento antes de continuar con la impresión.

## 6.2. Doble extrusor con doble bloque de calor

Esta configuración utiliza tanto extrusores como bloques de calor independientes para cada filamento. Permite cambiar de color rápidamente sin necesidad de realizar la retracción y el purgado del filamento, aunque sí es necesario realizar una maniobra para guardar el extrusor que no está imprimiendo (Este debe levantarse una distancia de al menos el espesor de la capa para no interferir en la impresión). Esta selección suele realizarse mediante un mecanismo mecánico que lo acciona el movimiento del mismo cabezal.



*Ilustración 40: Ejemplo doble extrusor con doble bloque de calor.*

Otra ventaja de este tipo de configuración es que, al tener bloques de calor independientes a cada filamento, cada uno puede regular su propia temperatura, lo cual permite tener la versatilidad de imprimir rápidamente con distintos materiales sin necesidad de esperar a que el bloque regule su temperatura.

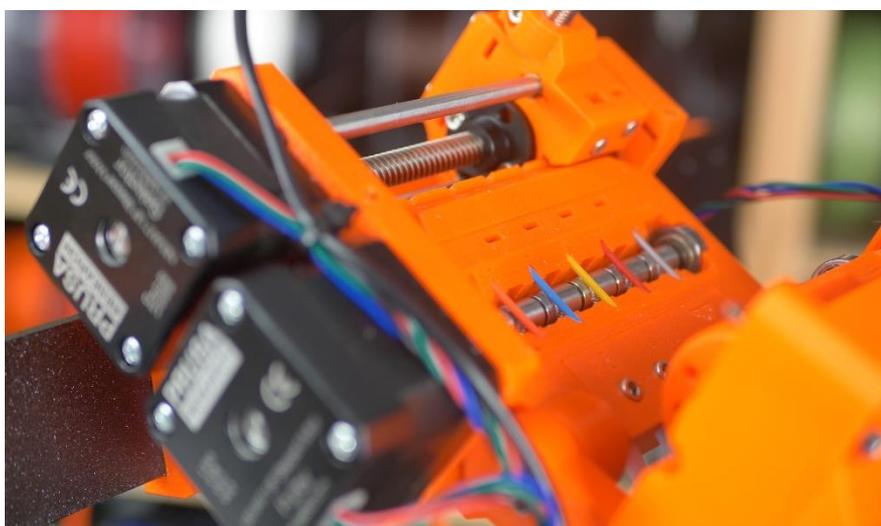
La principal desventaja de esta configuración es la alineación, ya que ambas boquillas deben estar perfectamente perpendiculares a la cama. Como ambas boquillas comparten el mismo cabezal, si una de ellas presenta una inclinación respecto a la cama, al calibrar el cabezal tomando esta como referencia, esto puede traducirse en una separación más grande en la otra. Además, como una de las boquillas debe estar retraída durante la

impresión, la alineación debe hacerse de a una por vez y no puede realizarse en simultaneo, dificultando la tarea.

### 6.3. Selector de filamento con un bloque de calor

Esta configuración consta de un selector de filamento que extruye el material de una de las bobinas hacia un solo bloque de calor.

El selector es un elemento externo que se posiciona entre las distintas bobinas y el cabezal, el cual, mediante un accionamiento mecánico comandado por la programación del código, permite seleccionar y extruir el material deseado en cada situación.



*Ilustración 41: Ejemplo selector de filamento.*

Comercialmente existen varios modelos que suelen ser utilizados como una mejora para facilitar el uso de diferentes filamentos o un cambio rápido de materiales y colores. Un ejemplo de esto el modelo MMU2.0 desarrollado por la firma Prusa, el cual consta de 3 motores independientes y su valor ronda los 300 dólares.

#### 6.4. Selección de la configuración

A continuación, se ilustran las distintas configuraciones planteadas anteriormente.

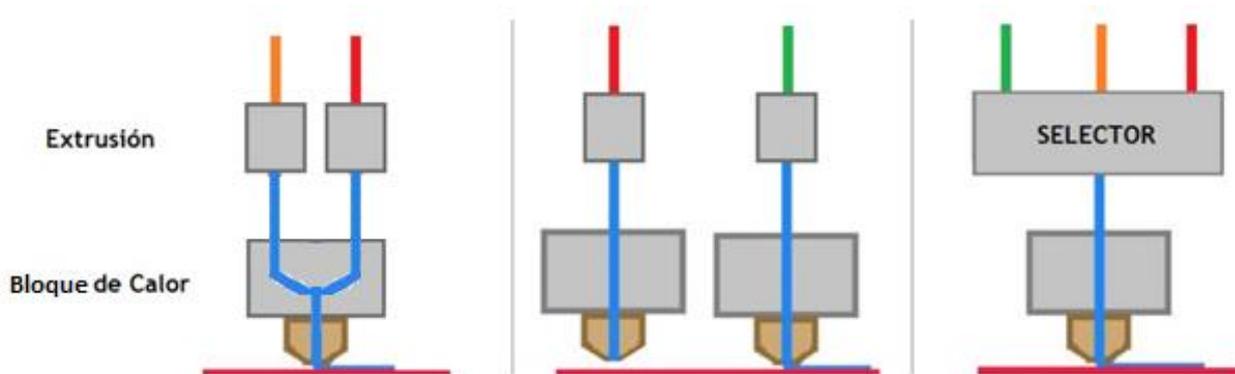


Ilustración 42: Tipos de doble extrusión.

Se consideró que la configuración que mejor cumple con las especificaciones establecidas en la etapa anterior es la de doble extrusor con un bloque de calor. Esto se debe a que el producto debe ser diseñado para usuarios con poca experiencia, por lo tanto, es necesario que la alineación y puesta a punto sea lo más sencilla posible. Por otro lado, también se estableció que el costo del producto no debe superar los 600 dólares, por lo tanto, el beneficio de utilizar un selector de filamento no justifica la inversión de colocarlo.

Como consecuencia de la elección, se recomendará tomar las medidas correspondientes indicadas en la descripción de la configuración a la hora de imprimir distintos materiales o cuando se busque hacer un cambio drástico de color, aumento así los tiempos muertos durante la impresión.

## 7. Partes del cabezal

El cabezal se compone de los siguientes elementos:

- Acople.
- Disipador.
- Cooler de disipador.
- Tubo de garganta.
- Bloque de calor.
- Adaptador boquilla-bloque.
- Boquilla.

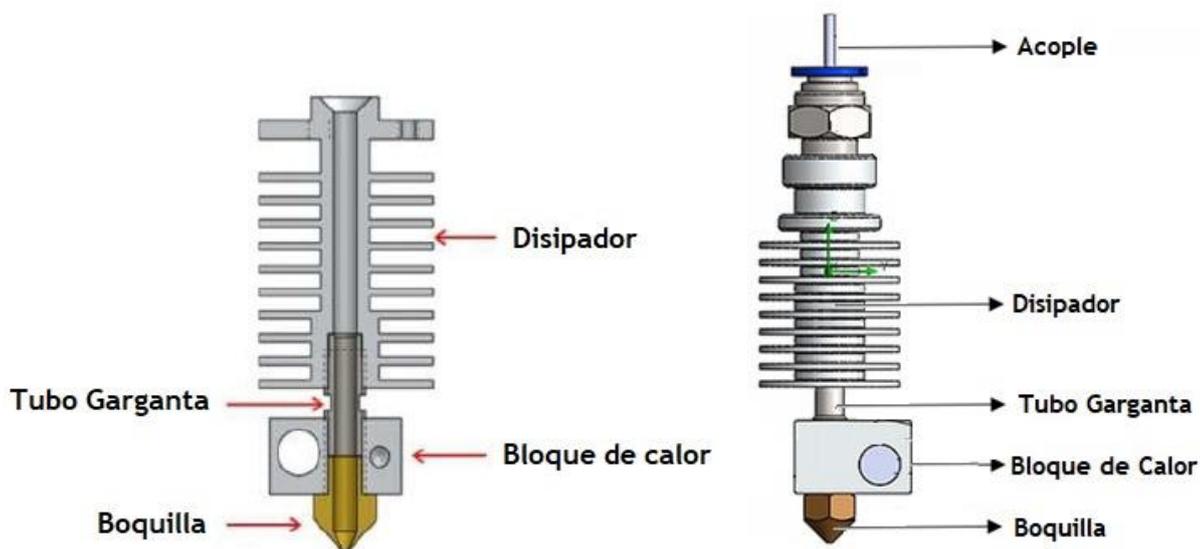


Ilustración 43: Partes del cabezal

### 7.1. Tubo de garganta

El tubo de garganta es un espárrago hueco, por donde circula el filamento y que permite acoplar el disipador con el bloque de calor. El tubo de garganta puede fabricarse con distintos materiales, de los cuales destacan 3 tipos: Acero inoxidable, Acero inoxidable con teflón, Acero inoxidable y cobre.

#### 7.1.1. Acero inoxidable

Este tipo de tubo de garganta consta de una sola pieza hecha totalmente de acero inoxidable con un hueco pulido por donde circula el filamento (Ilustración 44). Este tipo de espárrago tiene una muy buena resistencia al desgaste que suele generar la extrusión del filamento. Sin embargo, es acero inoxidable no es un buen conductor térmico, por lo que

no disipa bien el calor y suele generar que ciertos tipos de plásticos se expandan dentro tubo, generando atascos a la hora de hacer retracciones en la impresión.

El costo de este tipo de tubo de garganta ronda los 5 dólares.



*Ilustración 44: Tubo garganta de acero inoxidable.*

### **7.1.2. Acero inoxidable con teflón**

Este tipo de tubo de garganta se compone de una pieza de acero inoxidable con un tubo interno de teflón por donde circula el filamento (Ilustración 45). Este tipo de espárrago permite que el filamento no se atasque durante la impresión, ya que las paredes del tubo de teflón pueden ceder un poco permitiendo la expansión del filamento y además genera menos rozamiento que un tubo de metal.



*Ilustración 45: Acero inoxidable con teflón.*

Sin embargo, el teflón tiende a degradarse si se somete a temperaturas superiores a 260°C por un período prolongado, restringiendo así el uso de algunos materiales de extrusión.

El costo de este tipo de tubo de garganta ronda los 6 dólares.

### 7.1.3. Cobre y acero inoxidable

Este tipo de tubo de garganta consta de dos piezas, un tubo de acero inoxidable pulido por donde circula el filamento y una carcasa con rosca de cobre que vincula al disipador con el bloque de calor (Ilustración 46). El tubo de acero inoxidable soporta todo el desgaste mecánico que pueda provocar el rozamiento del filamento, mientras que la carcasa de cobre permite disipar rápidamente el calor proveniente de la zona caliente, evitando así, que el filamento se dilate y se atasque.

El costo de este tipo de tubo de garganta ronda los 25 dólares.

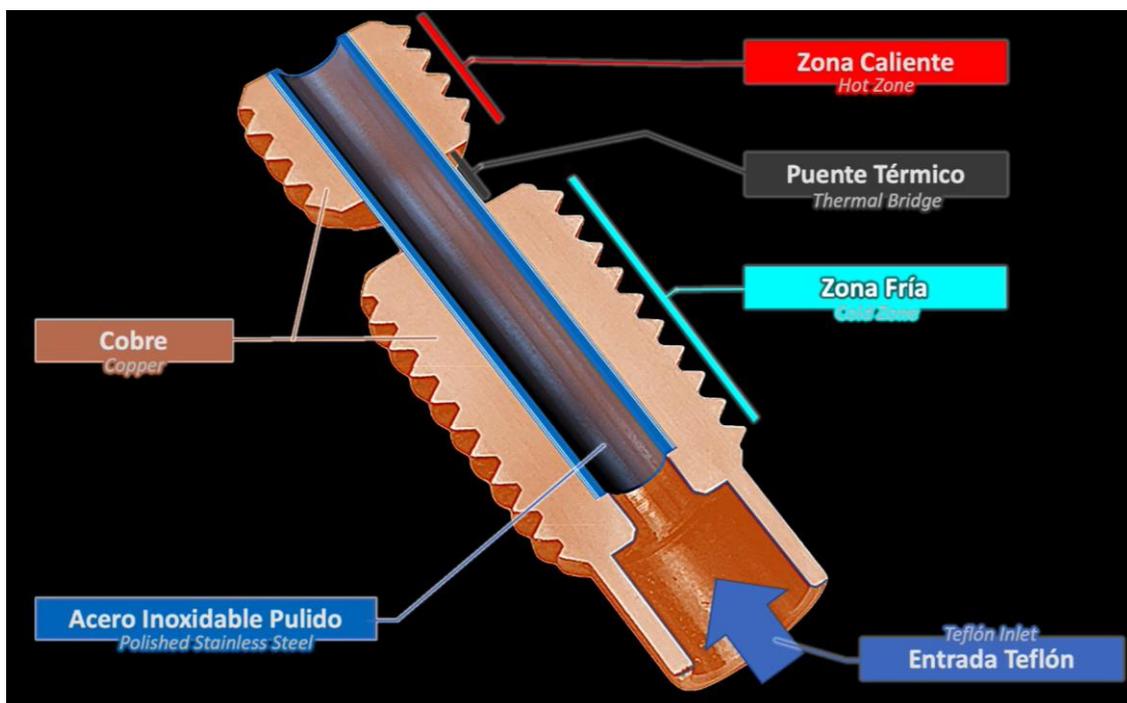


Ilustración 46: Tubo garganta de cobre con acero inoxidable.

### 7.1.4. Selección del tubo de garganta

Teniendo en cuenta las características desarrolladas anteriormente y tomando en cuenta las necesidades planteadas en la Etapa 2, se decidió elegir un tubo garganta de acero inoxidable con teflón.

Al tener el núcleo de teflón disminuye las posibilidades de atasco del material, una característica muy importante para darle confiabilidad al equipo. El precio no es muy diferente al de acero inoxidable común. Por otro lado, a pesar de que el teflón puede degradarse por encima de los 260°C, solo materiales especiales requieren tales

temperaturas para ser impresos. El 90% de los materiales requieren temperaturas menores a 250°. De todas maneras, es un elemento de fácil recambio y de un precio económico.

A pesar de que el tubo garganta de acero inoxidable con cobre tiene mejores prestaciones, no se justifica para el tipo de equipo propuesto ya que el precio es sustancialmente mayor.

## 7.2. Acople

El acople es la entrada del filamento al cabezal. Permite una entrada suave al material, funcionando de guía para que no se trabe ni desgaste.

Debido a que se utilizará un extrusor de tipo Bowden, el filamento entra al cabezal por dentro de un tubo de PTFE (teflón). Al utilizar filamento de 1,75mm de diámetro, se utilizará un tubo de 4mm de diámetro exterior con 1.9mm de diámetro interior.

Para facilitar el mantenimiento del equipo y poder hacer una limpieza del tubo, es importante que el tubo sea fácil de desacoplar del cabezal. Para tal fin, se puede utilizar un acople rápido (racord) similar a los que se utilizan en conexiones neumáticas o un acople más simple de plástico que se traba a presión.

El acople rápido (racord) se ajusta a rosca al disipador, por lo que tiene una sujeción más firme.



*Ilustración 47: Acople rápido (Racord)*

El acople rápido a presión es un componente de plástico que permite una instalación rápida y cuenta con una traba para fijar el tubo de teflón en su lugar. La forma de sujeción al disipador es de la forma “snap fit”, es decir, unas aletas que quedan trabadas a presión dentro del disipador.



*Ilustración 48: Acople rápido a presión.*

Es un elemento que es importante para un buen funcionamiento y mantenimiento de la impresora, sin embargo, las diferencias entre los dos es la rigidez de la conexión, ya que las aletas pueden deformarse o romperse.

El precio en ambos productos es similar y ronda alrededor de los 3-4 dólares.

Teniendo en cuenta estas características, se decidió utilizar un acople racord tipo neumático, por la rigidez y confiabilidad de la conexión roscada.

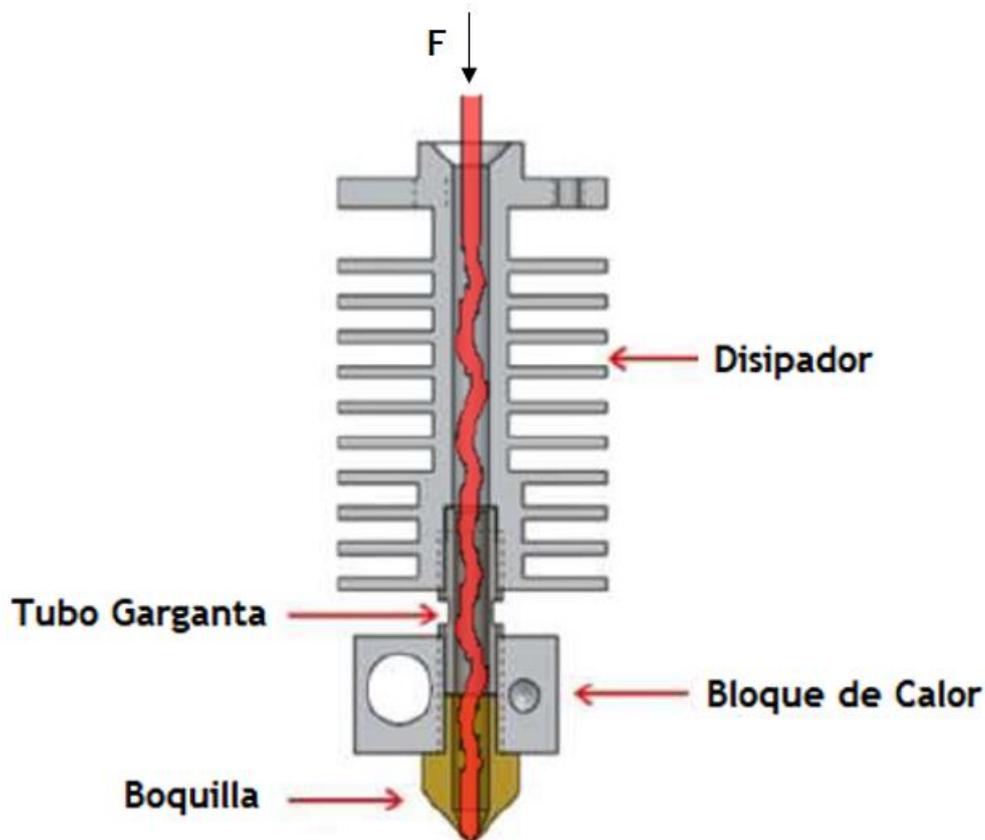
### **7.3. Disipador**

Un disipador es un elemento que se utiliza para disminuir la temperatura de algún componente basándose en el principio cero de la termodinámica. Esto significa que transfiere calor desde una zona caliente a una más fría. Generalmente, el medio frío es el ambiente y el calor se transfiere por el movimiento de aire.

Es importante que el disipador este construido con un material con una gran conducción térmica, como lo son el aluminio y el cobre. En nuestro caso particular, el aluminio es el material ideal por su ligereza y su precio menor comparado al cobre. También es importante que el disipador tenga la mayor superficie de contacto posible con el aire para aumentar el rendimiento del mismo. Es por ese motivo que son construidos de forma “aleteada”.

Dentro del cabezal, es importante diferenciar y separar las áreas que deben estar a altas temperaturas de las que no se deben calentar.

En primer lugar, es importante refrigerar el cabezal para que el filamento solamente se caliente en el bloque de calor. Si el filamento no está rígido, el empuje que genera el extrusor (Fuerza  $F$ ) puede deformar el filamento en lugar de hacerlo avanzar. Este efecto puede traer un problema en el flujo de material que sale de la boquilla o, en el peor de los casos, trabarse y bloquear el paso del material.



*Ilustración 49: Efecto del calor sobre el filamento en el cabezal.*

Es por este motivo que los cabezales son ensamblados con un tubo garganta para minimizar la transferencia de calor por conducción y, por otro lado, los cabezales utilizan un disipador para aumentar la superficie de contacto con el ambiente y disipar mejor la temperatura.

Es importante que el filamento mantenga una temperatura menor a  $100-110^{\circ}\text{C}$ , en el peor de los casos (Material PLA), para poder avanzar sin problemas hasta el bloque de calor.

## 7.4. Cooler disipador

Un cooler es simplemente un ventilador utilizado en equipos electrónicos para eliminar el calor residual producido por los componentes eléctricos. Dentro de la impresora 3D hay lugares donde se puede utilizar coolers para la refrigeración debido a su bajo costo y eficiencia.

Como se mencionó anteriormente, es importante que la zona del disipador mantenga una temperatura menor a  $100-110^{\circ}\text{C}$ , por lo tanto, se estudió la necesidad de colocar un cooler adicional para la refrigeración.

El grupo de “Ingeniería CAD y Simulación” de Thomas Anett<sup>1</sup>, detalla una simulación del análisis térmico del cabezal en funcionamiento para un bloque de calor a  $220^{\circ}\text{C}$ , con temperatura ambiente y los materiales que se muestran en la Ilustración 50 sin un cooler instalado.

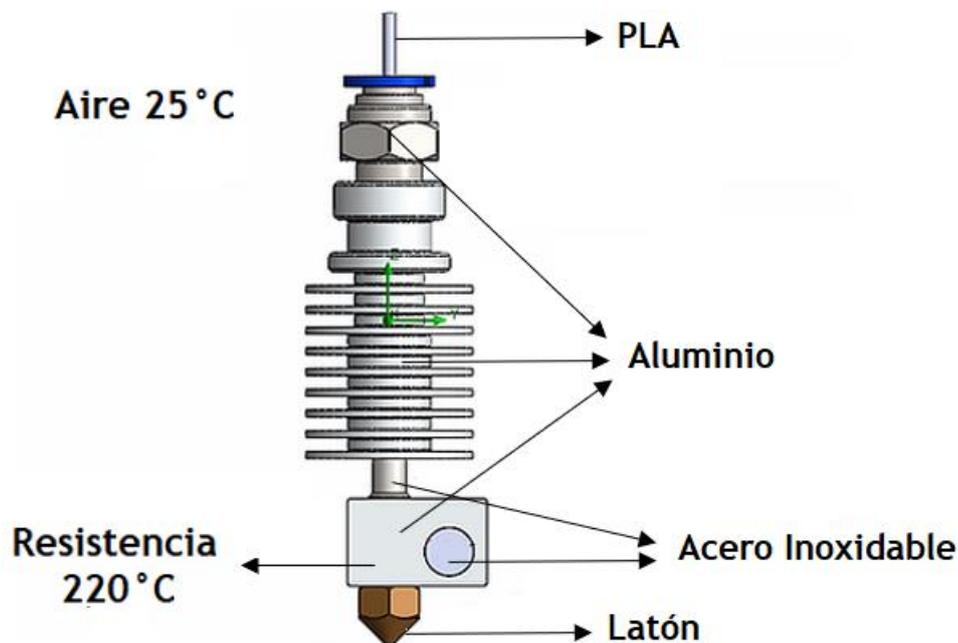
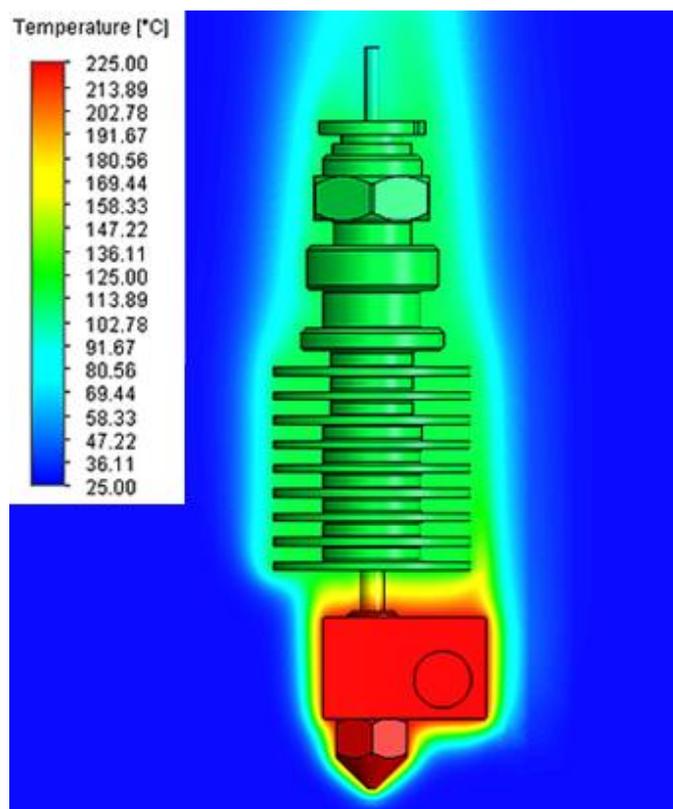


Ilustración 50: Materiales de la simulación.

A continuación, se detallan los resultados de la simulación realizada:

<sup>1</sup> <https://thomasanett.wixsite.com/portfolio/thermal-analysis-hotend>

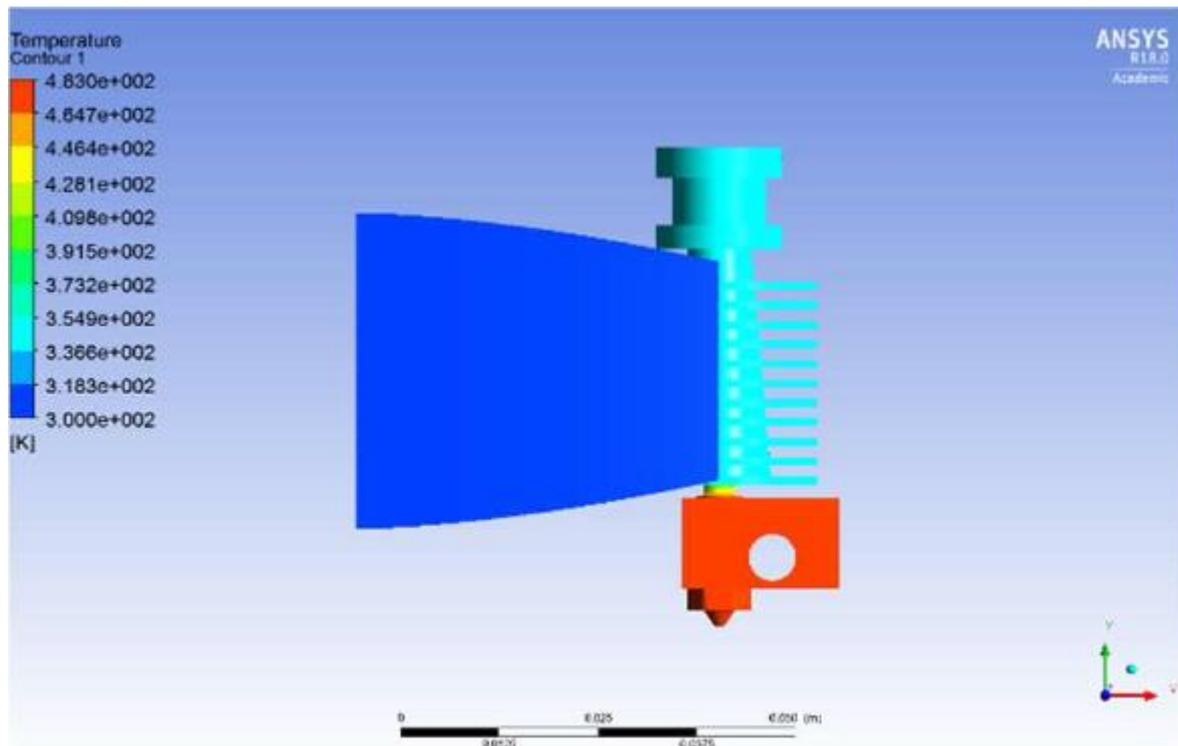


*Ilustración 51: Temperaturas en el cabezal sin cooler.*

Como se puede notar en los gráficos de simulación, en la zona del disipador, las temperaturas rondan los  $120^{\circ}\text{C}$ . Por lo tanto, es necesario colocar un cooler para mantener una temperatura de trabajo donde el filamento se mantenga rígido.

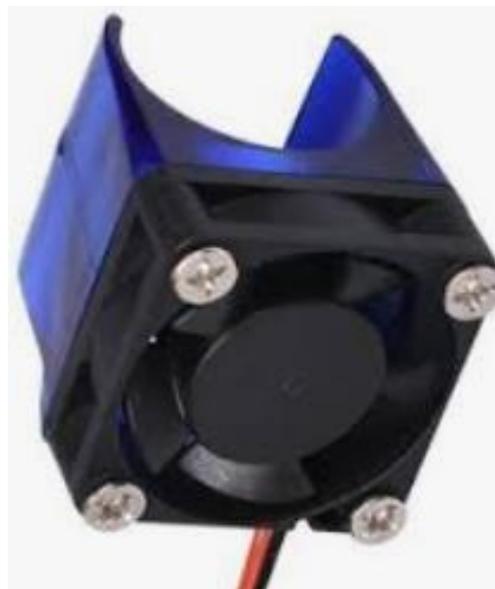
El mismo análisis puede apreciarse en el *paper* publicado en la conferencia internacional de energía y energía térmica en Estambul, Turquía en 2017 por la universidad técnica de Yildiz bajo el título de “*Investigation of thermal effect on 3d printer liquefier of different cooling fan nozzle geometry*”.

En la simulación térmica, utilizan tres tipos de formas del cooler instalado sobre el disipador. En particular, el cooler encapsulado tiene un resultado muy positivo como puede apreciarse en la Ilustración 52.



*Ilustración 52: Simulación de cabezal con cooler.*

La temperatura del disipador no supera los 64°C (337K), por lo que es un buen componente para satisfacer la situación.



*Ilustración 53: Cooler encapsulado*

## 7.5. Boquilla

La boquilla permite una salida del material precisa con un diámetro menor al del filamento.

Las boquillas se fabrican en diferentes materiales y diferentes diámetros de salida. Un diámetro de salida mayor permite un caudal de material mayor y una impresión más rápida, perdiendo precisión al depositar material.

Los materiales de las boquillas pueden ser diferentes, siendo los más relevantes el latón, Acero inoxidable y acero endurecido.

### 7.5.1. Boquilla de Latón

Es el material más utilizado para las boquillas de los extrusores, debido a que cuenta con una gran conductividad y estabilidad térmica, además de su facilidad de mecanizado y precio económico. Su inconveniente principal es el rápido desgaste ante materiales abrasivos que contienen fibras.

Su precio ronda los 2 dólares.



*Ilustración 54: Boquilla de Latón.*

### 7.5.2. Boquilla de Acero inoxidable

Este material presenta una dureza superior al latón y tiene la ventaja de que no contiene plomo, material no permitido para la fabricación de piezas que estén en contacto con la piel o alimentos. Por esto, las boquillas de acero inoxidable son los indicados para realizar impresiones 3D con filamentos aprobados para esas aplicaciones. Tiene una conductividad térmica inferior frente al latón, lo que genera que no calienta con gran velocidad.

Su precio ronda los 4 dólares.



*Ilustración 55: Boquilla de acero inoxidable.*

### **7.5.3. Boquilla de acero endurecido**

Para solucionar el problema de rápido desgaste de las boquillas de latón, aparecen las boquillas de acero endurecido, siendo hasta 10 veces más resistentes al desgaste y manteniendo las mismas cualidades. Como inconvenientes, estas boquillas presentan una menor transmisión de calor y, al contener plomo, no son recomendados para realizar piezas que estén en contacto con la piel ni con alimentos.

Su precio ronda los 40-50 dólares.



*Ilustración 56: Boquilla de acero endurecido.*

#### **7.5.4. Selección de boquilla**

Teniendo en cuenta las especificaciones de producto planteadas en la etapa II, en conjunto con las características desarrolladas anteriormente, se decidió utilizar una boquilla de latón. A pesar de que el diseño de la impresora no está pensado para materiales abrasivos, esta boquilla permite realizar varias piezas sin problemas con estos materiales hasta su desgaste. Además, de que es una pieza con un precio económico y un fácil recambio.

En cuanto a las boquillas de acero endurecido, los beneficios de alta dureza y resistencia mecánica no aplican considerablemente en una impresora diseñada para un uso doméstico o semiprofesional. Por otro lado, el costo del mismo no justifica los beneficios que puedan obtenerse y no se contrasta con el presupuesto establecido.

La boquilla de acero inoxidable a pesar de tener una resistencia mecánica mayor que el latón, la posibilidad de atasco del material no brinda la confiabilidad que se busca en el diseño del producto.

## 8. Motores

Los motores son los componentes que dan accionamiento a todos los movimientos de la impresora. En una impresora 3D se utilizan para los movimientos de los ejes (XYZ) y para la extrusión del material.

### 8.1. Motores paso a paso

El motor paso a paso es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos, conocidos como paso. Este paso puede variar desde  $90^\circ$  hasta pequeños movimientos de  $1.8^\circ$ .

Son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos, ya que pueden moverse a deseo del usuario según la secuencia que se les indique a través de un microcontrolador.



*Ilustración 57: Motor paso a paso.*

Los motores paso a paso son confiables y duraderos, ya que no tienen contacto de escobillas como otros motores. Tienen una gran respuesta al arranque y parada del movimiento y pueden girar en un gran rango de velocidades, ya que depende de la frecuencia de los pulsos de entrada digital.

Una desventaja es la posibilidad de pérdida de pasos debido a la temperatura.

### 8.2. Servomotores

Los servomotores son simplemente motores paso a paso con una electrónica de control integrada. De esta forma, estos motores permiten el control de la posición y del movimiento, pudiendo controlar un giro con gran precisión.

El sistema de control es un encoder óptico que permite conocer cuánto se mueve el eje del motor a lo largo del tiempo. Esta información comparada con la cantidad de pasos que debería avanzar según la programación permite compensar las diferencias y asegurar el posicionamiento del motor.



*Ilustración 58: Ejemplo de servomotor.*

Al tener un sistema de control integrado, tiene una gran precisión de movimiento y mantiene referencia de su posición aun frente a movimientos externos.

### **8.3. Selección de Motor**

Una vez detallados los distintos motores, se procede a seleccionar el más adecuado para cumplir con las especificaciones de producto planteadas en la etapa II.

Es muy importante tener una precisión y confiabilidad en el movimiento, ya que, ante cualquier diferencia, la pieza impresa no quedaría con las dimensiones establecidas en la programación. En ese sentido, los servomotores son mejores a los motores paso a paso, ya que pueden corregir los efectos externos para mantener el movimiento programado.

Sin embargo, la característica más relevante en este caso es el precio. Un servomotor puede costar hasta 10 veces el valor de un motor paso a paso para un mismo nivel de potencia, paso y torque. Un motor paso a paso Nema 17 cuesta alrededor de 10 u\$d mientras que un servomotor nema 17 cuesta alrededor de 80 u\$d. Como se estableció anteriormente, son necesarios cinco motores para el diseño: Uno para cada movimiento de los ejes cartesianos (3) y uno por extrusor (2). Por lo tanto, el costo de utilizar servomotores tiene gran impacto en el presupuesto establecido (600u\$d).

### 9. Microcontrolador

El microcontrolador puede resumirse como la computadora o el cerebro de la impresora 3D, ya que es el responsable del control de los componentes electrónicos.

El microcontrolador analiza la información de los archivos de código G (G-Code) y la información que recibe de los sensores (Inputs) y toma decisiones para regular la temperatura, extruir la cantidad de material necesaria y controlar del movimiento de los motores.

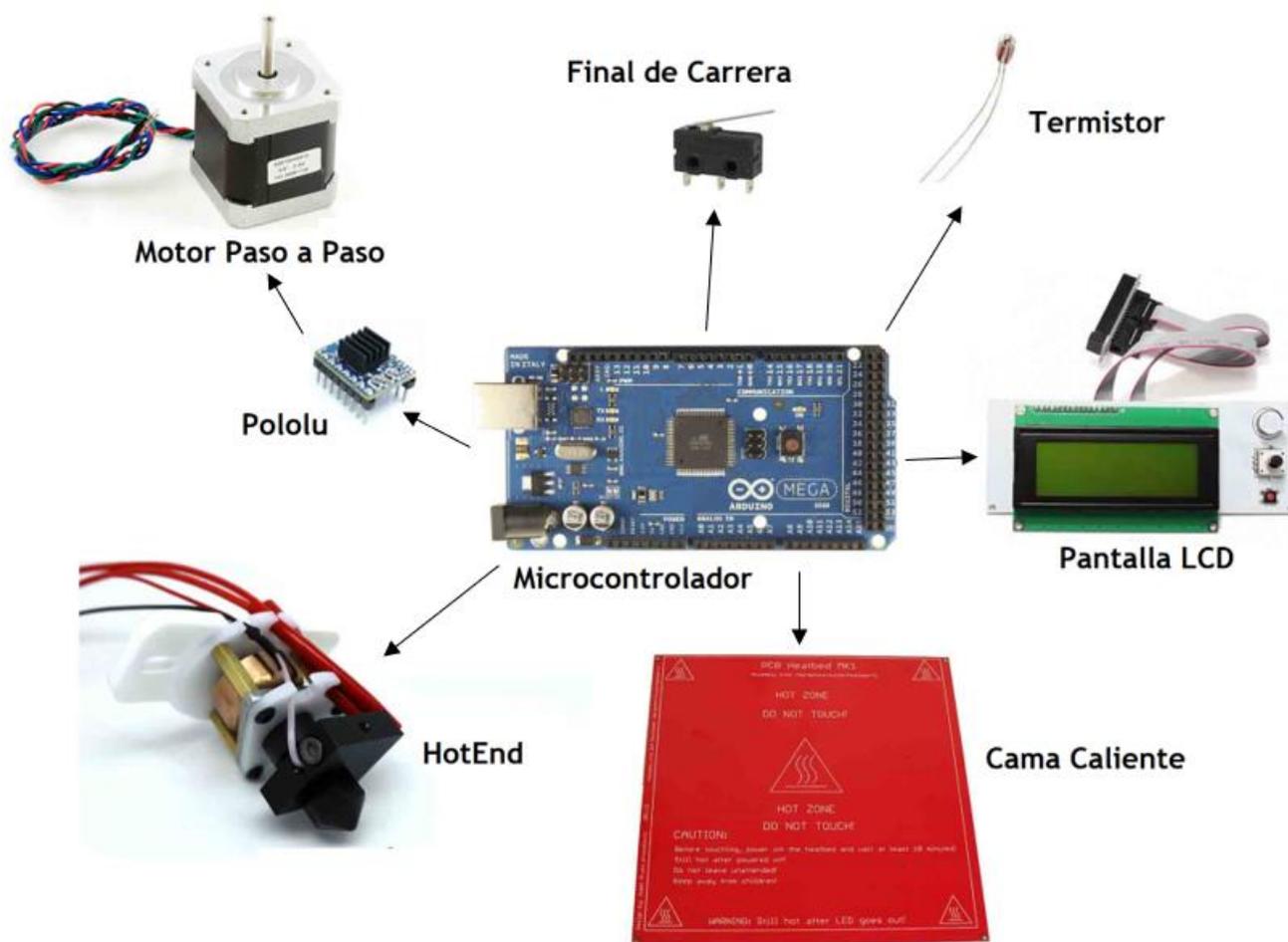


Ilustración 59: Funciones del microcontrolador.

En todos los casos, el microcontrolador tiene comunicación con algún dispositivo externo, generalmente una computadora, desde donde se puede actualizar su firmware (su código) o se pueden ejecutar funciones manualmente.

Los microcontroladores diseñados para impresoras 3D son, en general, de 8 bits de procesamiento. En los últimos de 10 años, han aparecido placas de 32 bits lo que permite que mayor cantidad de cálculos y datos puedan ser manejados al mismo tiempo.

Principalmente, fueron diseñadas para impresoras tipo delta o core xy, donde los movimientos dependen de más de un motor al mismo tiempo y donde las ecuaciones de posicionamiento son más complejas. Sin embargo, la posibilidad de procesar más datos, permite a cualquier impresora tener un mejor control de la información en tiempo real durante la impresión.

Por otra parte, permiten el conexionado de drivers o controladores (comercialmente llamados *pololus*) de los motores paso a paso. Esto permite realizar micro-pasos, es decir, moverse fracciones de un paso y mejorar la precisión del movimiento. Por ejemplo, si un motor de  $1,8^\circ$  por paso realiza un micro-paso de  $1/16$ , el movimiento resulta de  $0,1125^\circ$  ( $1/3200$ ).

La selección del microcontrolador es relevante en los siguientes aspectos definidos en las especificaciones del producto: Conexión USB, doble extrusor, conexión a pantalla LCD, una fácil instalación y precisión en el movimiento.

Dentro de las posibilidades que ofrece el mercado, se decidió utilizar la placa "MKS Base V1.3". La misma cuenta con un procesador de 32 bits, 5 salidas para los motores paso a paso (dos para los extrusores), conexionado a una pantalla LCD, drivers DRV8825, conexión USB, por tarjeta SD y cable de red.

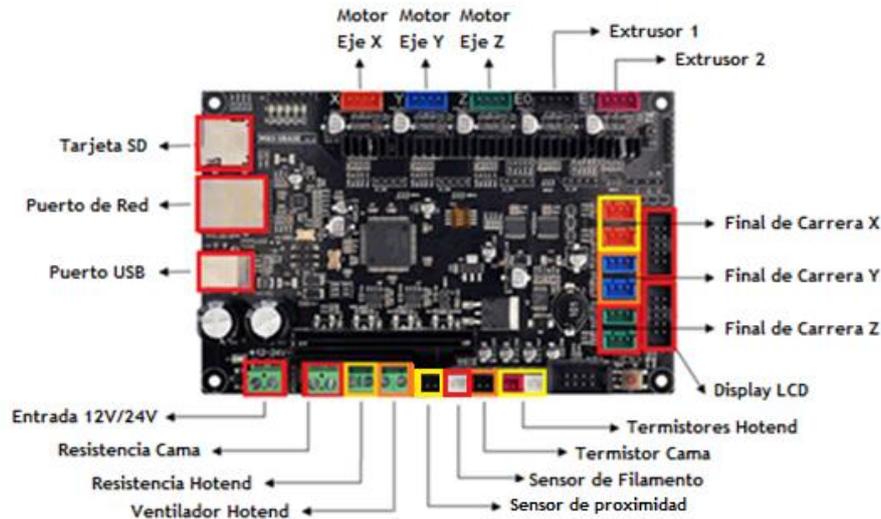
Los drivers DRV8825 vienen integrados dentro de la plaqueta, por lo que no hay que instalarlos manualmente y logran hacer micro-pasos de  $1/32$  de un paso completo. Esto permite un giro controlado de  $0.05625^\circ$ . Para tener una referencia de comparación, son mejores a los drivers comúnmente utilizados (A4988) que solo permiten  $1/16$  de paso.

Es compatible con los firmwares más comunes como el Marlin 2.0 y el Smootieware, de manera que permite el uso de programas de código abierto, simples de instalar y manejar.

Por último, a pesar de que su precio (aprox. 30 u\$d) es superior a las placas de 8 bits, que rondan aproximadamente los 20 u\$d, este microcontrolador tiene un precio relativamente bajo para los microcontroladores de 32 bits y cumple con las especificaciones buscadas para este componente, además de sumarle las ventajas del procesamiento de 32 bits.

## 9.1. Diagrama de conexiones

Teniendo en cuenta las entradas y salidas de los componentes electrónicos, el diagrama de conexiones del microcontrolador sería el siguiente:



*Ilustración 60: Diagrama de conexiones microcontrolador.*

Conociendo el conexionado de la plaqueta, es importante destacar algunos detalles relevantes:

- Tiene conexiones de Tarjeta SD, cable de red y puerto USB.
- Permite una entrada de tensión de 12v/24v.
- Permite el conexionado de dos termistores el hotend, permitiendo cumplir con las especificaciones de seguridad.
- Permite el conexionado de un display LCD con una ficha comercial.
- Los finales de carrera y las salidas a los motores, tienen los mismos colores para facilitar el armado.
- Tiene dos salidas para controlar los movimientos de los extrusores independientemente.

## 10. Cama caliente

La cama o mesa de la impresora es el lugar donde la boquilla deposita el material, generando la pieza a imprimir. Generalmente se compone de una placa donde se deposita el material y una estructura rígida donde se sostiene. En el sistema planteado en este informe, la cama, además, debe permitir movimiento a lo largo del eje Z.

### 10.1. Temperatura de la cama

Una característica a tener en cuenta en la selección de la cama de impresión es la temperatura en la que se encuentra cuando se está imprimiendo. Existen sistemas con camas a temperatura ambiente (camas frías) y camas con sistemas de calentamiento (camas calientes).

La cama caliente permite al usuario imprimir una cantidad de materiales que la cama fría no lo permite. Materiales como el ABS, Nylon, PETG y el Flexible necesitan tener un área de impresión a una temperatura mayor al ambiente para evitar defectos de impresión tales como el warping o la delaminación (ver Anexo I - Problemas Frecuentes) o para evitar que se desprege la pieza, arruinando la impresión.

El calentamiento de la cama se consigue a través de una resistencia que puede funcionar con diferentes tensiones y distintas potencias dependiendo de la rapidez con la que se desee alcanzar la temperatura deseada.

Por el otro lado, si se utiliza una cama fría, el único material con el cual podríamos trabajar es el PLA. Sin embargo, la gran ventaja de la cama fría es el consumo eléctrico que se evita.

A pesar de que una cama caliente agrega el consumo eléctrico más grande de la impresora 3D, habiendo definido en las especificaciones de producto que se busca tener una impresora versátil en cuanto a los materiales que se quieren trabajar, nos inclinaremos por la instalación de una cama caliente.

Para calentar la cama caliente existen dos métodos: placas de silicona (silicone heater mats) o placas de PCB (circuitos electrónicos impresos).

### 10.1.1. Placas de silicona

Las placas de silicona son superficies de silicona flexibles, que incorporan en su interior una resistencia de hilo de nicrón que, al paso de la corriente, desprende el calor necesario para aumentar la temperatura de la superficie de impresión. Normalmente, estos modelos trabajan con una tensión a 220VCA, aunque también existen versiones en 12VCC.



*Ilustración 61: Ejemplo placa de silicona*

El fabricante de este tipo de placas permite la personalización de la potencia y las dimensiones de la placa. Esto permite decidir los valores necesarios para conseguir la rapidez de calentamiento deseada. Además, el fabricante entrega el producto listo para instalar.

Estas placas requieren una plancha de aluminio para darle la rigidez necesaria a la cama. La unión de la silicona a la parte baja de la plancha de aluminio se suele hacer mediante un adhesivo lo que provoca, en consecuencia, un mejor contacto con la superficie a calentar y una homogeneidad y constancia de temperatura de la superficie.

### 10.1.2. Placas PCB

Las camas tipo PCB son placas de baquelita o aluminio que incorporan en su interior un circuito de material conductor que, tras el paso de la corriente, produce el mismo fenómeno que la anterior. Normalmente suelen trabajar con 12VCC o 24VCC.



*Ilustración 62: Ejemplo placa de PCB*

Este tipo de sistema, al tener resistencias a lo largo de toda la placa, consigue una distribución de la temperatura más homogénea a lo largo de toda la zona de impresión. Tiene la característica de ser una superficie rígida que no requiere de otra placa adicional, sin embargo, suele deformarse debido a la contracción y dilatación del material. Esto provoca que no haya un contacto completo entre la placa y la zona de impresión, bajando el rendimiento y la homogeneidad de temperaturas.

Estas placas se consiguen en dimensiones y potencias estandarizadas por el fabricante, lo que limita las posibilidades de diseño en cuanto a tamaño y velocidades de calentamiento. Teniendo en cuenta que es el consumo más grande del equipo, es importante ser eficiente en este aspecto. Por otra parte, el fabricante no realiza las conexiones de cableado para el funcionamiento de la placa, por lo que se agrega una tarea al momento de construirlo.

## **10.2. Material de la cama**

El material de la cama donde se deposita el filamento y donde se construye la pieza varía según las características que se quieren obtener. Es necesario que el material sea completamente plano, aún sometido a cargas mecánicas y térmicas, para obtener una buena nivelación de la cama, y una terminación superficial para darle un buen acabado a la pieza a imprimir.

Por otra parte, debe resistir las temperaturas máximas de impresión especificadas en la etapa II (110 °C) y tener una buena conductividad para que el calentamiento sea homogéneo a lo largo de toda la superficie.

### **10.2.1. Vidrio**

La placa de vidrio tiene como característica principal que es un elemento extremadamente plano, difícil de deformar aún frente a cargas térmicas. Es un material económico, fácil de limpiar, lo que ahorra en tiempo de preparación de las piezas y que logra en la pieza impresa un acabado superficial de espejo. Al ser, además, un material con una alta dureza, es difícil de rayar o penetrar con otros materiales.

Sin embargo, también es un material frágil que puede destruirse ante un impacto y es aislante térmico, por lo que se debe usar un espesor pequeño para mantener una temperatura elevada en la cama.

### **10.2.2. Aluminio**

El aluminio es un buen conductor térmico, lo que permite que se llegue a una alta temperatura en un lapso corto de tiempo y permite una gran homogeneidad de temperatura en la superficie.

Por otra parte, el aluminio puede deformarse debido a diferencias de temperatura en la superficie (dilataciones y contracciones del mismo) o frente a esfuerzos mecánicos. En algunas ocasiones, la deformación puede ser plástica y esto genera que la superficie no estar completamente plana y su nivelación y calibración se vuelven más difíciles o hasta imposibles.

Además, es un material que tiene una dureza promedio de 20HB, por lo que puede ser rayado por una gran cantidad de materiales. Estas imperfecciones se ven reflejadas en la superficie inferior de la pieza.

## **10.3. Selección de cama caliente**

Una vez detallados los distintos tipos de sistemas de calentamientos y los distintos materiales y explicado sus respectivas ventajas y desventajas de ambos sistemas, se procede a seleccionar el más adecuado para cumplir con las especificaciones de producto planteadas en la etapa II.

La Tabla 3 resume la información desarrollada en función de los sistemas de calentamiento.

Placas de Silicona	Placas PCB
<ul style="list-style-type: none"> <li>Amperaje y potencia personalizable</li> <li>Dimensiones de fabricación personalizables</li> <li>Cableado instalado por el fabricante</li> <li>Mejor contacto con la superficie a calentar</li> <li>Homogeneidad y constancia de temperatura en la superficie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Precio inferior</li> <li>Tamaños comerciales</li> <li>No necesita placa de aluminio adicional</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Precio superior</li> <li>Requiere una superficie rígida adicional</li> <li>La unión a la superficie rígida mediante un adhesivo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Amperaje y potencia establecida por el fabricante</li> <li>Pocas dimensiones estandares</li> <li>Los cables no vienen soldados por el fabricante</li> <li>Por variaciones de temperatura se puede deformar</li> </ul>

Tabla 3: Comparación entre placas de silicona y placas PCB

Y la Tabla 4 resume las ventajas y desventajas de los materiales de la cama de impresión:

Vidrio	Aluminio
<ul style="list-style-type: none"> <li>Extremadamente plano</li> <li>Facil de Limpiar</li> <li>Acabado superficial a espejo</li> <li>Material económico</li> <li>Alta dureza superficial</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Buen conductor térmico</li> <li>Resistente a impactos</li> <li>Gran rigidez</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Frágil</li> <li>Aislante Térmico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Baja dureza superficial</li> <li>Permite deformaciones geométricas</li> <li>Dureza promedio baja</li> </ul>

Tabla 4: Comparación material de vidrio y aluminio.

En cuanto al material de la mesa, el vidrio tiene ventajas que se alinean con las especificaciones establecidas: es fácil de limpiar, es económico y logra una terminación superficial de espejo. Sin embargo, lo más importante es que mantiene la planitud aún frente a diferentes cargas, haciendo que la calibración de la cama sea mucho más sencilla y se mantenga a lo largo del tiempo. De esta manera, el usuario tiene un tiempo de puesta a punto mucho menor y una mejor experiencia de uso.

De todas maneras, para garantizar el movimiento de la mesa en el eje z no se puede utilizar la mesa de vidrio. Por lo tanto, se necesita adicionalmente una placa de aluminio que sostenga la cama y permita acoplarse al tornillo de potencia. Se decidió por aluminio debido a que es un gran conductor térmico y tiene una buena resistencia mecánica.

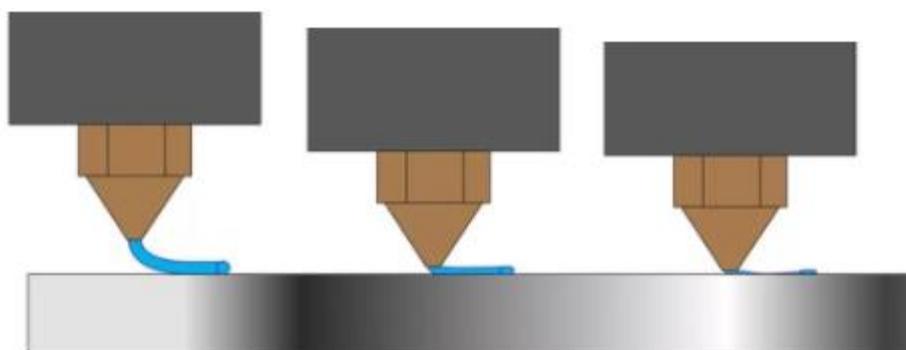
En cuanto al sistema de calentamiento, uno de los parámetros para la selección es el costo. La placa de silicona tiene un costo levemente mayor en relación a la placa de PCB, pero, sin embargo, permite personalizar el tamaño y la potencia de la placa en el componente de mayor consumo del equipo. De esta manera, se puede optimizar la potencia para cumplir con la especificación de potencia máxima del equipo.

Por otra parte, debido a que se requiere una placa de aluminio para sostener la cama y lograr el movimiento en el eje z, la placa de silicona se puede adherir directamente logrando un contacto completo.

Es por ello que, planteadas las ventajas y desventajas los sistemas, el formato que mejor se adapta a las especificaciones de producto es una placa de silicona con láminas de aluminio y vidrio encima.

#### 10.4. Nivelación de la cama

Una de las cosas más importante para obtener una impresión confiable es la planitud y nivelación de la cama. Si esta presenta pequeñas deformaciones o variaciones, la distancia a la boquilla en distintos puntos va a ser diferente y, por lo tanto, la forma de depositar el material también.



*Ilustración 63: Diferentes situaciones variando la distancia de la boquilla.*

En el primer caso, la boquilla está muy alejada de la cama y, por lo tanto, el material queda en el aire y no se aprieta contra la cama. Eso genera una mala adhesión y es muy probable que el material sea arrastrado y se quede adherido a las esquinas de la impresión.

En el segundo caso, el material queda comprimido entre la punta de la boquilla y la mesa a medida que sale. La capa se asentará con precisión y va a completar los espacios de manera completa.

En la última situación, la distancia entre la boquilla y la mesa es muy pequeña y no permite un flujo completo de material. Este efecto puede provocar capas inconsistentes o hasta trabar la salida de material, bloqueando el hotend.



Ilustración 64: Primera capa a diferentes alturas, de más alto a más bajo. (Derecha a izquierda)

#### 10.4.1. Nivelación en 4 puntas

En una primera instancia, se supone una cama perfectamente plana y se realizan correcciones para lograr que quede completamente perpendicular a la boquilla. Una forma muy sencilla para tal fin es la de permitir ajustes en las esquinas de la cama, permitiendo subirla o bajarla hasta lograr la nivelación correspondiente.

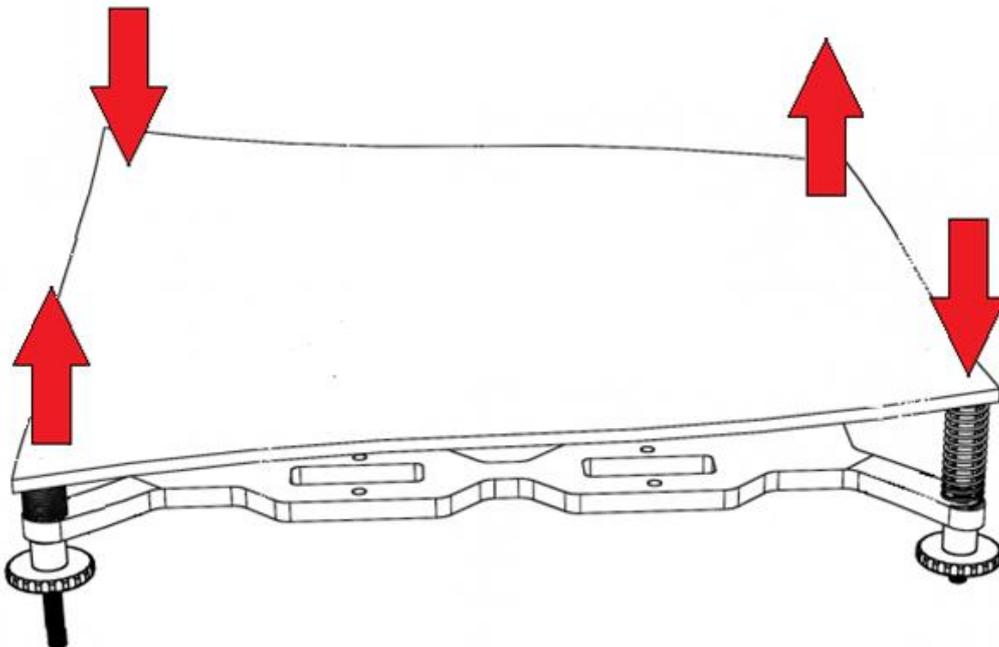
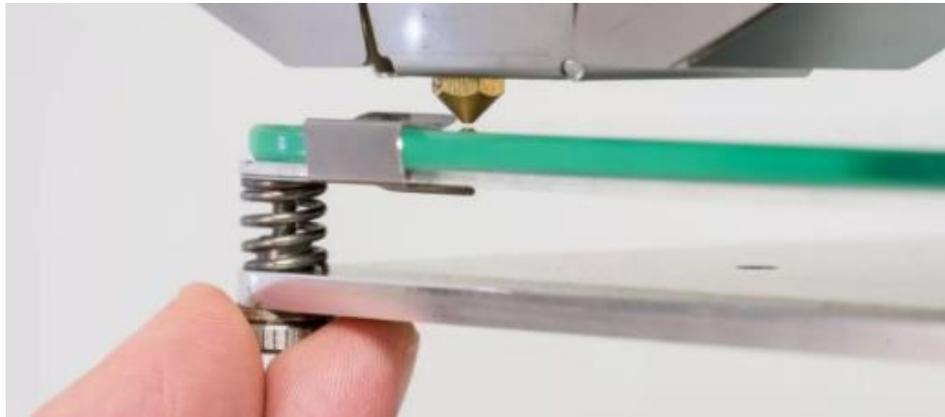


Ilustración 65: Nivelación a cuatro puntas.

A pesar que con tres puntos se genera un plano perfecto, tener una nivelación de esta manera permite soportar la cama desde cada esquina y darle un sostén equilibrado.

Para lograr la variación de altura en cada una de las esquinas se usará un sistema con tornillo, tuerca y resorte, como se muestra en la Ilustración 66. El resorte permite, al estar

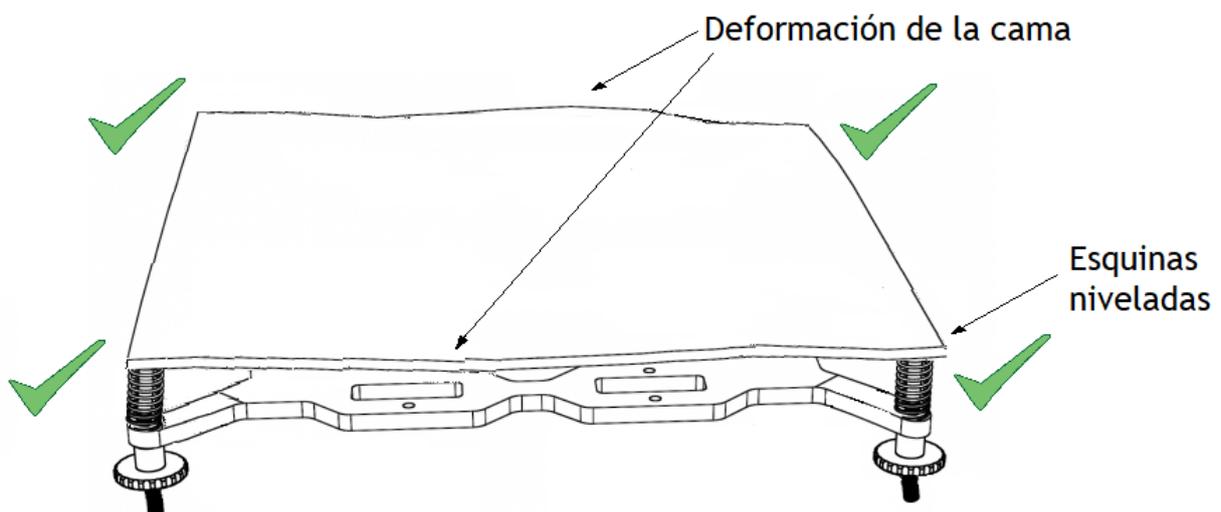
comprimido, que la mesa se mantenga por más tiempo nivelada, evitando que se afloje el tornillo. Una ventaja más al usar resortes es que absorbe vibraciones.



*Ilustración 66: Sistema de nivelación de cuatro puntas.*

### 10.4.2. Nivelación con sensor

De todas maneras, aunque estén niveladas las 4 esquinas de la mesa, existe la posibilidad de que la placa de la cama, no esté completamente plana. Por lo tanto, no importa que tan bien estén niveladas las puntas, siempre van a aparecer diferencias en distintos puntos.



*Ilustración 67: Efecto de la deformación de la cama.*

Las deformaciones de la cama se deben a un ajuste muy fuerte con los tornillos de las esquinas, golpes o por una larga exposición a altas temperaturas. La cama de vidrio, como se dijo anteriormente tiene la ventaja de que mantiene la planitud por más tiempo.

Sin embargo, es necesario conocer las desviaciones a lo largo de la cama y compensarlas. Para esto, se utiliza un sensor de proximidad que detecte la cama en varios puntos y compense el programa (Código G).

En la sección 13 se desarrollará la selección del sensor para poder tener una nivelación de la cama automática e integral.

## 11. Electrónica

En este apartado se desarrollará la selección de los componentes electrónicos que acompañan al microcontrolador. Los componentes desarrollados son:

- Resistencia del extrusor
- Coolers
- Pantalla LCD
- Final de Carrera
- Fuente

### 11.1. Resistencia del extrusor

Para llevar el extrusor a una temperatura de trabajo, se utiliza una resistencia eléctrica ubicada en el Hotend. De esta manera, el material pierde viscosidad y fluye por la boquilla generando la pieza. Generalmente, se utiliza una resistencia cerámica tipo cartucho por su tamaño, resistencia y comodidad de conexión.

Teniendo en cuenta que una de las especificaciones buscadas es tener una temperatura máxima del hotend de  $280^{\circ}\text{C}$  se eligió una resistencia cartucho de 40W 12V. La misma alcanza temperaturas de  $300^{\circ}\text{C}$  máximas en aproximadamente un minuto y puede ser conectada directamente a una salida del microcontrolador.



*Ilustración 68: Resistencia tipo Cartucho.*

## 11.2. Coolers

Un cooler es simplemente un ventilador utilizado en equipos electrónicos para eliminar el calor residual producido por los componentes eléctricos. Dentro de la impresora 3D hay lugares donde se puede utilizar coolers para la refrigeración debido a su eficiencia y bajo costo.

Como ya se mostró anteriormente, en el cabezal hay dos lugares donde es necesario contar con coolers para la disipación de energía. Sin embargo, dentro de la impresora 3D, la electrónica, como puede ser la fuente o el microcontrolador, también requiere eliminar calor generado. Sin embargo, en esta situación la extracción de calor no es tan exigente ya que no se generan temperaturas tan altas como en el cabezal.

En general, la mayoría de los equipos electrónicos no requieren de ventilación forzada, ya que no generan suficiente calor para causar problemas, a menos que estén sometidos a un calor externo. En el caso de la impresora a diseñar, la electrónica se encuentra separada del recinto de impresión para que la temperatura de la mesa y el cabezal, no afecten a los componentes.

Sin embargo, a pesar de que no sería necesario colocar un cooler, se decidió refrigerar para disminuir la temperatura en los componentes electrónicos.

Para tal fin, se utilizará un cooler comercial de 40x40x10mm de 12v ya que es compatible con la tensión de la fuente seleccionada.



*Ilustración 69: Cooler de refrigeración electrónica.*

### 11.3. Pantalla LCD

La pantalla LCD es la forma de comunicación e interacción más sencilla y práctica que puede tener el usuario con la impresora. Desde la pantalla LCD se podrán realizar las siguientes acciones:

- Mostrar los valores actuales que están midiendo los sensores (p.e. temperaturas).
- Realizar movimientos manuales de los motores.
- Controlar los coolers y las resistencias.
- Comenzar una impresión.
- Realizar un cambio de material.
- Modificar parámetros de impresión tales como la temperatura y velocidad.
- Revisar tiempo de impresión y tiempo estimado para finalizar una impresión.

Para lograr permitir al usuario interactuar, se requiere de una forma de recibir datos de entrada. Para tal fin hay dos posibilidades: tener una pantalla táctil o un sistema de botonera o joystick.

La gran diferencia, además de la forma en que se ingresa la información, es el precio. Una pantalla táctil tiene un valor aproximado de 50-60 u\$d, mientras que una con joystick cuesta aproximadamente 15-20 u\$d.

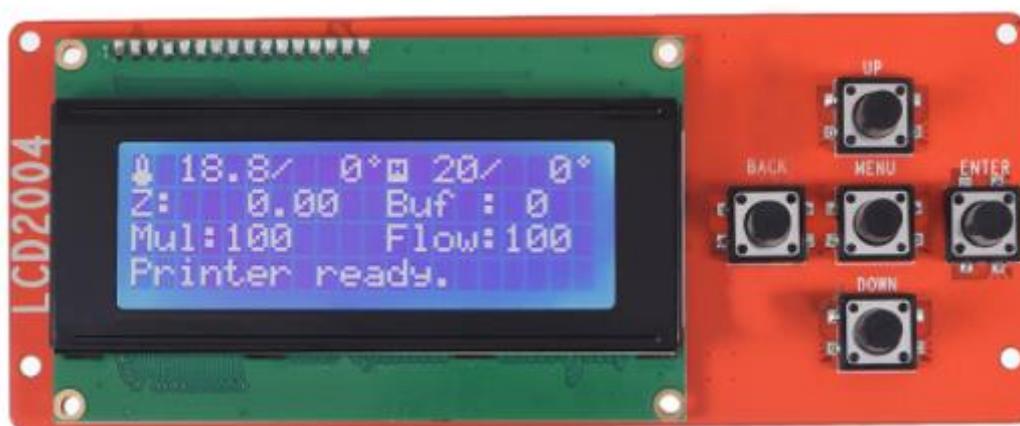


Ilustración 70: Pantalla LCD con joystick.

Otro parámetro a tener en cuenta, es la compatibilidad con el microcontrolador, es decir, que pueda ser conectado a la ficha que viene en la placa.

Teniendo en cuenta la especificación de costo total, se utilizará una pantalla LCD con joystick incorporado.

#### 11.4. Final de carrera

Un final de carrera es un interruptor el cual tiene la función de detectar el movimiento de un elemento móvil a través del accionamiento del mismo. Existen diferentes tipos; mecánicos, capacitivos e inductivos. Sus características se desarrollan en la Sección 13.

Particularmente, en la impresión 3D estos elementos se colocan con la intención de establecer lo que es conocido como el cero máquina. El final de carrera enmarca las dimensiones de la cama para que la impresión se produzca en el lugar correcto. Al iniciar la impresión, el extrusor se dirige hacia esta posición para así darle una referencia a los motores paso a paso. De los tres tipos de finales de carreras mencionados anteriormente, se instalarán del tipo mecánicos, dado su bajo costo y la función que estos tienen que cumplir no justifica seleccionar alguno de los otros.



*Ilustración 71: Ejemplo final de carrera mecánico.*

El tipo de “endstop” elegido es muy utilizado en impresoras 3D. Tiene una precisión de  $\pm 0.01\text{mm}$ , tiene un costo muy bajo y es de fácil recambio, ya que no necesitan de calibración, simplemente colocarlos de manera correcta sobre la estructura de la impresora.



Ilustración 72: Final de carrera mecánico.

### 11.5. Fuente

La fuente es el componente electrónico que permite tener una tensión en corriente continua filtrada desde la tensión en corriente alterna domiciliaria (220v). Es importante que la tensión provista sea compatible con el voltaje del microcontrolador y de todos los componentes conectados. En nuestro caso, la mesa caliente, los coolers y la resistencia se conectan a 12V. En la Ilustración 73, se muestra el diagrama de conexionado de la fuente.

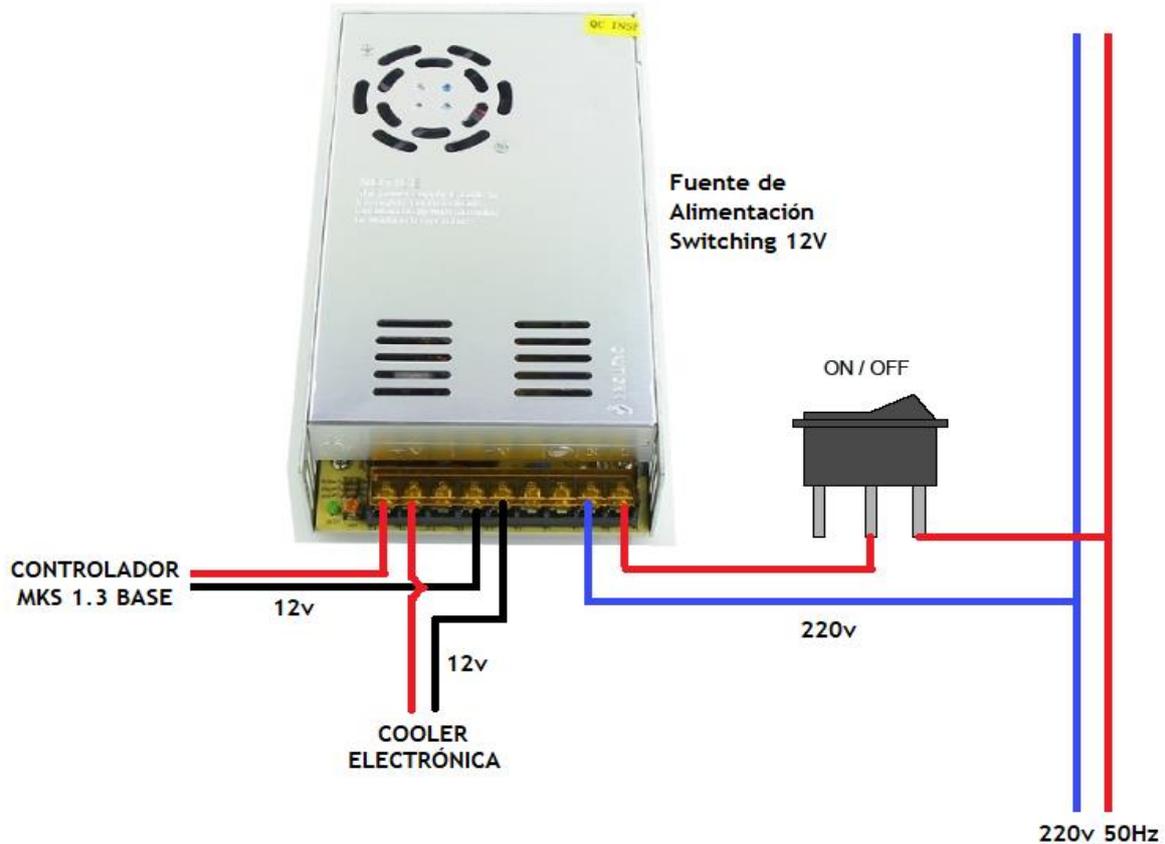


Ilustración 73: Conexionado fuente de alimentación.

## 12. Sensor de temperatura

Un termistor es un componente electrónico que cambia su resistencia con la temperatura. Conociendo el coeficiente de cambio de la resistencia, se puede conocer con mucha precisión la temperatura a la que se encuentra. En la impresión 3D, hay dos zonas donde se utilizan: en el hotend, y en la cama.



*Ilustración 74: Ejemplos Termistor.*

Es un elemento muy importante ya que además de ayudar a mantener a temperatura constante las zonas calientes, también es un elemento de seguridad. Los filamentos tienen una temperatura máxima de trabajo y pueden llegar a carbonizarse si superan los límites.

El software de impresión incorpora una serie de medidas de seguridad en caso de que el termistor se dañe o presente medidas erróneas. En caso de producirse un cambio brusco en la medición de la temperatura, el software lo detecta y emite una alarma o detiene la impresora.

Sin embargo, estos elementos de seguridad no son suficientes y se han detectado casos de impresoras que se incendian (Ver anexo I: Problemas Frecuentes) debido a fallas del termistor y que el software no lo detecta: por ejemplo, en el arranque. Por lo tanto, se van a utilizar en ambas zonas calientes dos termistores que van a estar comparando sus valores constantemente. Cuando uno de los termistores este dañado, aún en el arranque, se va a detectar una diferencia entre ambas mediciones que detiene la impresión.

Actualmente, existen una gran cantidad de termistores diferentes. El funcionamiento es idéntico en todos ellos, lo único que cambia entre ellos es el coeficiente de resistencia. Lo

más importante que tiene que tener es lograr medir con precisión desde los 0 hasta los 280-300° C.

Satisfaciendo la necesidad del rango de temperatura y confiabilidad, se decidió utilizar un termistor NTC 100k. Su rango de temperatura es de 0-280° C y tiene un precio de mercado de 1 dólar.

## 13. Sensor de proximidad

Para lograr una gran nivelación de la cama, la impresora necesita tomar puntos de medición con el sensor sobre la mesa para conocer las distancias que hay en cada punto para luego compensar las distancias en el programa. El sensor es el único valor de entrada que tiene la electrónica para determinar cómo está la cama y las variaciones posibles que tiene.

Por lo tanto, es muy importante la elección del sensor. En el mercado hay varios tipos de sensores: Capacitivos, Inductivos, Ópticos y Mecánicos.

### 13.1. Tipos de sensores de proximidad

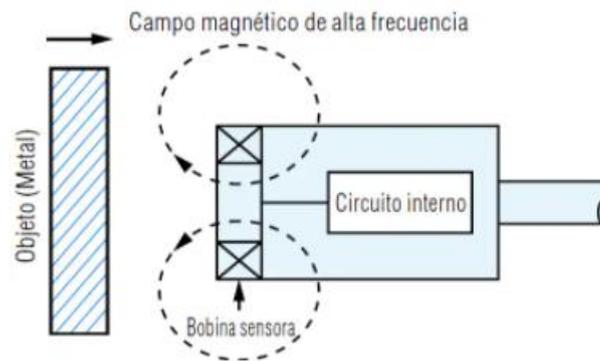
#### 13.1.1. Sensores Inductivos

Un sensor inductivo de proximidad permite detectar objetos metálicos sin tener contacto físico con ellos. No pueden detectar objetos no metálicos, tales como plástico, madera, papel y cerámica.



*Ilustración 75: Sensor Inductivo comercial.*

Su funcionamiento se basa en la inducción de corriente (Foucault) sobre la pieza metálica por medio de un campo magnético. A medida que el objeto se acerca al sensor, aumenta el flujo de corriente de inducción, lo cual provoca que la carga en el circuito de oscilación crezca. La señal se emite cuando el sensor detecta este cambio de oscilación.



*Ilustración 76: Esquema de funcionamiento Sensor Inductivo.*

A pesar de que por su funcionamiento solo puede detectar materiales metálicos, también puede hacerlo a través de materiales opacos de poco espesor, preferentemente plásticos. Su rango de funcionamiento es amplio

Tienen un costo bajo debido a su gran uso no solo en impresoras 3D sino en sistemas de automatización en general (alrededor de 5u\$d). Suelen ser muy durables y resistentes y su medición es poco afectada por el ambiente, como se detalla en la *sección 13.2: Efecto del ambiente*.

### 13.1.2. Sensores Ópticos

Un sensor óptico de proximidad permite detectar cualquier superficie que no sea transparente, translúcida o que pueda ser atravesado por la luz. Tiene muchas aplicaciones en el ámbito industrial y son ampliamente utilizados.



*Ilustración 77: Sensor Óptico comercial.*

Los detectores ópticos basan su funcionamiento en la emisión de un haz de luz que es interrumpido o reflejado por el objeto a detectar. Hay diferentes tipos de sensores ópticos dependiendo de la posición del objeto, pero todos funcionan basados en los efectos de reflexión y refracción de la luz.

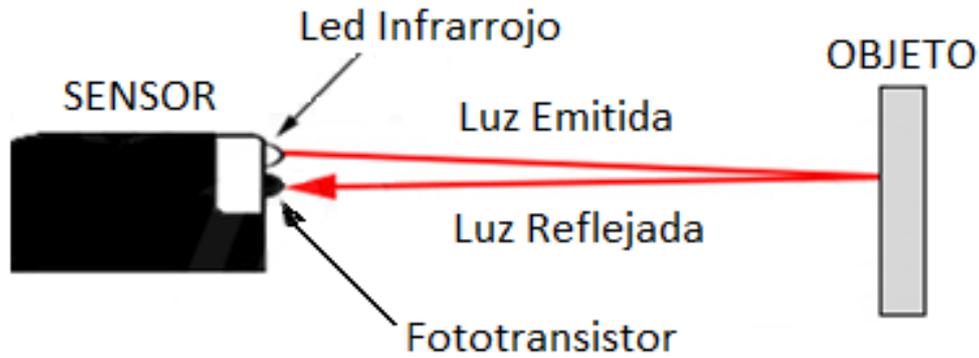
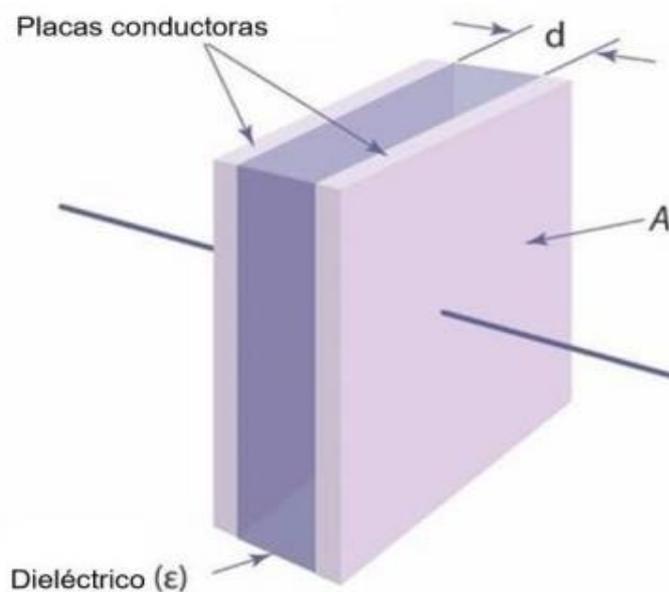


Ilustración 78: Esquema de funcionamiento Sensor Óptico.

Debido a su funcionamiento, puede detectar cualquier tipo de material exceptuando las superficies transparentes. Su costo ronda los 7 dólares.

### 13.1.3. Sensores Capacitivos

Los sensores capacitivos funcionan según el principio de un capacitor de placas ideal. Una de las placas es el sensor propiamente dicho y a otra es el objeto de medición opuesto. Cuanto más cercanos están ambos componentes, sube la capacitancia del capacitor. Al superar un valor fijado, el sensor emite una señal.



$$\text{Capacitancia } (C) = \frac{\epsilon A}{d}$$

ε = Permitividad de dieléctrico

A = Área de solapamiento de placas

d = Distancia entre placas

Ilustración 79: Esquema de funcionamiento de un capacitor de placas paralelas.

Por su funcionamiento, puede censar mucha cantidad de materiales (plásticos, metales, vidrio, madera, etc.), por lo que es muy utilizado en la industria, sobre todo para la medición de nivel. Su costo ronda los 20 dólares.

#### 13.1.4. Mecánico (Bed Level Touch)

BLTouch es un sensor mecánico que posee una aguja retráctil, diseñado para la nivelación de impresoras 3D. Puede funcionar con todo tipo de superficies de mesas de impresión, como vidrio u otros materiales.

Al tener una aguja retráctil, permite hacer contacto con la cama antes que la boquilla en el momento de la calibración y luego retraerse para no obstaculizar la impresión.

Para poder utilizar este tipo de sensor es necesario buscar una compatibilidad entre dicho elemento y el programa a ejecutar, por tal motivo se busca que el sensor sea de código abierto, es decir, que se pueda aplicar en cualquier firmware de programación del microprocesador. El fabricante de BLTouch provee un servicio de asistencia para hacer compatible el sensor con cualquier software (Marlin, Kuttercraft, etc).



*Ilustración 80: BLTouch sensor mecánico.*

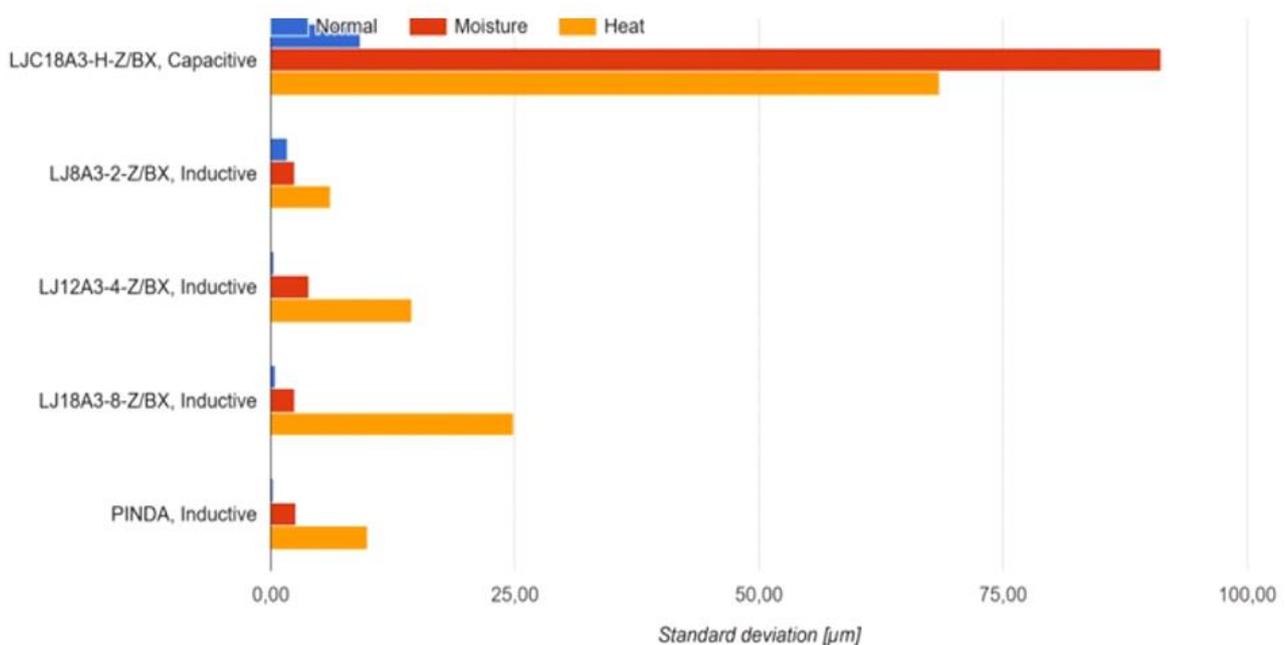
Tiene una gran repetibilidad y no es afectado por factores externos. Sin embargo, tiene un precio de mercado elevado en comparación con otros sensores (alrededor de 30u\$d).

### 13.2. Efecto del ambiente

Una característica importante a tener en cuenta es el ambiente que rodea al sensor. Los parámetros como humedad, temperatura o polvo pueden afectar, de mayor o menor medida, la medición de los sensores.

Observando una experiencia realizada por Thomas Sanladerer, un investigador alemán, se puede observar el efecto que tiene sobre los sensores inductivos y capacitivos. La experiencia consistía en aumentar la humedad y temperatura del aire alrededor del sensor y censar 42 veces un bloque de acero.

En el siguiente grafico se pueden observar los resultados de la experiencia:



*Ilustración 81: Efecto de factores externos en la precisión de los sensores.*

Se observa que, en los sensores capacitivos, el ambiente (humedad, partículas) entre la pieza y el sensor afecta en gran valor a su desviación estándar, al cambiar el dieléctrico del medio. Una situación interesante sucede al soplar entre el sensor capacitivo y la pieza,

donde la desviación estándar de censado supera los 200 micrones de diferencia (0,2mm), comparable con la altura completa de una capa de impresión.

Por otro lado, la temperatura también afecta de manera elevada la medición del sensor. Por lo que, si la impresora queda caliente de una impresión anterior, su medición puede ser incorrecta.

Los sensores inductivos, son levemente afectados por la humedad y por la temperatura de la zona donde está calibrando.

Es importante aclarar que los sensores ópticos son poco afectados por la humedad o suciedad del ambiente. De manera similar, los sensores mecánicos como el BLTouch directamente no son afectados por el ambiente.

### 13.3. Selección del tipo de sensor

La siguiente tabla comparativa resume la investigación sobre las características relevantes de los mismos:

	Inductivo	Óptico	Capacitivo	BLTouch
<b>Costo</b>	Bajo	Bajo	Medio	Medio
<b>Desviación estándar</b>	$\leq 0.1$	$\leq 0.01$	$\leq 0.1$	$\leq 0.01$
<b>Repetibilidad de Precisión</b>	$\leq 5\%$	$\leq 1\%$	$\leq 5\%$	$\leq 1\%$
<b>Material que detecta</b>	Metales	Todos. Excepto superficies transparentes	Todos	Todos
<b>Factores externos</b>	Poco afectado	Poco afectado	Muy afectado	No afectado

Tabla 5: Comparación sensores Inductivos, Capacitivos, ópticos y el BLTouch.

Teniendo en cuenta las características desarrolladas anteriormente y tomando en cuenta las necesidades planteadas en la etapa 2, se decidió elegir un sensor mecánico tipo BLTouch.

En primer lugar, a pesar de tener un costo económico y detectar todo tipo de materiales, el sensor capacitivo no garantiza la confiabilidad esperada ya que una variación en las condiciones ambientales puede generar una diferencia de sensado del tamaño de una capa completa de impresión.

Por otra parte, el sensor óptico no puede detectar la mesa de vidrio ya que no refleja el haz de luz necesario para su funcionamiento. A pesar de que puede registrar el aluminio que se encuentra debajo del vidrio, no se puede garantizar que la compensación requerida por el espesor del vidrio sea constante.

El sensor inductivo tampoco detecta a la mesa de vidrio, por lo tanto, debe registrar el aluminio que se encuentra debajo. Esto plantea una situación similar a la desarrollada en el sensor óptico.

El sensor mecánico tipo BL Touch puede detectar cualquier material, no es afectado por las condiciones ambientales y tiene una gran repetibilidad. Estas características hacen que el sensor brinde la mayor confiabilidad. A pesar de que el costo es superior a los sensores anteriormente mencionados, no presenta gran porcentaje del costo del equipo, por lo tanto, las prestaciones que brinda compensan la diferencia de precio.

## 14. Sensor de Filamento

Un sensor de filamento de una impresora 3D es un dispositivo electrónico que se utiliza para medir la presencia o ausencia de filamento durante la impresión y en base al estado del mismo, enviar una señal para ejecutar las respectivas acciones previamente programadas.

Dependiendo del tipo y del principio de funcionamiento del sensor, se pueden llegar a obtener distintas funciones tales como detectar la ausencia de filamento, detectar atascos, o hasta predecir si la cantidad de filamento restante en el rollo es suficiente para imprimir la pieza deseada.

Usualmente se utilizan sensores de filamento con tres principios de funcionamiento distintos: Mecánicos, ópticos, o bien, una mezcla de ambos.

### 14.1. Tipos de sensores de filamento

#### 14.1.1. Sensor mecánico

Constan de un final de carrera (Ver Ilustración 82) el cual solo puede detectar la presencia o ausencia del filamento. Al tratarse de un principio mecánico, no tiene limitaciones en cuanto al tipo de material. El costo aproximado de este tipo de sensor es de 3 USD.

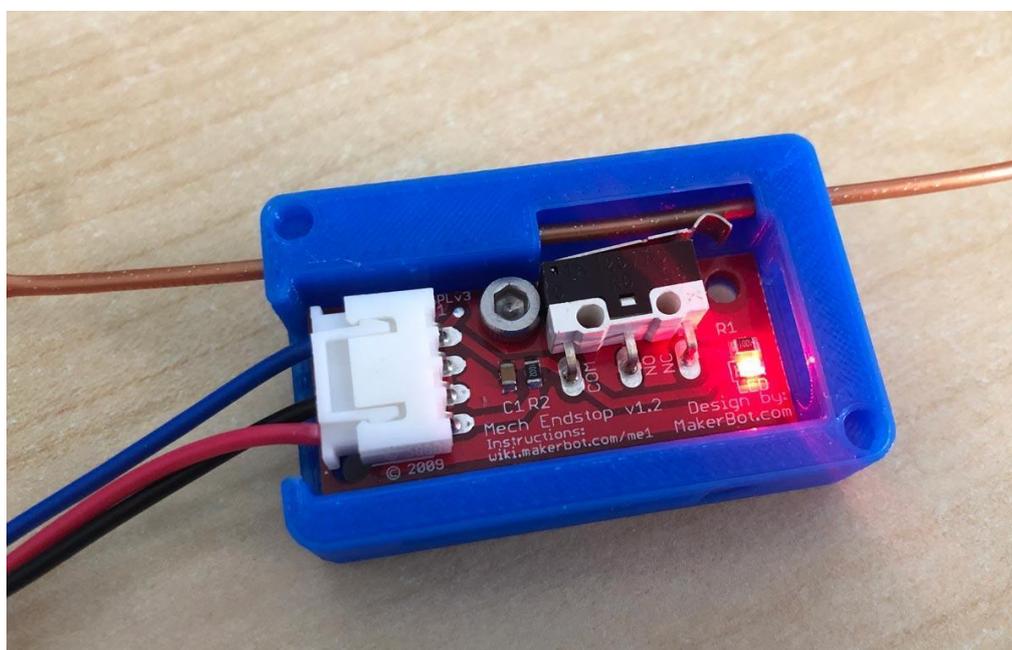


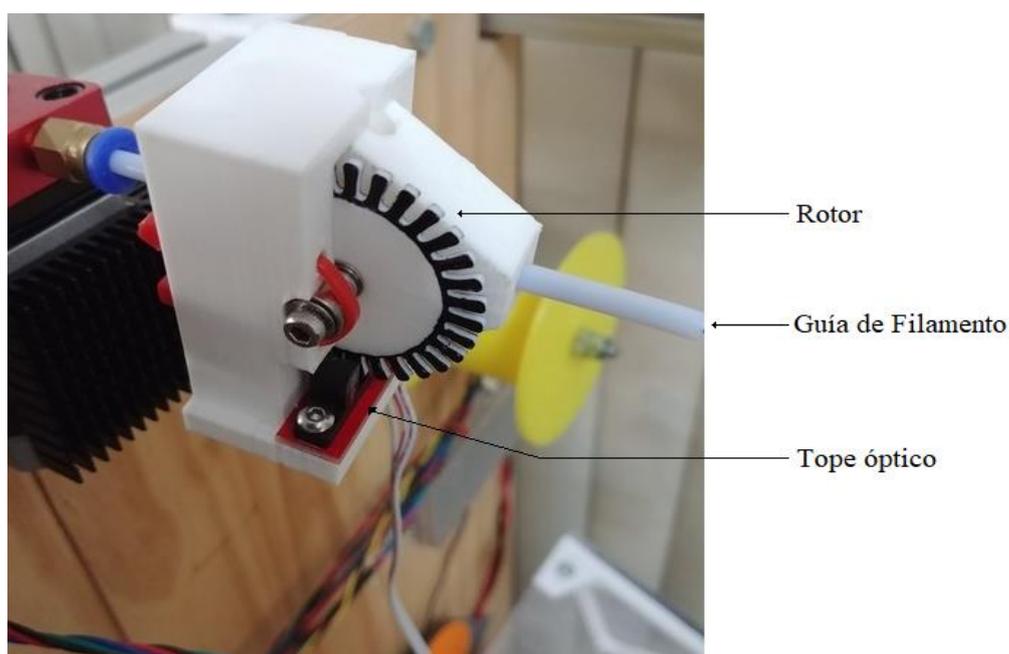
Ilustración 82: Sensor de filamento mecánico.

### 14.1.2. Sensor óptico-mecánico

El principio de funcionamiento consta en detectar mediante una sonda óptica, el movimiento que realiza un elemento mecánico cuando el filamento se desplaza.

Está compuesto por un rotor que es accionado por el desplazamiento del filamento a través de una guía (Ver Ilustración 42). La sonda óptica mide constantemente la reflexión de un láser. Mientras el filamento se desplace y el rotor se encuentre girando, la reflexión del láser será intermitente. Si el tope óptico no detecta dicha intermitencia, envía una señal para detener la impresión. Este tipo de sensor no solo detecta la presencia o ausencia del filamento, sino que también censa el desplazamiento del filamento, de esta manera, puede llegar a detectar posibles atascos.

En la Ilustración 43 se pueden apreciar los componentes de un sensor óptico-mecánico comercial donde el filamento se desliza por la pista externa de un rodamiento y la sonda detecta la rodadura de las bolas. El costo aproximado de este tipo de sensor es de 10 USD.



*Ilustración 83: Sensor de filamento óptico casero.*

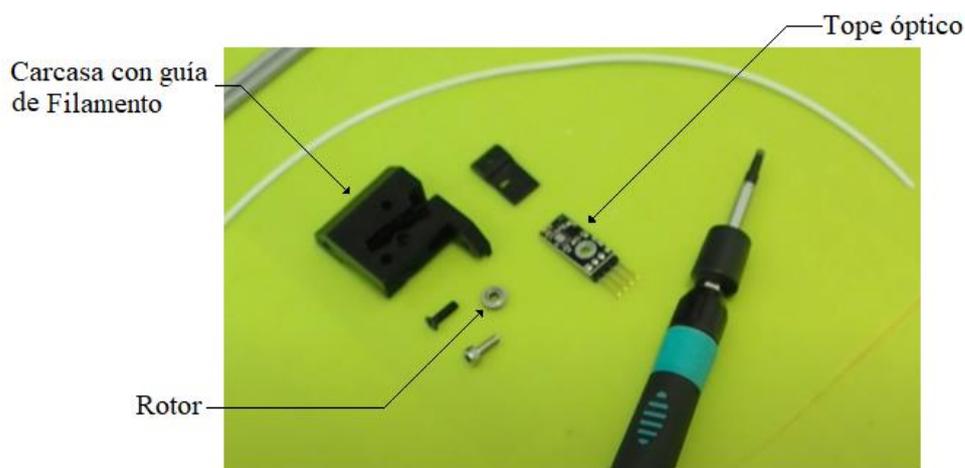


Ilustración 84: Sensor de filamento óptico comercial.

### 14.1.3. Sensor óptico

Este tipo de sensor utiliza el principio de reflexión de los materiales para detectar la presencia o ausencia de filamento. Para ello, utiliza sondas ópticas de alta calidad compatibles con: filamentos opacos, translúcidos y transparentes. Este sensor óptico mantiene la constancia y la tensión sin interferir en los elementos mecánicos o los agarres, lo que permite la compatibilidad con múltiples tipos de materiales, en particular, los filamentos flexibles. Sin embargo, la mayoría de estos sensores sólo son compatibles con marcas específicas tales como RAISE3D o Stratasys debido a que sus productos cuentan con una superficie apta para este tipo de sensores. El costo aproximado de este tipo de sensor es de 115 USD.

## 14.2. Selección del sensor de filamento

Pese a que el sensor de filamento no es un elemento indispensable para el funcionamiento de la impresora 3D, evaluando las ventajas y el valor agregado que aporta contra las desventajas y el costo del dispositivo, se optó por incorporarlo dentro de los elementos de la impresora a diseñar.

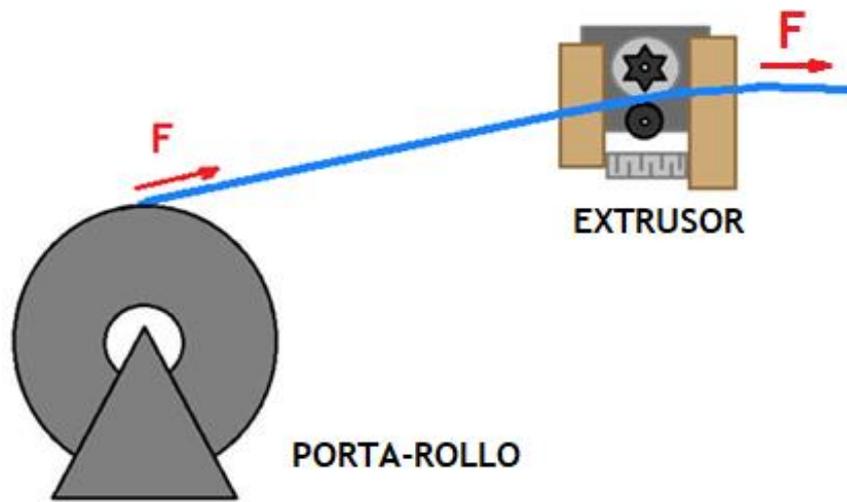
Una vez definida la incorporación del sensor y luego de detallar los diferentes tipos, se tuvieron en cuenta las especificaciones de la etapa anterior y los elementos ya definidos en el diseño de la impresora para seleccionar dicho sensor. En cuanto a las especificaciones, se tuvo en cuenta la posibilidad de utilizar cualquier tipo de filamento, por lo que se descartó el sensor de tipo óptico dada su limitada intercambiabilidad entre los distintos fabricantes.

Se decidió utilizar el sensor mecánico ya que aporta un método de control sobre la alimentación de la impresora, a un costo muy bajo y con un sistema simple, fácil de reemplazar.

## 15. Porta Rollo

El porta-rollo es un aspecto muy importante a tener en cuenta para garantizar un flujo de material constante en una impresión.

Como ya se explicó anteriormente, un sistema de extrusión empuja el material hacia el cabezal donde se calienta y deposita sobre la cama. Si el porta-rollo o el filamento están trabados, el extrusor va a continuar aplicando una fuerza sobre el filamento hasta que este se corte o se desgaste entre las ruedas dentadas del extrusor.



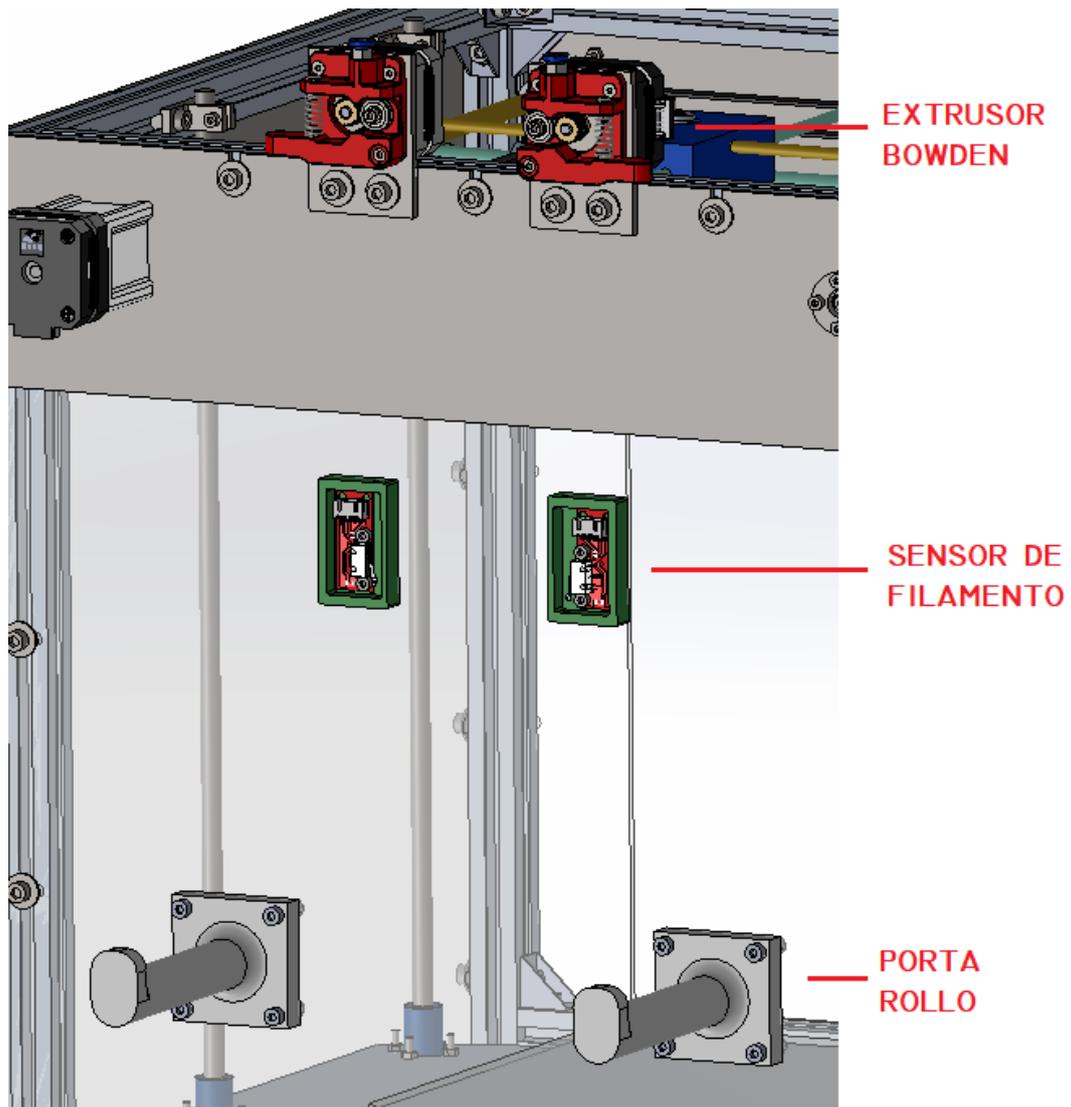
*Ilustración 85: Esquema de porta-rollo y extrusor.*

Es por este motivo que el porta-rollo tiene que girar libremente y estar a una distancia del sistema de extrusión para evitar situaciones externas que puedan trabar el filamento.

Por otro lado, debido a la gran cantidad de materiales diferentes, colores y prestaciones de los filamentos, es habitual cambiar de rollo entre impresiones. Es por eso que el porta-rollo debe permitir un cambio rápido y sencillo de cada rollo de filamento que se quiera usar.

En el mercado de filamentos, cada fabricante tiene un rollo de material de dimensiones diferentes, por lo que no se puede utilizar un tamaño normalizado de referencia. De hecho, también hay diferentes dimensiones de rollos para diferentes cantidades de material (250gr, 500gr, 1kg).

Teniendo en cuenta estas solicitudes, se decidió por soportes individuales para cada rollo como puede verse en la Ilustración 86. Están ubicados directamente debajo del sensor de filamento y del extrusor bowden para generar una dirección clara y simple del filamento.



*Ilustración 86: Sistema de porta rollo.*



# ANEXO IV

# MANUAL DE ENSAMBLE

**UTN - Facultad Regional Delta**

**Departamento de Ingeniería Mecánica**

**Ing. Fernando Maidana - Ing. Julio Basualdo**

**Alumnos:**

**FERRER, Braian - NASI, Franco - TORRANO, Federico**

**Versión 2 - Abril 2023**

**Índice de contenido:**

0.	Ensamblajes Independientes.....	3
0.1.	Estructura Completa (Perfiles).....	3
0.2.	Microcontrolador con separadores .....	4
0.3.	Motor eje Z con separador.....	4
0.4.	Mesa eje Z.....	5
0.5.	Medio eje X con panel lateral.....	6
0.6.	Potencia ejes XY .....	7
0.7.	Cabezal .....	8
0.8.	Medio eje Y con panel lateral.....	9
0.9.	Sistema Bowden con motor y soporte .....	9
0.10.	Cooler Panel Trasero .....	10
0.11.	Panel Frontal con Pantalla .....	10
1.	Guía de Ensamblaje del equipo .....	11
1.1.	EJE Z - Piso de electrónica + electrónica .....	11
1.2.	EJE Z - Mesa en posición .....	12
1.3.	EJE Z - Instalar varillas.....	13
1.4.	EJE X - Colocar chapa con la estructura.....	14
1.5.	EJE X - Completar eje .....	15
1.6.	EJE X - Agregar potencia al eje .....	16
1.7.	Eje Y - Poner chapa con la estructura .....	17
1.8.	EJE Y - Completar eje .....	17
1.9.	EJE Y - Agregar potencia al eje.....	18
1.10.	CABEZAL - Se conectan los travesaños.....	18
1.11.	CABEZAL - Colocar mitades de carro faltantes. ....	19
1.12.	Paneles laterales acrílico .....	20
1.13.	Portarollo.....	21
1.14.	Sensor de filamento .....	21
1.15.	Sensores de final de carrera.....	22
1.16.	Bowden .....	22

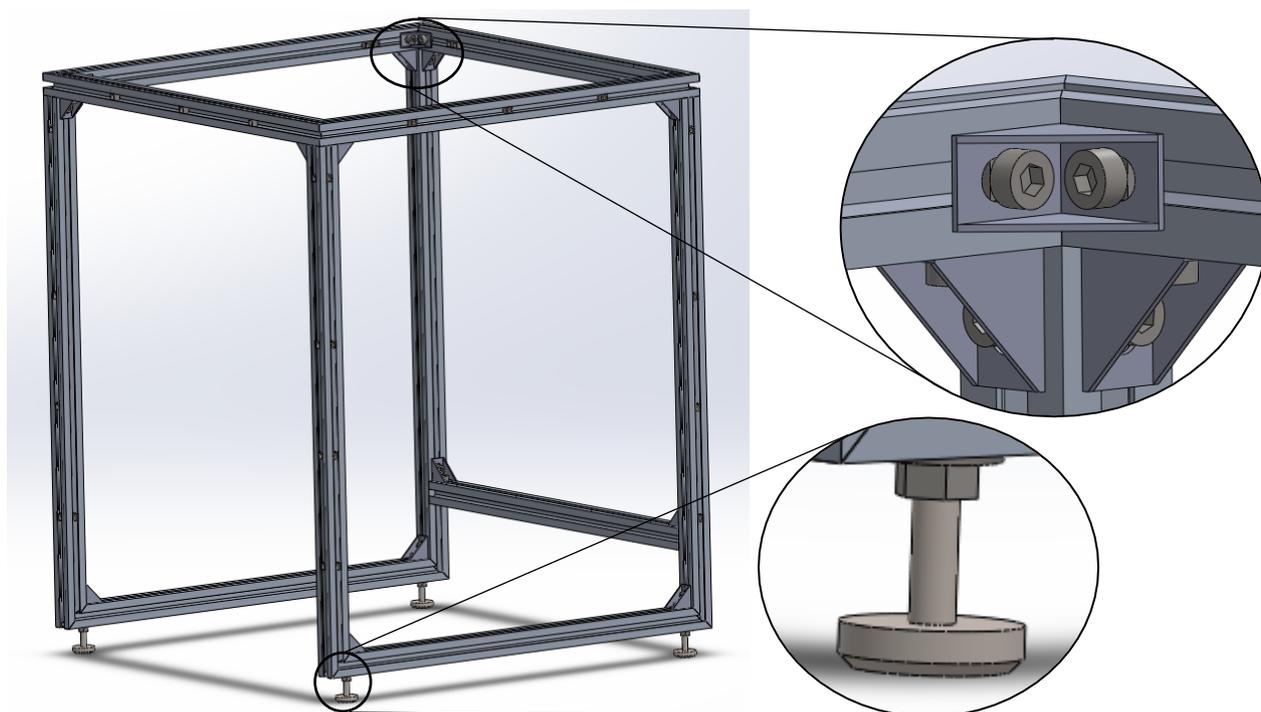
El siguiente manual tiene como objetivo presentar la forma más ordenada de ensamblaje del equipo. Las imágenes son de modo representativo para ayudar a comprender cada paso del proceso.

Los ensamblajes que comienzan con 0.X son sub ensamblajes que pueden hacerse independientemente de los demás. Por otro lado, los que inician con 1.X requieren de un ensamblaje previo realizado.

## 0. Ensamblajes Independientes

### 0.1. Estructura Completa (Perfiles)

- Ensamblar los diferentes perfiles estructurales Bosch 20x20 utilizando los ángulos de fijación como se muestra en la ilustración. Se utilizan tuercas T 5 y tornillos M5x8mm.
- Instalar las patas regulables utilizando tuercas T5, tuercas M5 y arandelas 5mm.

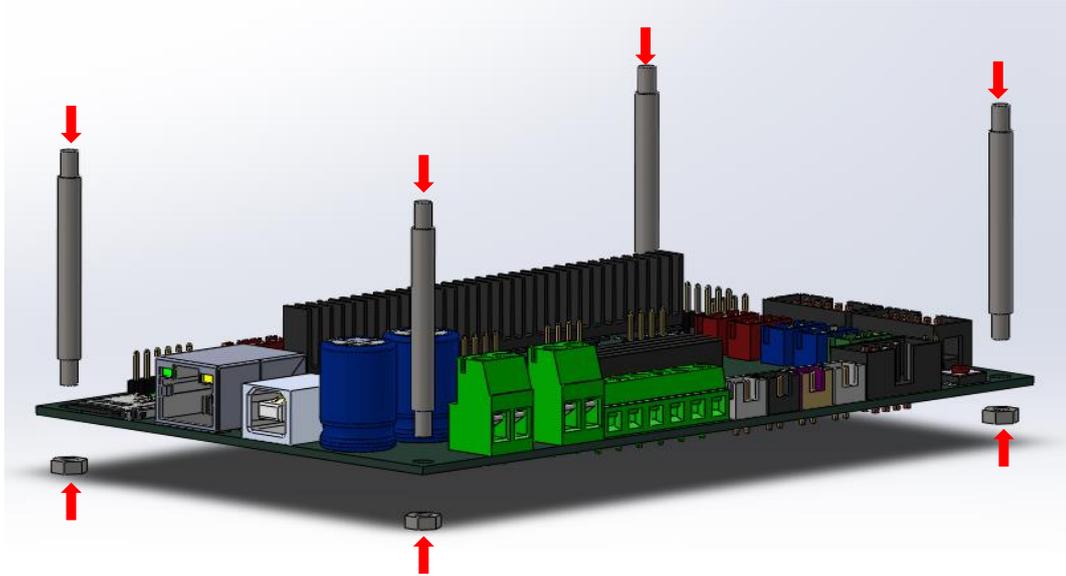


Detalles a tener en cuenta:

- ✓ Insertar la cantidad de tuercas, según plano, en los laterales de los perfiles antes de cerrar el ensamblaje para luego poder instalar los otros componentes.
- ✓ Alinear Estructura con los soportes regulables.
- ✓ Uno de los perfiles Bosch de la parte inferior se instala en un paso posterior.

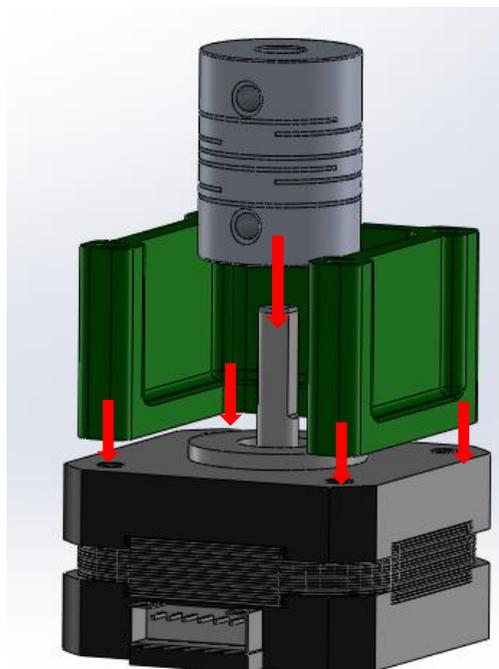
## 0.2. Microcontrolador con separadores

- Ensamblar los separadores con la placa MKS BASE v1.3 y las tuercas M3.



## 0.3. Motor eje Z con separador

- Colocar acople nema 17 y ajustar con el prisionero inferior al eje del motor.
- Posicionar separador verde (eje Z) y dejar ensamblado con las varillas M3x35mm.

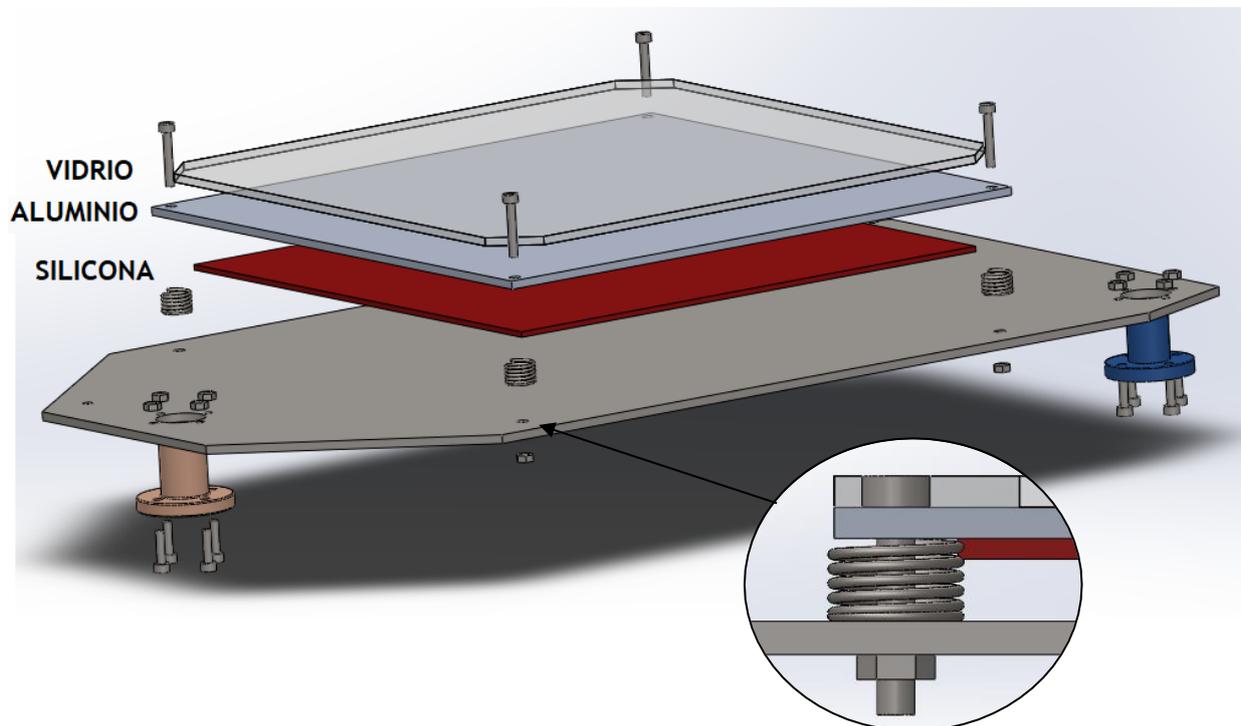


Detalles a tener en cuenta:

- ✓ Ver la posición del conexionado del motor con la parte abierta del separador.

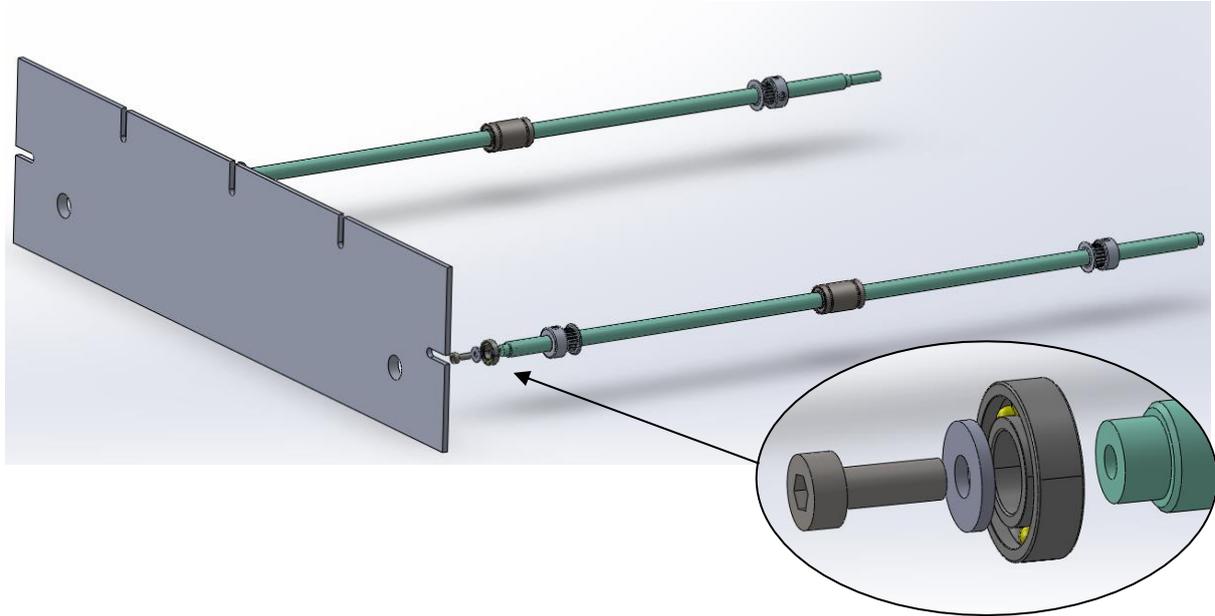
#### 0.4. Mesa eje Z

- Instalar la tuerca de bronce rosca ACME (Marrón) junto con los tornillos M3x12 y tuercas M3.
- Instalar ambos rodamientos lineales LMF8UU (Azul) con los mismos tornillos y tuercas.
- Adherir la silicona a la placa de aluminio de manera centrada.
- Ensamblar la mesa de la manera que se muestra en la ilustración. La mesa se sujeta a la placa de aluminio por medio de ganchos mariposa.



### 0.5. Medio eje X con panel lateral

- Ensamblar los ejes contra uno de los paneles laterales del equipo.
- Colocar los rodamientos junto con el tornillo y arandela para fijarlo en posición.

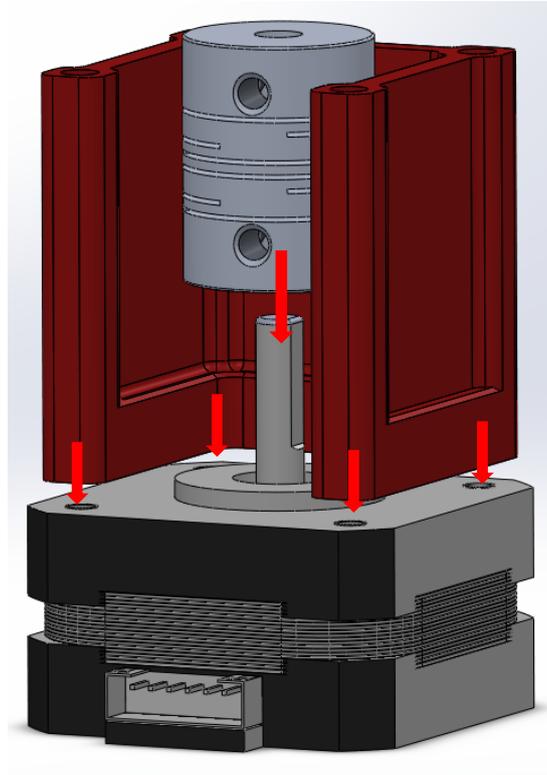


Detalles a tener en cuenta:

- ✓ Posicionar las poleas GT20 según plano y fijarlas al eje con su respectivo prisionero.
- ✓ Insertar los rodamientos lineales según ilustración. Deberán quedar libres.

### 0.6. Potencia ejes XY

- Colocar acople nema 17 y ajustar con el prisionero inferior al eje del motor.
- Posicionar separador rojo (eje XY) y dejar ensamblado con las varillas M3x50mm.

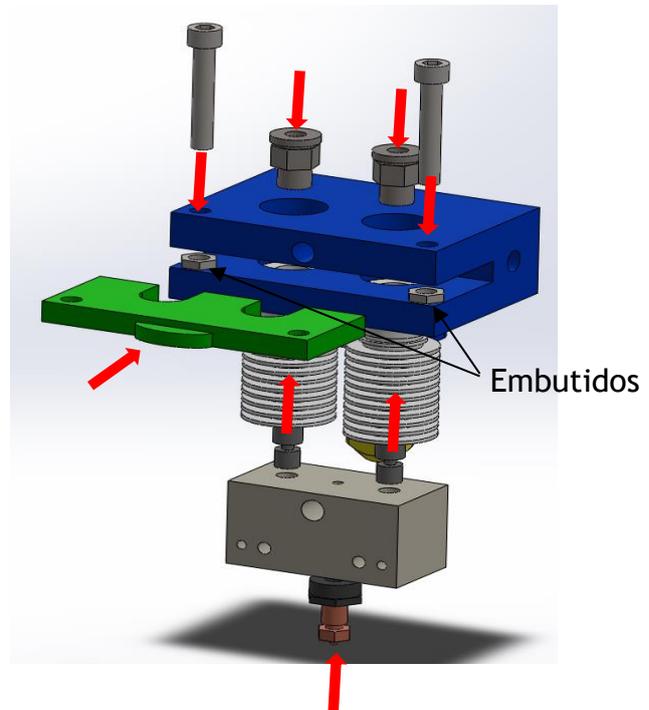
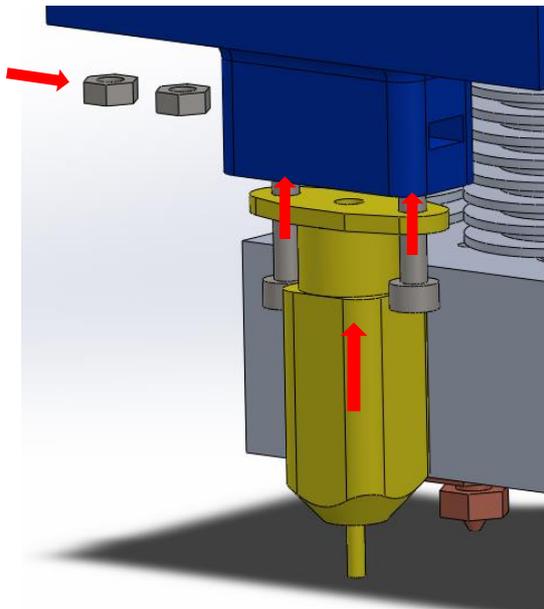


Detalles a tener en cuenta:

- ✓ Se deben ensamblar dos iguales.
- ✓ Ver la posición del conexionado del motor con la parte abierta del separador.

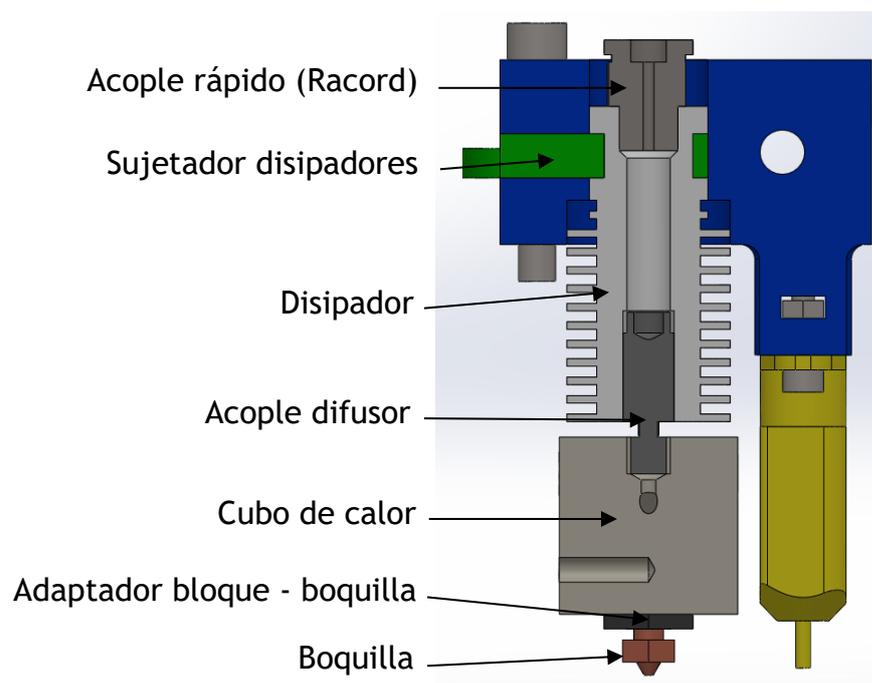
### 0.7. Cabezal

- Instalar el BLTouch (Amarillo) con M3x12 y tuercas M3. Las tuercas deben ir dentro del recinto diseñado para quedar escondidos.
- Ambos disipadores deben ser ensamblados de la misma manera, como se muestra en la ilustración, y trabados con la pieza verde.



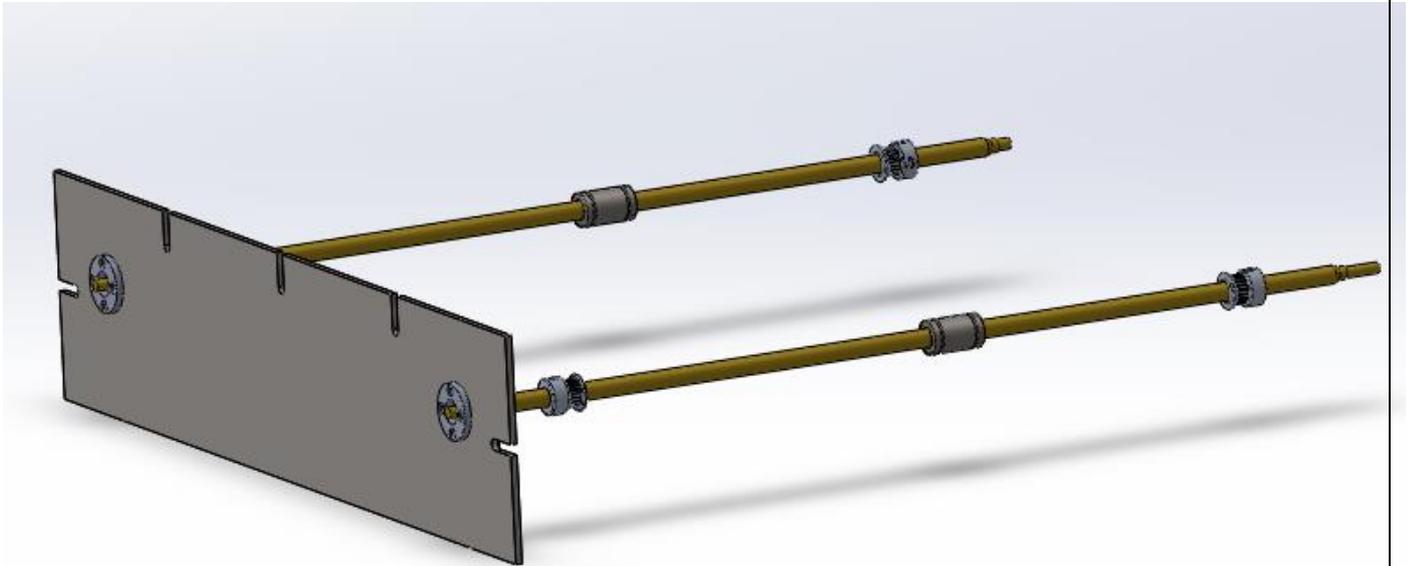
Detalles a tener en cuenta:

- ✓ Las piezas deben ser ensambladas en este orden de manera que el filamento pueda ingresar por el acople rápido en la parte superior y salir por la boquilla.



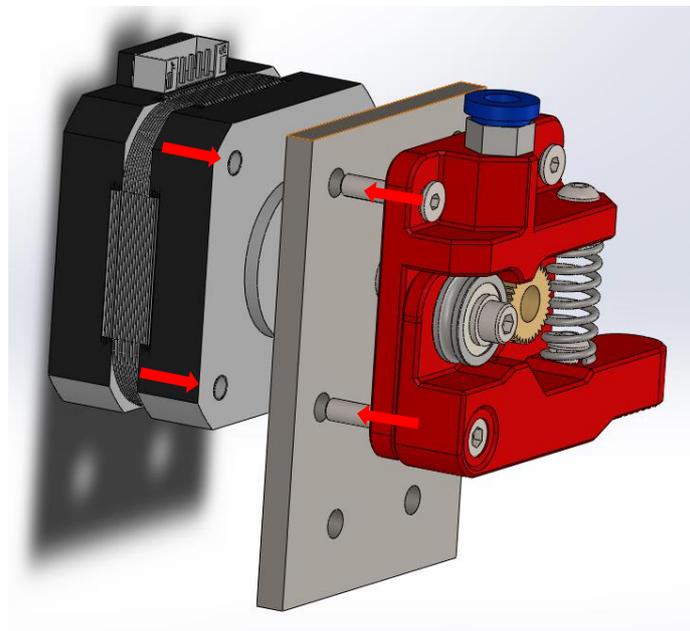
### 0.8. Medio eje Y con panel lateral

Seguir el mismo procedimiento que para el sub ensamblaje 0.5: Medio eje X.



### 0.9. Sistema Bowden con motor y soporte

- Vincular motor con el sistema bowden, sujetando la placa entre ambas piezas. Apretar prisionero de sujeción en rueda dentada (marrón).



Detalles a tener en cuenta:

- ✓ Armar un izquierdo (a) y derecho (b)

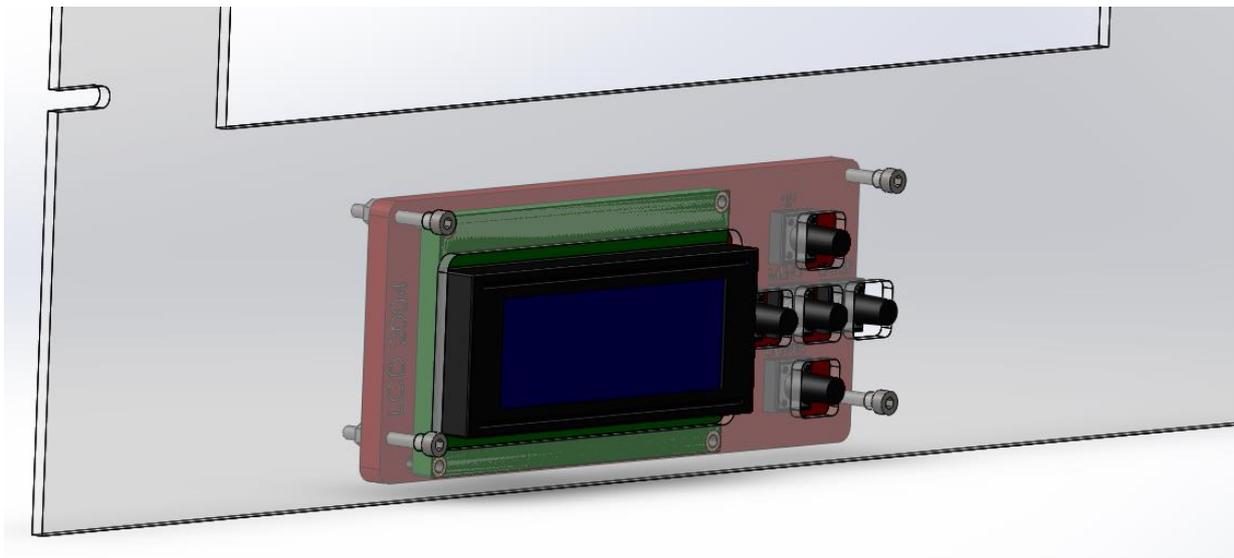
### 0.10. Cooler Panel Trasero

- Utilizando bulones M3x16 y tuercas M3, sujetar ambos coolers 4010 al panel trasero. (Es el que tiene el lugar para la toma de tensión).



### 0.11. Panel Frontal con Pantalla

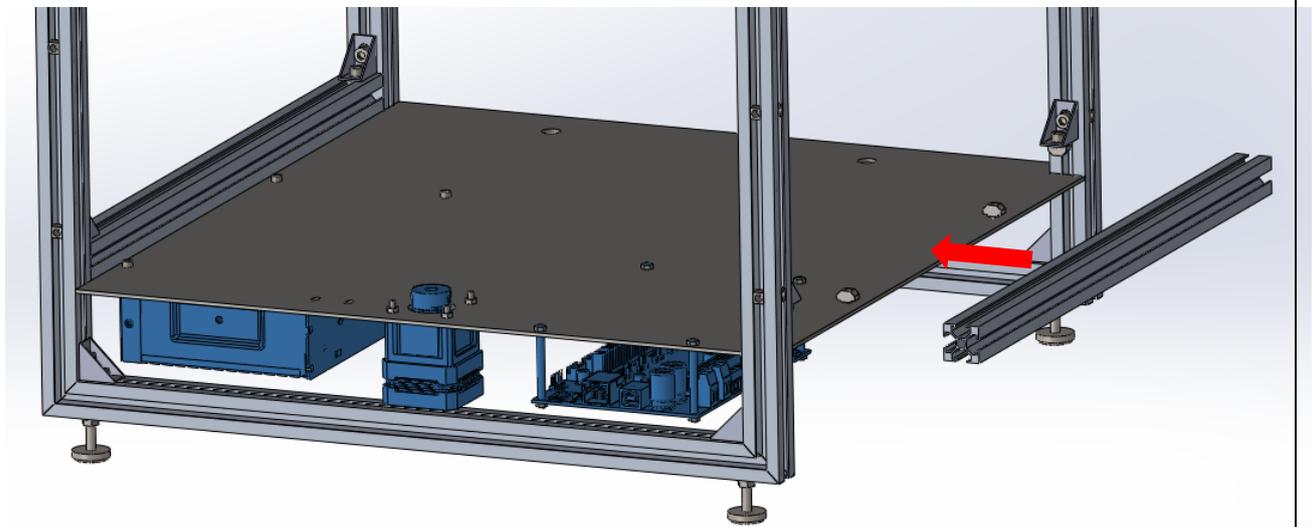
- Utilizando bulones M3x25 y tuercas M3, sujetar la pantalla LCD al panel delantero.



## 1. Guía de Ensamblaje del equipo

### 1.1. EJE Z - Piso de electrónica + electrónica

- Colocar el piso de la electrónica según se muestra en la ilustración.
- Agregar el perfil Bosch 20x20 faltante para sujetar el piso de la electrónica. Se debe sujetar primer el perfil a los laterales con los ángulos de fijación.
- Luego, sujetar la fuente y los sub ensamblajes “0.2: Microcontrolador” y “0.3: Motor eje Z con separador” a la placa “piso de electrónica” con los respectivos bulones y tuercas.



Detalles a tener en cuenta:

- ✓ Se debe posicionar primero el piso de la electrónica antes que el perfil Bosch 20x20.

## 1.2. EJE Z - Mesa en posición

- Posicionar mesa dentro de la estructura (Sub ensamblaje 0.4).
- Pasar las varillas  $\varnothing 8 \times 500$  por los rodamientos lineales LMF8UU y el tornillo del eje Z (ACME) por la tuerca de la cama.

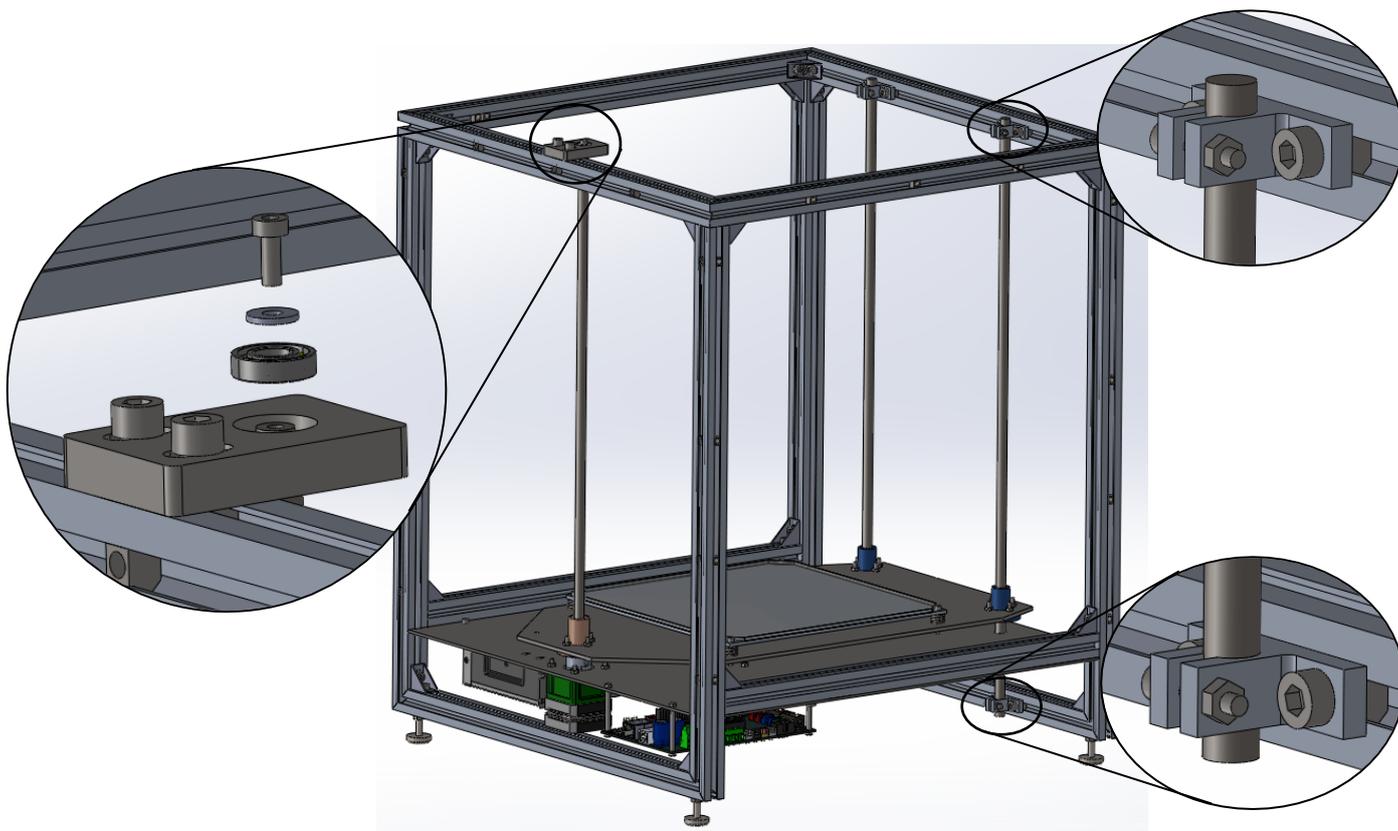


Detalles a tener en cuenta:

- ✓ Dejar la cama apoyada en la posición inferior para no generar esfuerzos.
- ✓ Solo presentar las varillas. No ajustar todavía.

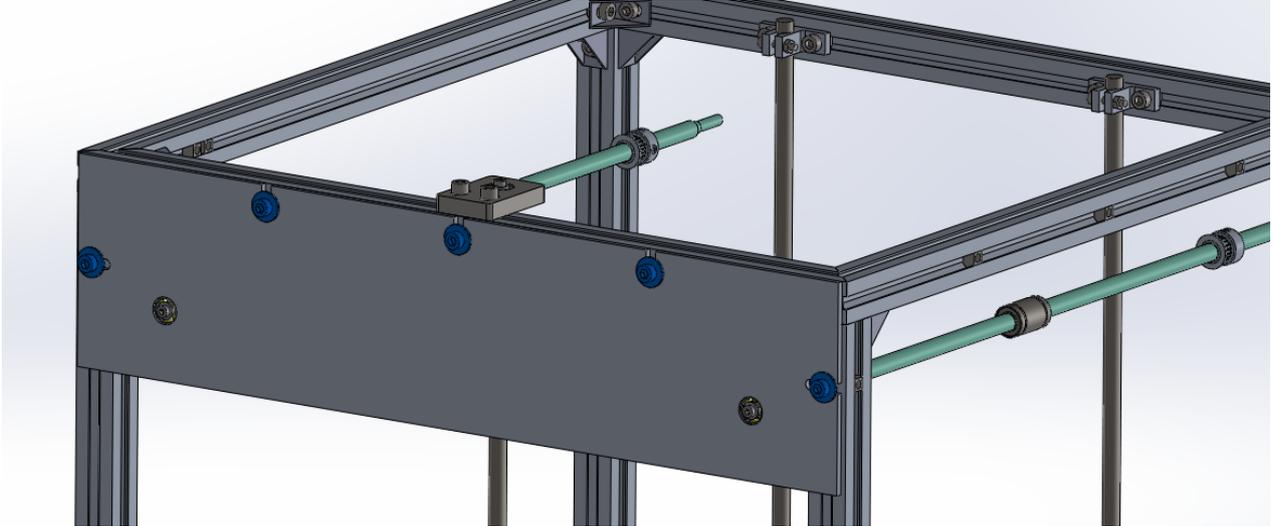
### 1.3. EJE Z - Instalar varillas

- Posicionar y afirmar las varillas trefiladas con los sujetadores, tanto desde la parte superior como inferior. Usar bulones M5x8mm y las tuercas T5 embutidas en los perfiles Bosch.
- Insertar varilla roscada en el acople, lado motor, y alinear desde el porta rodamiento que se encuentra en la parte superior.
- Colocar el rodamiento como se muestra en la ilustración, ajustándolo con la arandela y el bulón M3x8mm.



### 1.4. EJE X - Colocar chapa con la estructura

- Utilizar bulones M5x8mm y arandelas para sujetar el ensamblaje “0.5: Ensamblaje medio eje X” a la estructura.

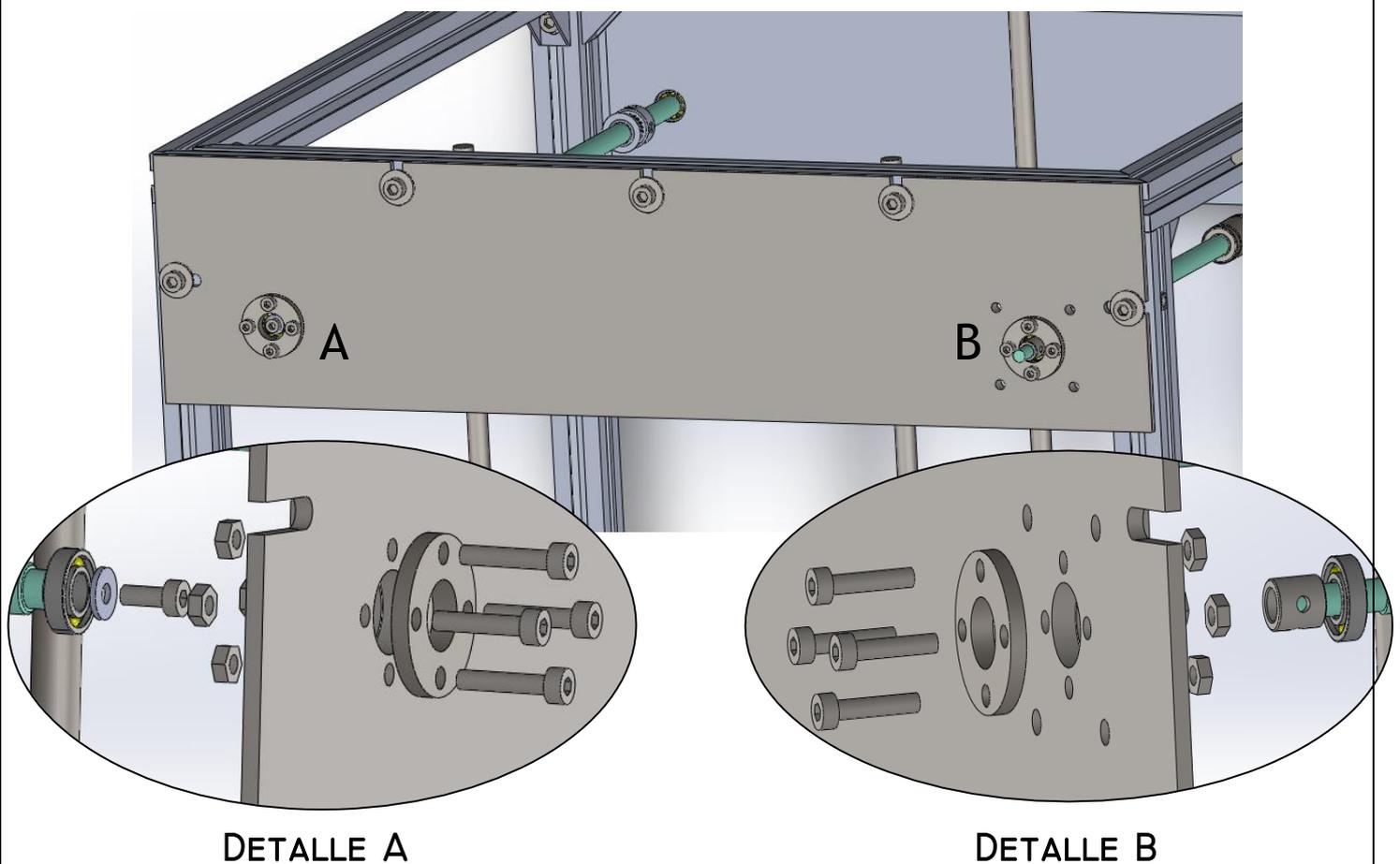


Detalles a tener en cuenta:

- ✓ Ver la orientación del eje X respecto a las varillas del eje Z antes de sujetarlo a la estructura.

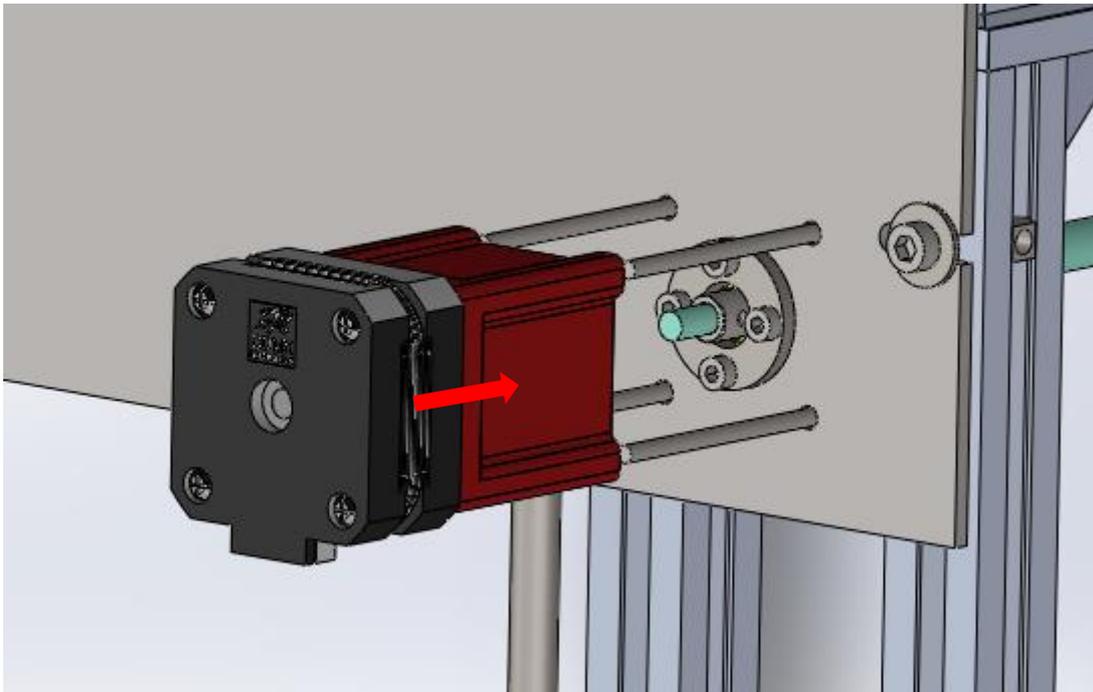
### 1.5. EJE X - Completar eje

- ✓ Colocar el otro panel lateral del eje X y afirmarlo a la estructura con bulones M5x8mm y arandelas.
- ✓ Continuar con los ensamblajes de los ejes con los rodamientos y las fijaciones de las distintas pistas.
- ✓ En el ensamble A, se debe limitar el movimiento del rodamiento por medio de un bulón M3x8mm y una arandela.
- ✓ En el ensamble B, se coloca un distanciador para luego poder colocar de forma cómoda el acople del motor del eje.



### 1.6. EJE X - Agregar potencia al eje

- ✓ Acoplar el ensamblaje “0.6: Motor eje XY con separador” al eje que sobresale de la estructura (Detalle B - Ensamblaje 1.5).
- ✓ Utilizar las varillas roscadas M3x50mm y tuercas M3 para sujetar el ensamblaje al panel lateral.

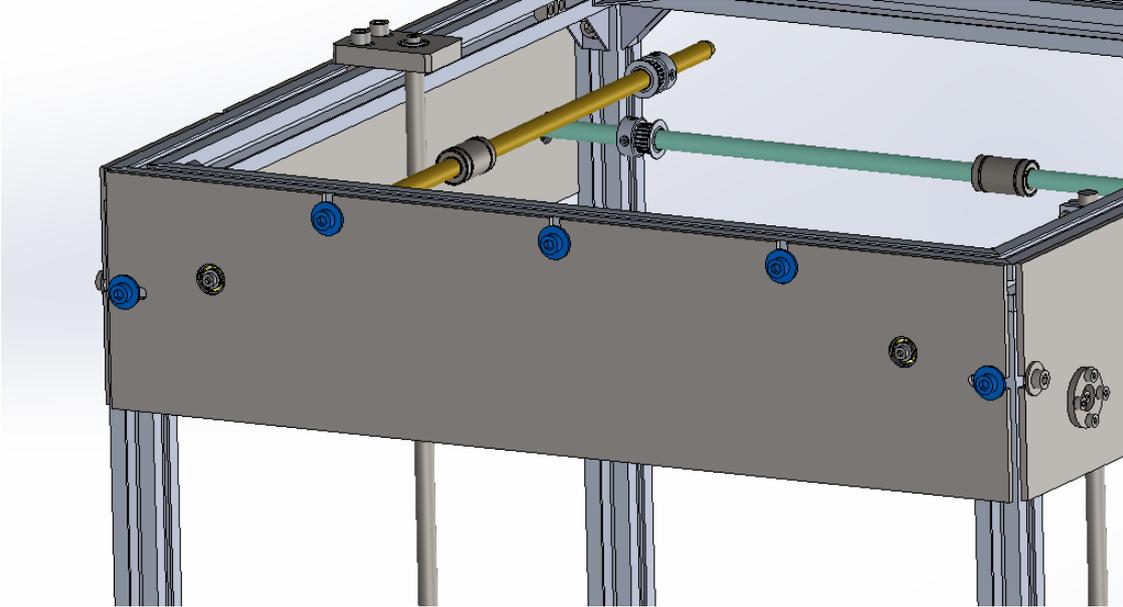


Detalles a tener en cuenta:

- ✓ Ver la orientación del conector del motor pasa no pasa para que sea más sencilla la conexión del cableado.

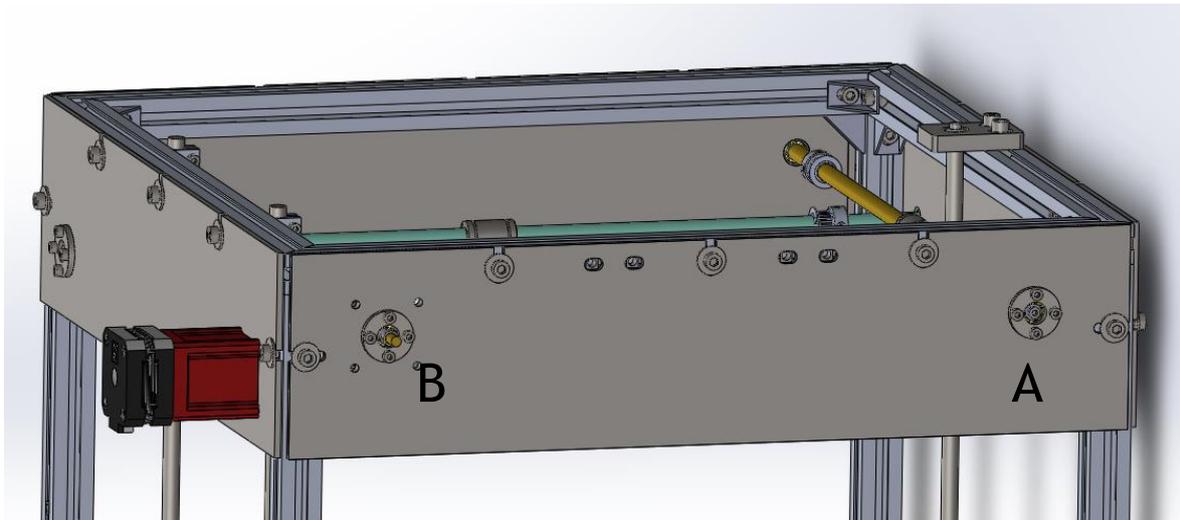
### 1.7. Eje Y - Poner chapa con la estructura

- Realizar los mismos pasos que en el paso “1.4: EJE X - Colocar chapa con la estructura” colocando el sub ensamblaje “0.8: Medio Eje Y”.



### 1.8. EJE Y - Completar eje

- Realizar los mismos pasos que en el paso “1.5: EJE X - Completar eje” para colocar el panel lateral y sujetar los ejes en los rodamientos.



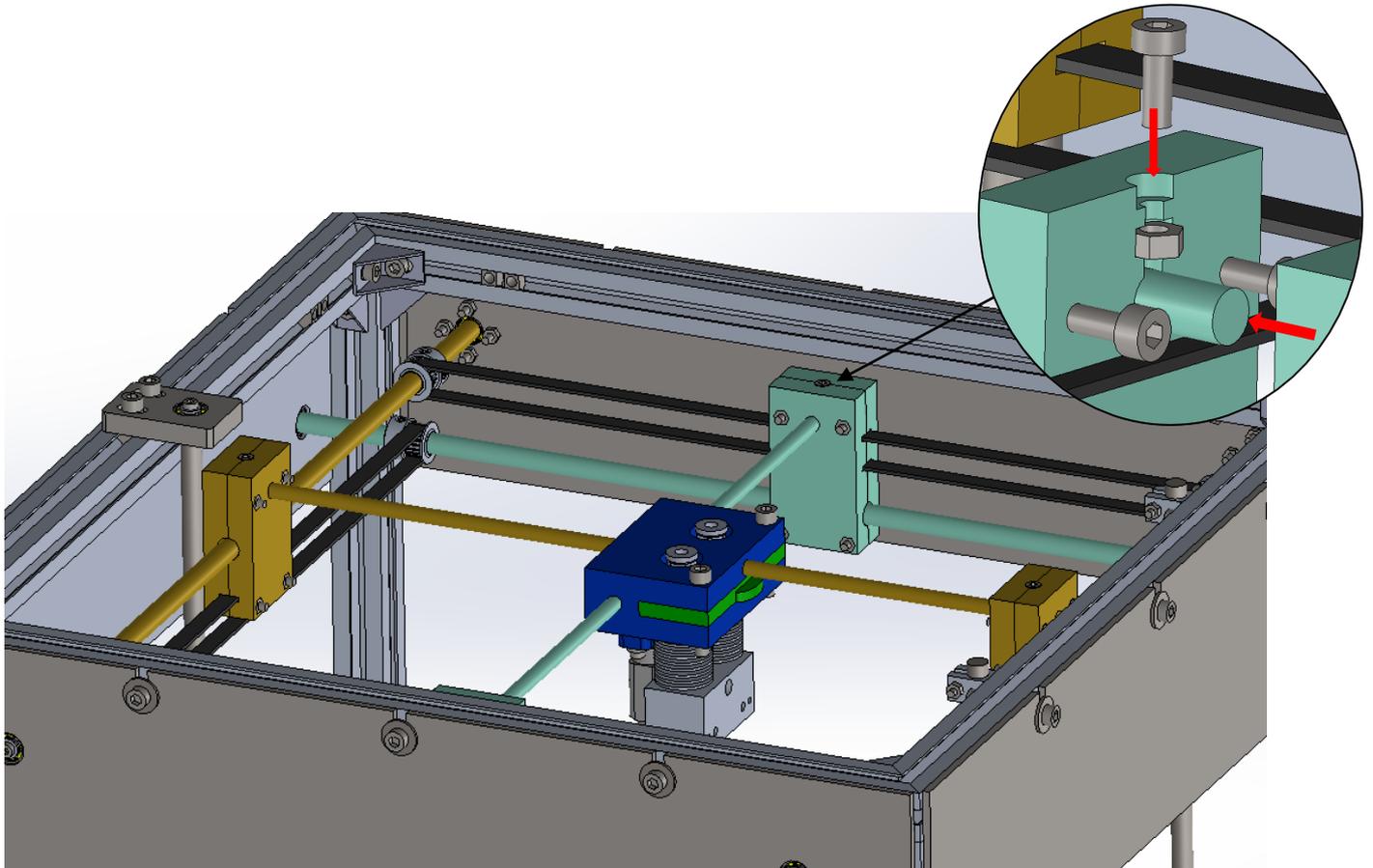
Detalles a tener en cuenta:

- ✓ Ver la ubicación del ensamblaje tipo B, donde queda el separador para la posterior instalación del motor.



### 1.11. CABEZAL - Colocar mitades de carro faltantes.

- Atravesar los carros con las correas para poder cerrar el ensamblaje.
- Cerrar los ensamblajes de los carros colocando tuercas M3 y bulones M3x20mm.
- Fijar el movimiento de las varillas (travesaño) por medio de la tuerca M3 y el bulón M3x8mm como se muestra en el detalle de la ilustración.
- Realizar ajustes necesarios en las poleas para que queden alineadas.

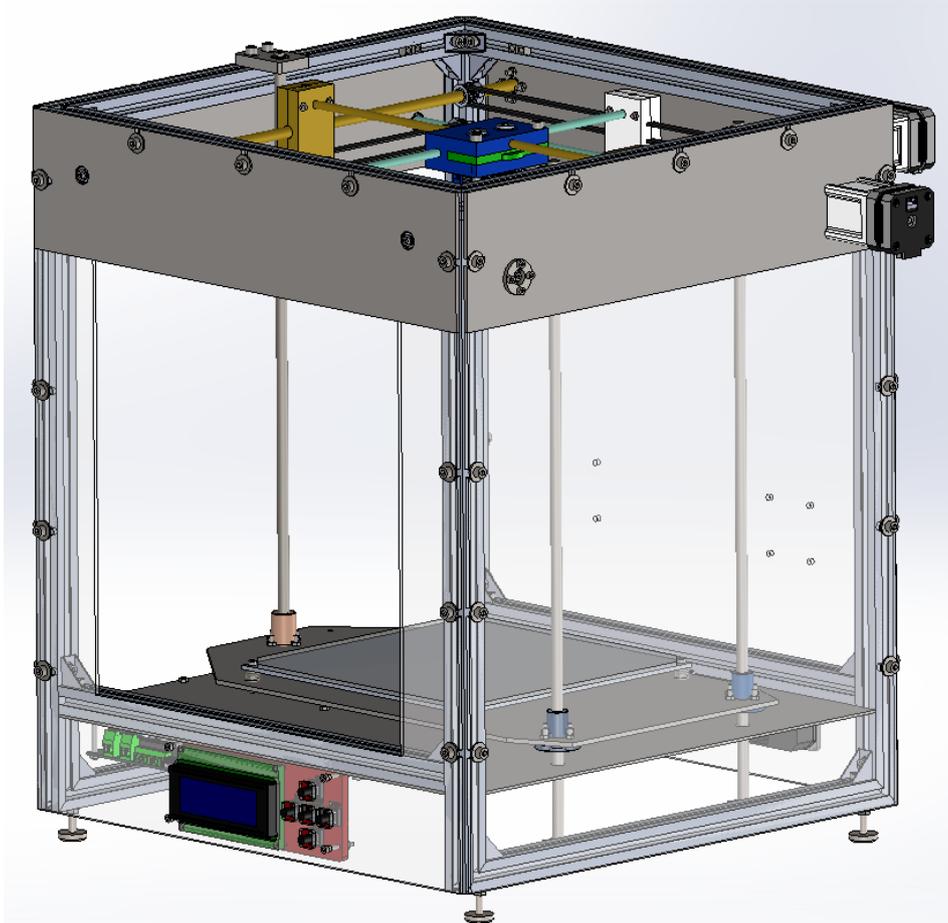


Detalles a tener en cuenta:

- ✓ Realizar los ensamblajes de los carros un eje a la vez.
- ✓ Dejar tensas las correas al momento de fijarlas al carro.

## 1.12. Paneles laterales acrílico

- Instalar los diferentes paneles laterales de acrílico a la estructura con los bulones M5x10mm y las arandelas 5mm.

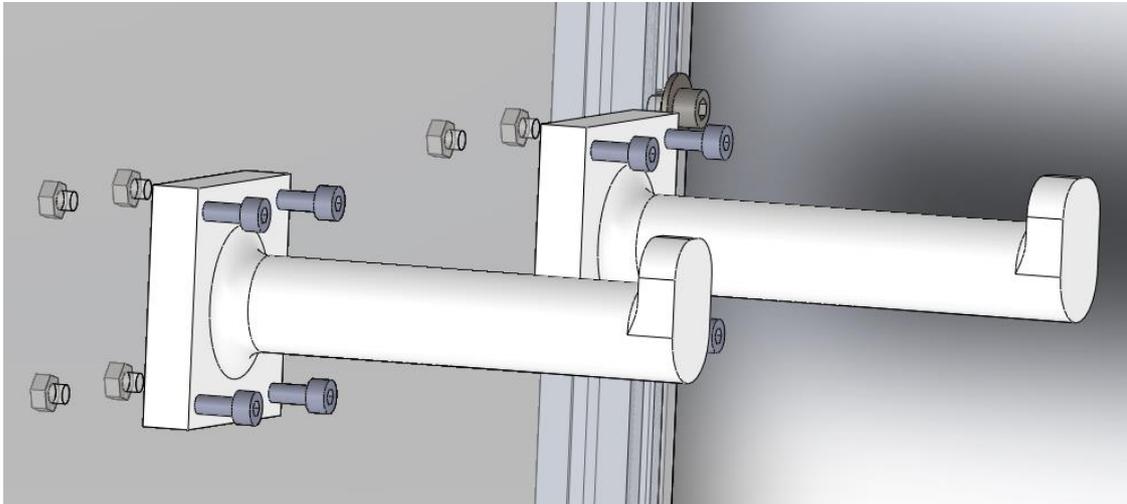


Detalles a tener en cuenta:

- ✓ Tener en cuenta los agujeros realizados en los acrílicos ya que permitirán el pasaje de cables o poder instalar algún elemento.

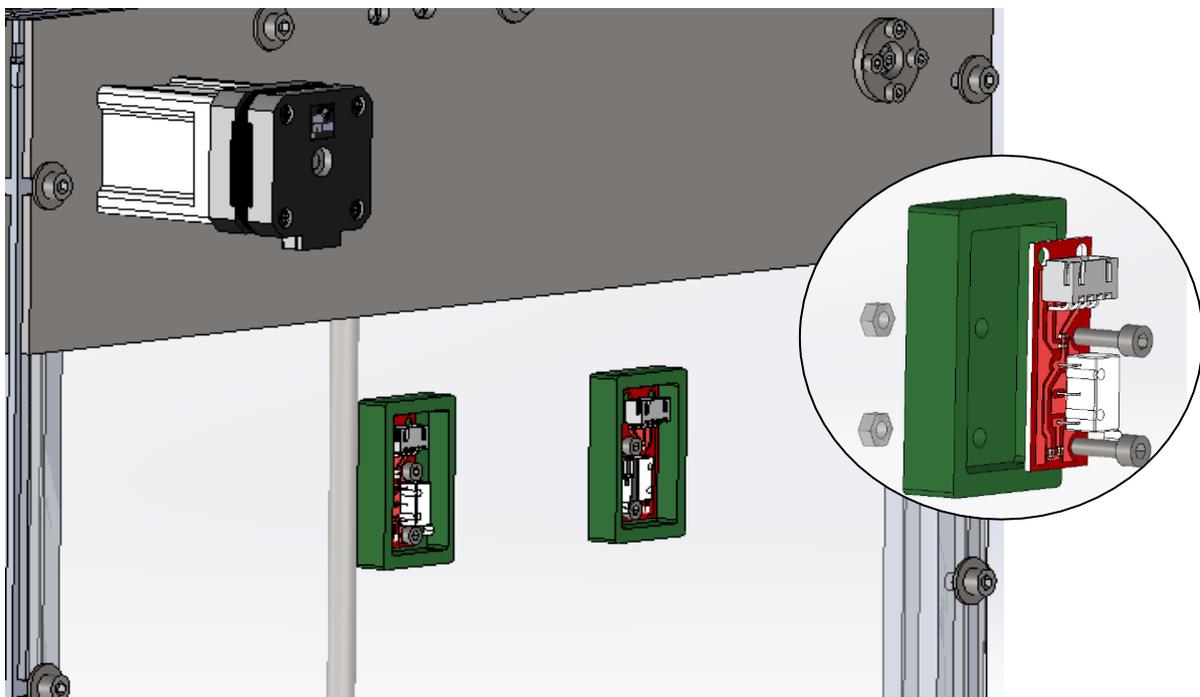
### 1.13. Portarollo

- Instalar ambos portarollos con bulones M4x20mm y tuercas M4.



### 1.14. Sensor de filamento

- Instalar ambos portarollos con bulones M3x12mm y tuercas M3.

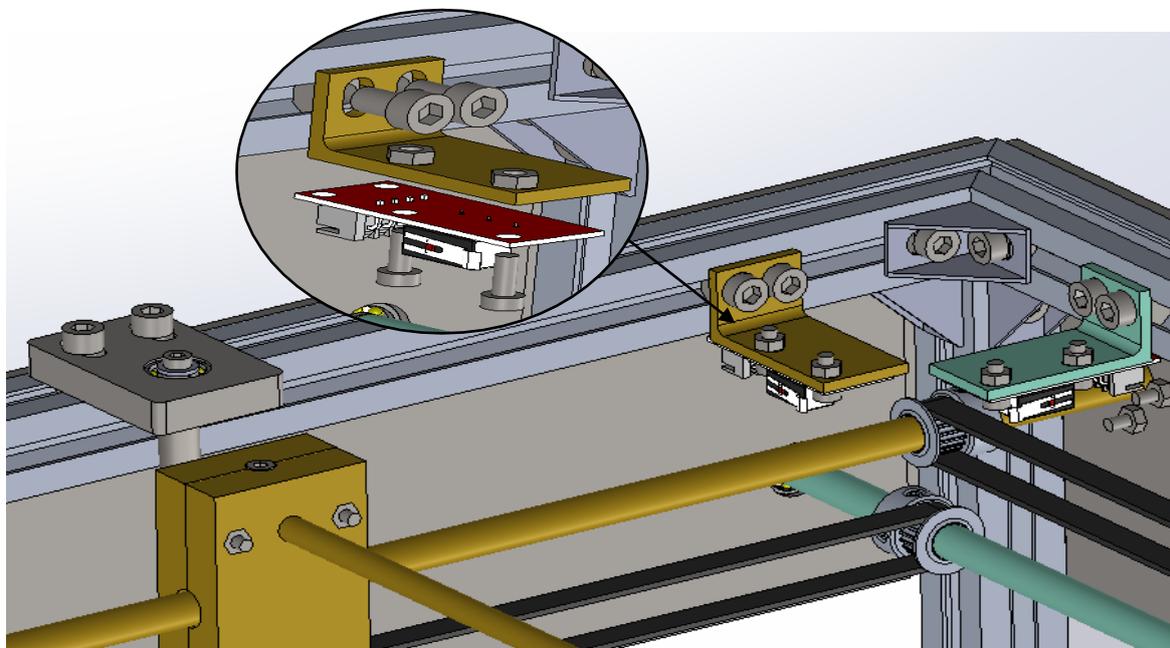


Detalles a tener en cuenta:

- ✓ Ver la posición del final de carrera mecánico.

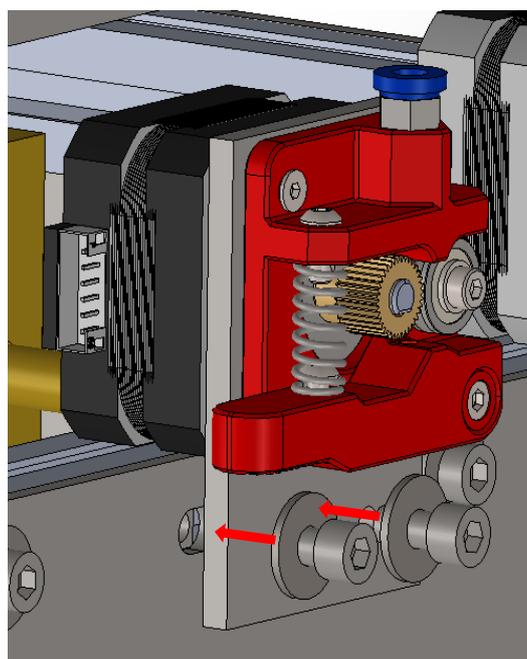
### 1.15. Sensores de final de carrera

- Instalar los sensores de finales de carrera mecánicos como se muestra en la ilustración.
- Utilizar bulones M5x8mm para la fijación con la estructura y M3x8mm junto con su tuerca para la sujeción del final de carrera.



### 1.16. Bowden

- Instalar el sub ensamblaje “0.9: Sistema Bowden con motor y soporte” con bulones M5x10mm y sus respectivas tuercas M5.
- Colocar extrusor bowden derecho e izquierdo correspondientemente.





# ANEXO V

# MANUAL DE USUARIO

**UTN - Facultad Regional Delta**

**Departamento de Ingeniería Mecánica**

**Ing. Fernando Maidana - Ing. Julio Basualdo**

**Alumnos:**

**FERRER, Braian - NASI, Franco - TORRANO, Federico**

**Versión 2 - Abril 2023**

**Índice de contenido:**

1. Introducción .....	3
1.1. Glosario .....	3
1.2. Especificaciones del producto .....	3
1.3. Descripción de la impresora .....	4
1.4. Recomendaciones de ubicación .....	4
2. Seguridad .....	5
3. Software CURA .....	6
3.1. Instalación Software: .....	6
3.2. Configuración de Impresora: .....	8
4. Primera impresión .....	11
4.1. Preparación de la cama .....	11
4.2. Calibración de la cama .....	11
4.3. Colocación del Filamento .....	13
4.4. Conectividad e interfaz de usuario .....	14
4.5. Primera Impresión .....	14
4.6. Extracción del modelo .....	15
5. Recomendaciones de Impresión .....	16
6. ¿Dónde obtener modelados 3D? .....	18
7. ¿Cómo diseñar tus propios modelos? .....	19
8. Materiales .....	20
9. Mantenimiento .....	22
9.1. Limpieza del vidrio .....	22
9.2. Limpieza de la boquilla .....	22
9.3. Limpieza del extrusor .....	22
9.4. Posición Home fuera de la cama de impresión .....	23
9.5. El vidrio se mueve durante la impresión .....	23
9.6. Limpieza y lubricación de las varillas .....	23
9.7. Limpieza de Coolers .....	24
9.8. Limpieza de electrónica .....	24
10. Disposición Final .....	25

## 1. Introducción

### 1.1. Glosario

- FDM: *Modelado por deposición fundida*
- Endstop: *Final de carrera*
- Nozzle: *Boquilla*
- G-Code: *Código G de programación por coordenadas.*
- Infill: *Relleno*
- Slicer: *Software de generación de capas para programación.*

### 1.2. Especificaciones del producto

<i>Tecnología de impresión</i>	<i>FDM</i>
<i>Volumen de producción (X, Y, Z)</i>	<i>220 × 220 × 300 mm</i>
<i>Extrusores</i>	<i>2 (Una boquilla)</i>
<i>Cama de impresión</i>	<i>Placa de vidrio</i>
<i>Altura de capa mínima</i>	<i>0,05 mm</i>
<i>Diámetro de boquilla</i>	<i>0,4 mm</i>
<i>Interfaz de usuario</i>	<i>Pantalla LED con mando</i>
<i>Fuente de alimentación</i>	<i>220-240 VCA/50-60 Hz</i>
<i>Potencia de entrada</i>	<i>120 V/1,3 kW; 240 V/2,6 kW</i>
<i>Dimensiones externas</i>	<i>426 × 426 × 524 mm</i>
<i>Peso</i>	<i>12,5 kg</i>
<i>Conectores</i>	<i>LAN, USB, SD Card</i>

### 1.3. Recomendaciones de ubicación

- Coloque la impresora en un lugar estable y a nivel. Un buen lugar es una mesa de trabajo en la que no haya riesgos de daño.
- Evite colocar la impresora en lugares donde puede haber vibración de otros equipos.
- De ser posible, no instale el equipo cerca de ventanas o zonas donde pueden correr brisas de aire.

### 1.4. Descripción de la impresora

A continuación de se presentan las partes más importantes de la impresora.

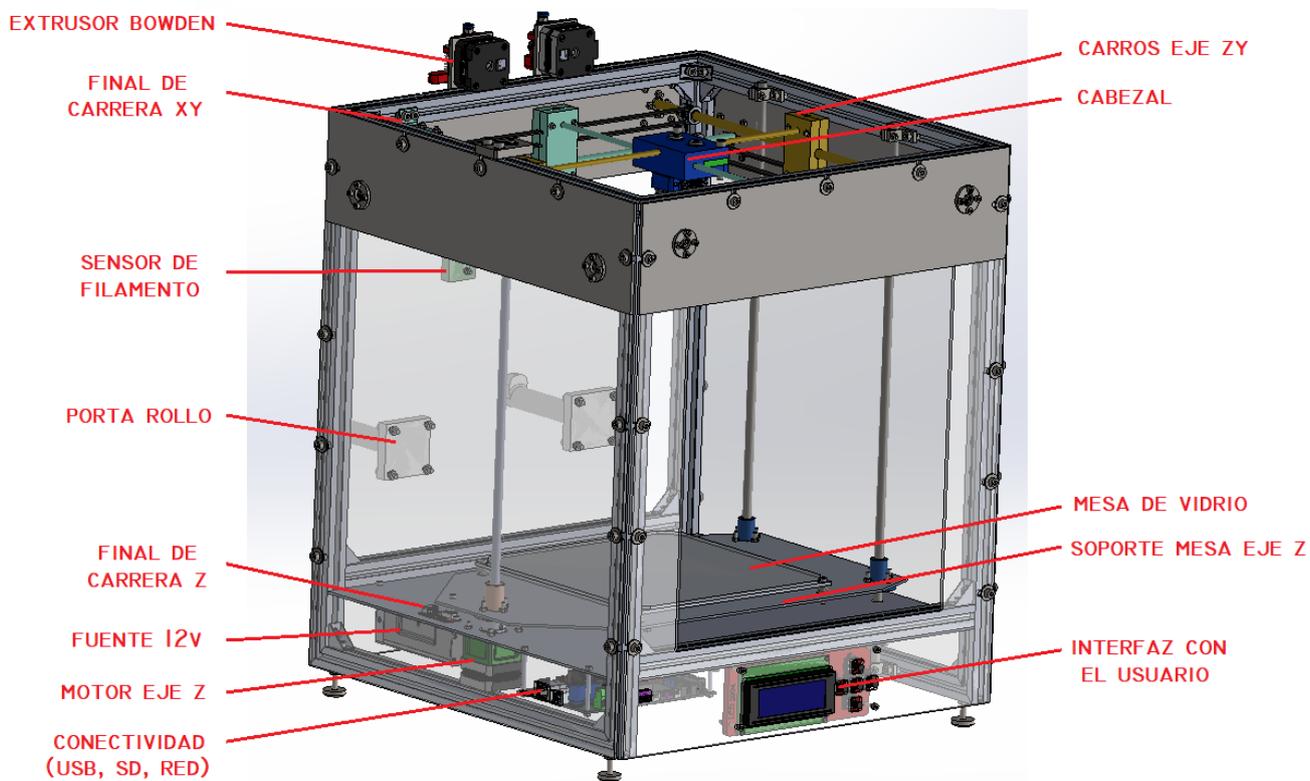


Ilustración 1: Descripción de las partes más importantes.

## 2. Seguridad

Por favor sea muy cuidadoso durante cualquier interacción con la impresora, es un dispositivo electrónico con partes móviles y áreas con temperaturas de funcionamiento elevadas.

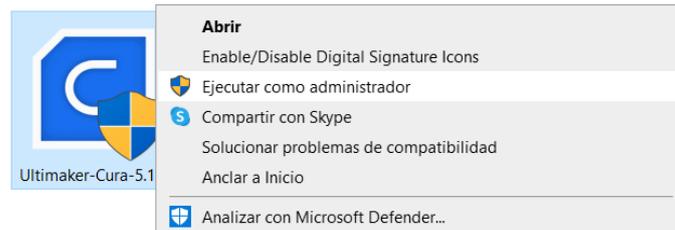
1. Uso exclusivo en interiores. No se exponga a la lluvia.
2. Siempre mantenga la impresora en un lugar seco y separado de otros objetos.
3. Siempre coloque la impresora en un lugar estable donde no corra riesgo de caer.
4. La fuente de la impresora es para 220-240 | 50-60 Hz nunca conecte la impresora a otra fuente, puede causar mal funcionamiento o daño irreversible a la impresora.
5. Coloque el cable de modo que no puedan pisarlo o tropezar con él. Asegurarse de que el cable no este dañado. De estar dañado se debe reemplazar inmediatamente.
6. No toque la boquilla o cama de impresión mientras se calienten. Las temperaturas en la boquilla pueden ser de 210-260 °C y la temperatura de la cama puede alcanzar 100 °C Las temperaturas sobre 40 °C pueden causar daño al cuerpo humano.
7. No se debe dejar al alcance de los niños y su uso debe ser supervisado por un adulto.
8. Ninguna pieza de la impresora, sus accesorios, los consumibles que utiliza o los modelos que produce están indicados para el consumo.
9. Algunos de los accesorios están afilados. Extreme las precauciones a la hora de utilizarlos.
10. El usuario es responsable de todos los danos ocasionados a la impresora y causados por una manipulación o uso indebidos que no sigan las instrucciones del Manual del usuario.
11. No deje la impresora sin supervisión mientras se encuentra en funcionamiento.
12. Las personas con discapacidad física que no puedan utilizar la impresora totalmente por sí mismas, solo podrán utilizarla bajo la supervisión de un adulto.
13. Asegúrese de que la impresora esta completa y que no presenta danos antes de utilizarla.
14. Si se utiliza de forma incorrecta, se pueden sufrir lesiones eléctricas.
15. La impresora tiene un peso considerable. No la deje caer. En caso contrario, tanto el usuario como la impresora podrían sufrir danos.
16. La impresora debe mantenerse alejada de sustancias inflamables.

### 3. Software CURA

El software más utilizado en el mercado para la programación de la impresión de piezas es CURA®.

#### 3.1. Instalación Software:

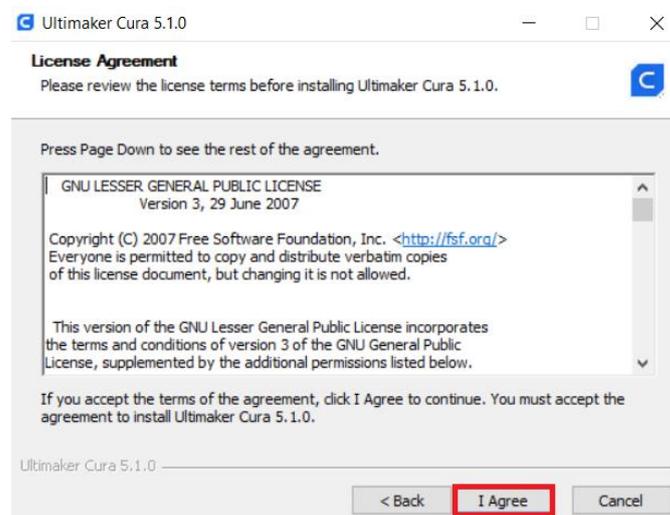
En esta sección explicaremos la instalación del software en el sistema operativo Windows. Para empezar, debe ejecutar como administrador el instalador “Ultimaker-Cura-ultima.versión”:



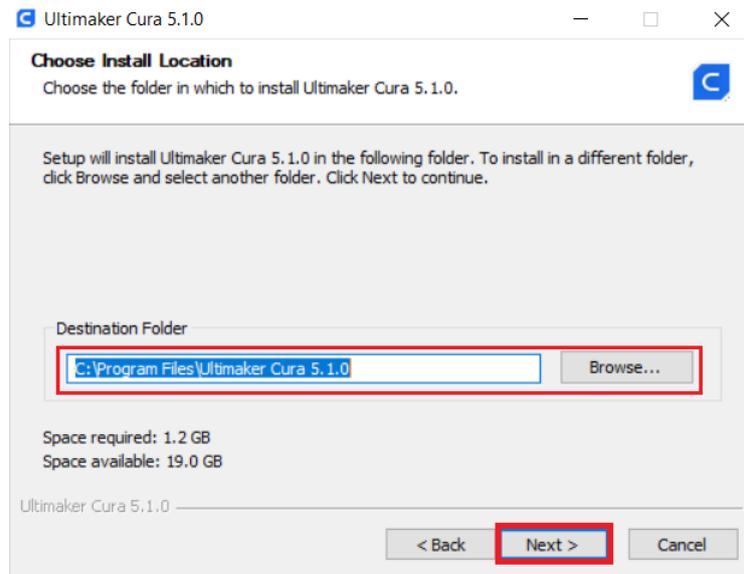
Luego continuar con el proceso de instalación, haciendo click en “Siguiete” (Next):



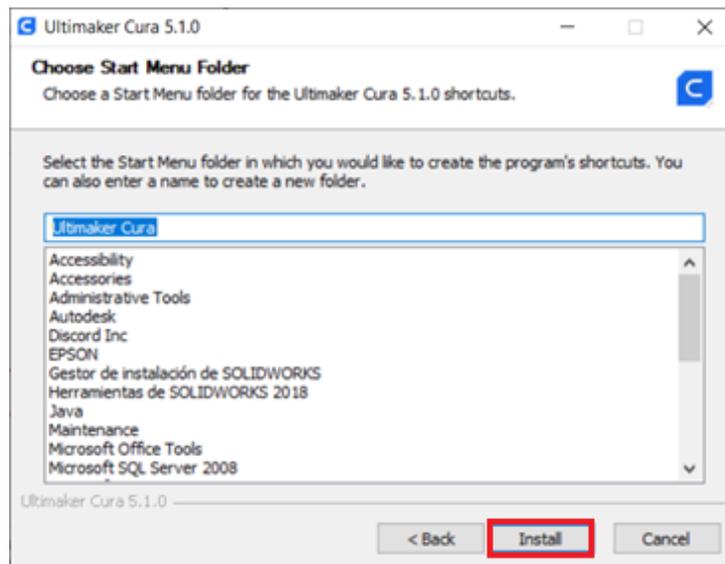
Click en “De acuerdo” (I Agree):



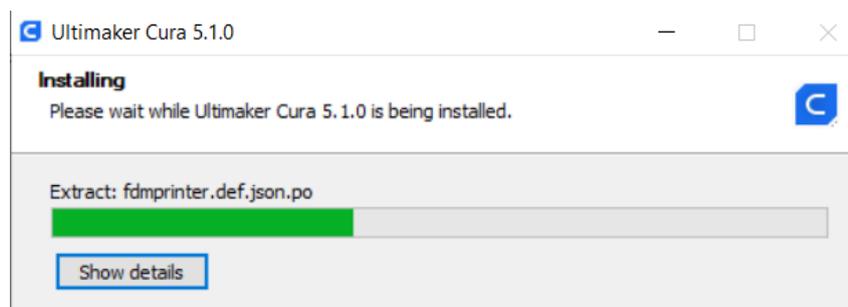
Seleccionar la carpeta donde desea instalar y “Siguiete” (*Next*):



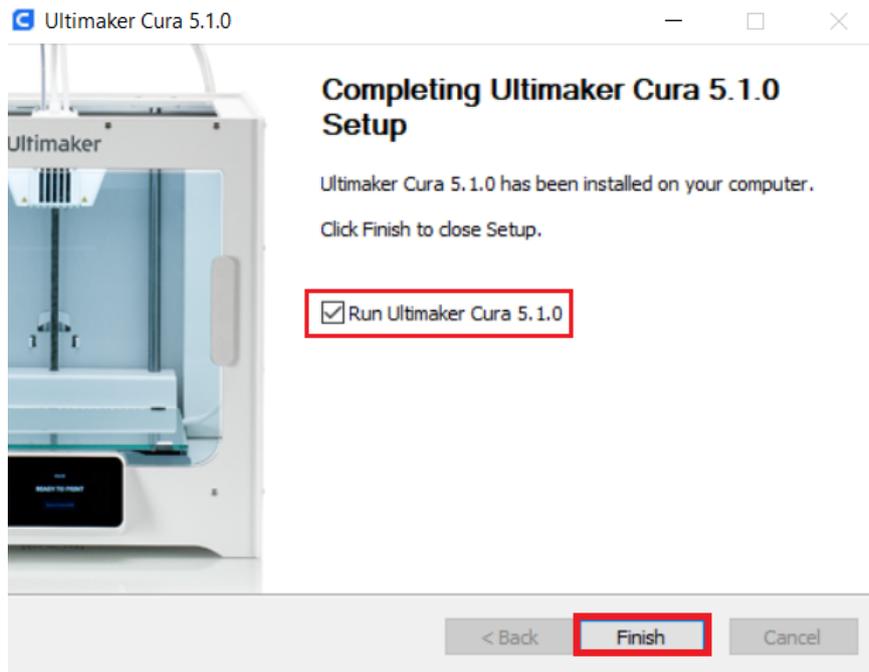
Hacer click en “Instalar” (*Install*):



Esperar a que termine el proceso de instalación:

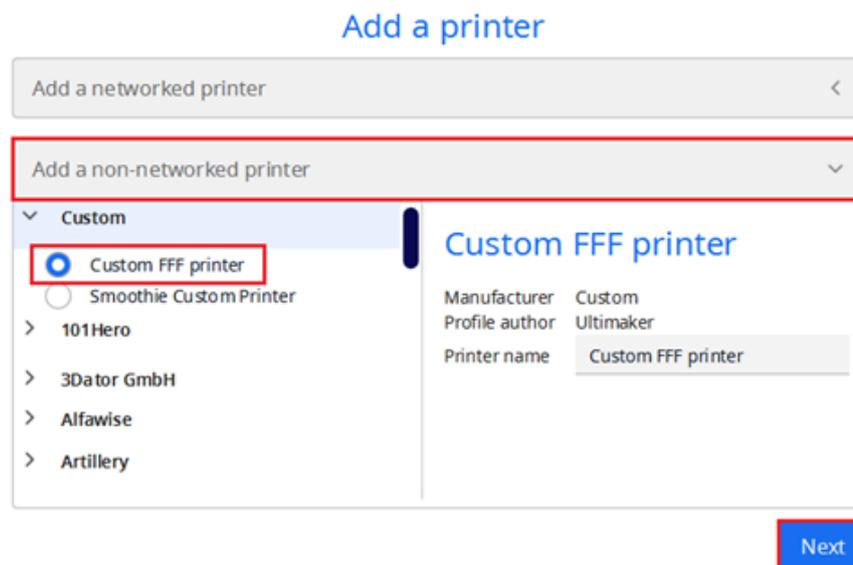


Verificar que este marcado la opción de “Run Ultimaker Cura” y hacer click en “Finalizar” (*Finish*):



### 3.2. Configuración de Impresora:

Una vez abierto el software, es necesario configurar una impresora. Para ello, elegir “Agregar una impresora sin red” (*Add a non-networked printer*) y “Impresora particular” (*Custom FFF Printer*):



Completar los diferentes campos con la siguiente información:

### Machine Settings

Custom FFF printer #2

Printer	Extruder 1	Extruder 2	
<b>Printer Settings</b>		<b>Printhead Settings</b>	
X (Width)	220.0 mm	X min	-20 mm
Y (Depth)	220.0 mm	Y min	-10 mm
Z (Height)	300.0 mm	X max	10 mm
Build plate shape	Rectangular	Y max	10 mm
Origin at center	<input type="checkbox"/>	Gantry Height	300.0 mm
Heated bed	<input checked="" type="checkbox"/>	Number of Extruders	2
Heated build volume	<input type="checkbox"/>	Apply Extruder offsets to GCode	<input checked="" type="checkbox"/>
G-code flavor	Marlin		
<b>Start G-code</b>			<b>End G-code</b>
<pre>G28 ;Home G1 Z15.0 F6000 ;Move the platform down 15mm ;Prime the extruder</pre>		<pre>M104 S0 M140 S0 ;Retract the filament</pre>	

[Next](#)

**Start G-code:** Para realizar una purga inicial de filamento.

```
G1 Z15.0 F6000 ;Move the platform down 15mm
;Prime the extruder
G92 E0
G1 F200 E3
G92 E0
G28 X0 Y0; move X / Y to min endstops
G28 Z0; move Z to min endstops
```

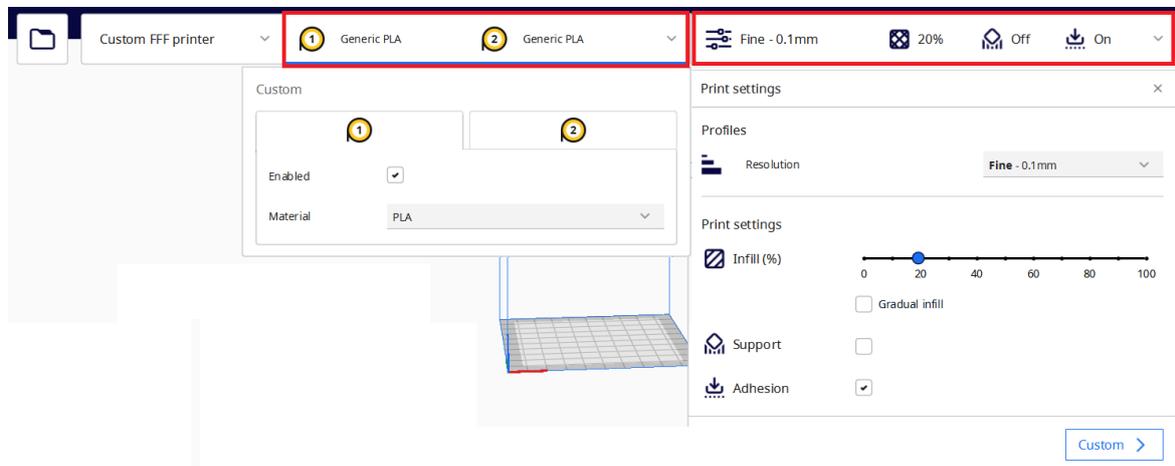
#### End G-code

```
;Retract the filament
G92 E1
G1 E-1 F300
G28 X0 Y0
M84
```

Completar la información de los extrusores de la siguiente manera:

Extruder 1			Extruder 2		
<b>Nozzle Settings</b>			<b>Nozzle Settings</b>		
Nozzle size	0.4	mm	Nozzle size	0.4	mm
Compatible material diameter	1.75	mm	Compatible material diameter	1.75	mm
Nozzle offset X	0.0	mm	Nozzle offset X	0.0	mm
Nozzle offset Y	0.0	mm	Nozzle offset Y	0.0	mm
Cooling Fan Number	0		Cooling Fan Number	1	
<b>Extruder Start G-code</b>			<b>Extruder Start G-code</b>		

Una vez configurada la impresora, es posible configurar las variables de impresión desde la pantalla principal. En la parte izquierda, se seleccionan los diferentes materiales para los extrusores. En la parte derecha, se modifican las variables de impresión: Relleno, Altura de capa, temperaturas, etc.



## 4. Primera impresión

### 4.1. Preparación de la cama

- Es recomendable limpiar el vidrio con agua caliente para eliminar los restos de fijador/pegamento.
- Al momento de colocarse, el vidrio debe estar a temperatura ambiente.
- Colocar una capa de fijador o pegamento en barra. Una capa es suficiente.
- Cuando el cristal este seco sujételo a la cama con los clips.

### 4.2. Calibración de la cama

Es importante realizar una primera calibración gruesa de la cama con los tornillos ubicados en las esquinas de la cama:

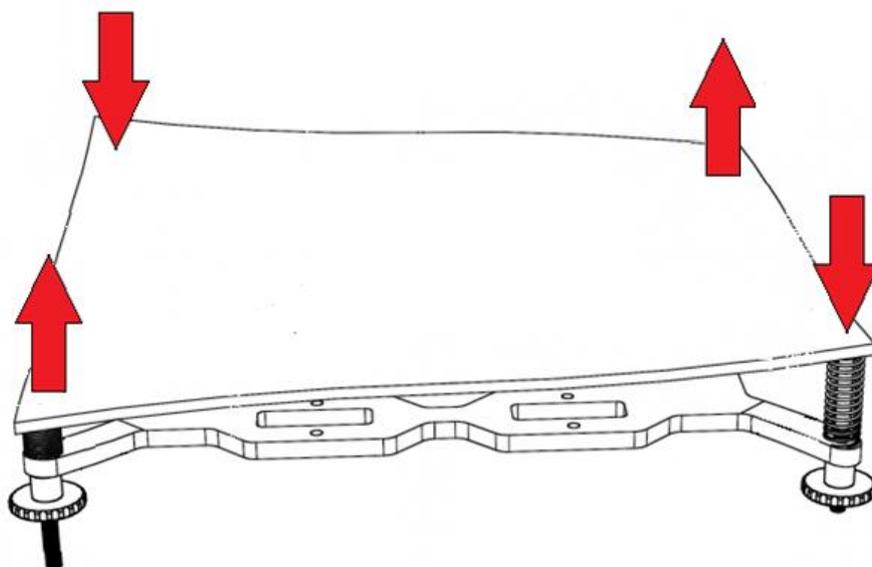


Ilustración 2: Representación de nivelación de cama.

Para este proceso, es necesario realizar estas operaciones:

- Colocar un papel en la esquina donde se quiere calibrar, posicionar la cama en altura  $Z = 0$  y luego girar el tornillo hasta que el papel quede levemente apretado por la boquilla.
- Luego de la calibración, realizar una impresión de un cuadrado con solo una capa que ocupe toda el área de la cama. De esta manera se puede visualizar en que zonas hay compresión del filamento, donde no se adhiere y donde está bien calibrado.

Las siguientes imágenes muestran como se pueden diferenciar estas situaciones:

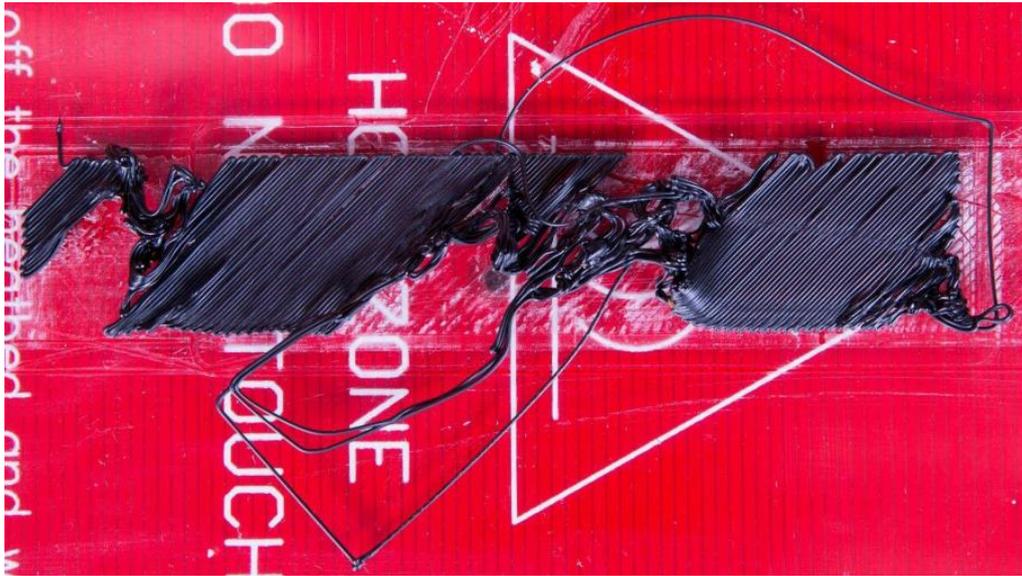


Ilustración 3: Boquilla muy alejada de la cama. Filamento no se adhiere.



Ilustración 4: Boquilla muy cerca de la cama. Filamento se comprime contra el vidrio.



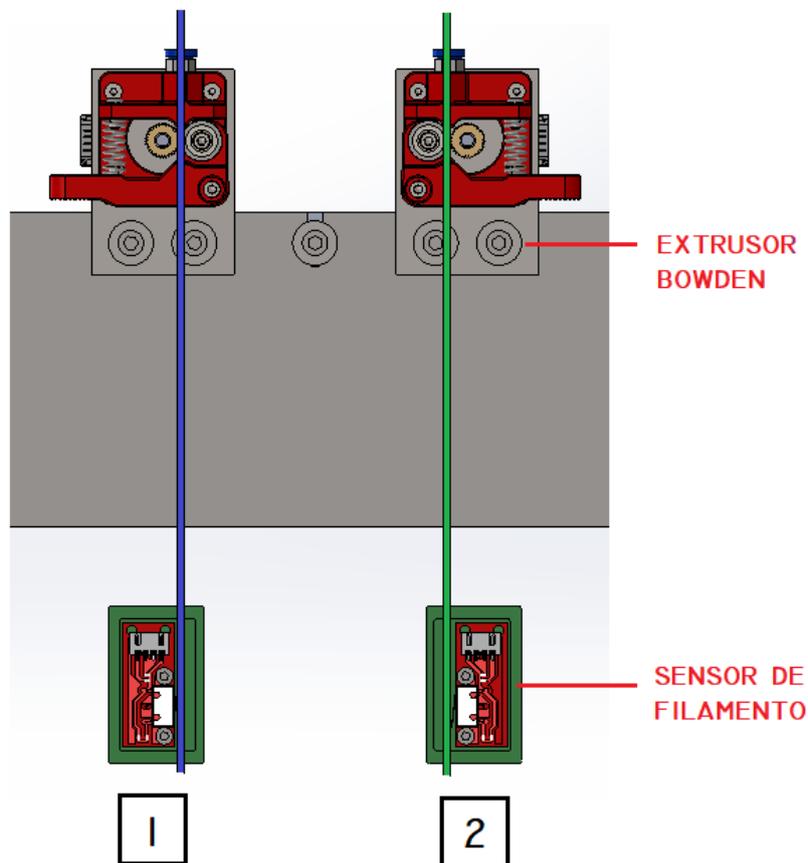
Ilustración 5: Boquilla en posición correcta. Se observa un flujo constante de filamento.

### 4.3. Colocación del Filamento

Para la colocación del filamento es necesario colocar los rollos de filamento en los porta-rollos: El rollo de la izquierda es el extrusor número #1 y el de la derecha el extrusor número #2.

Luego debe introducir el material por el sensor de filamento, confirmando que el interruptor de palanca está siendo accionado.

Finalmente, introducir el material a través del extrusor bowden confirmando que los dientes de la rueda dentada están haciendo contacto con el filamento. En este momento, debe acceder a la pantalla LED y elegir la operación de “Carga de materia”. La boquilla comenzará a calentar a la temperatura seteada.



Una vez que la boquilla llega a la temperatura de trabajo, el extrusor comenzará a empujar el material por la manguera de teflón hacia el cabezal. Cuando comienza a salir material por la boquilla, debe detener la operación desde la pantalla LED.

#### 4.4. Conectividad e interfaz de usuario

El usuario se comunica con la impresora principalmente a través del mando ubicado en la parte frontal de la impresora. El equipo cuenta con una pantalla led de 20x4 líneas y 5 botones para navegar por las opciones e ingresar a ellas.

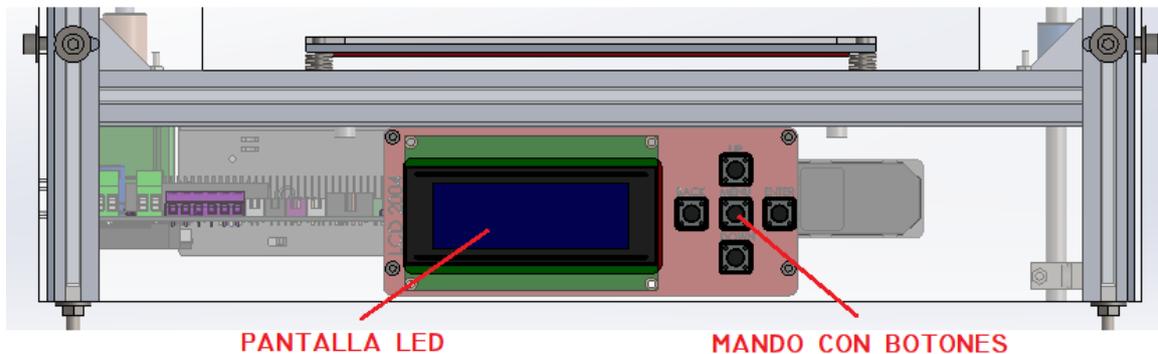


Ilustración 6: Frente de la impresora 3D.

Por otra parte, también se puede conectar al equipo a través de dispositivos de almacenaje, tales como tarjetas SD o pendrives, y también puede ser conectada a un ordenador a través del puerto de RED o USB.

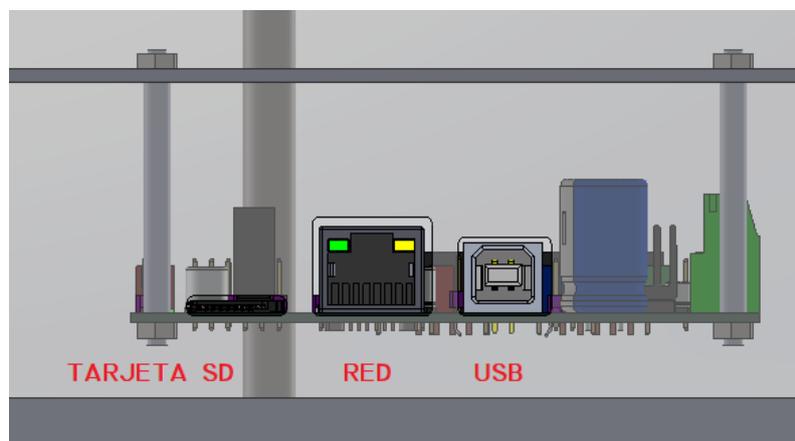


Ilustración 7: Representación de puertos de conectividad.

Al momento de realizar una impresión es recomendado utilizar dispositivos de almacenaje ya que los dispositivos conectados de manera directa (por cable) pueden sufrir micro desconexiones cuando se realizan otro tipo de conexiones mientras se está realizando la impresión.

#### 4.5. Primera Impresión

Una vez elegido el modelo, debe seleccionar el programa generado con el mando que se encuentra frente a la impresora. En la pantalla LED podrá ver los programas que se

encuentran actualmente en el dispositivo de almacenaje que haya conectado (USB, SD, etc.). Una vez elegido el programa, aprete “IMPRIMIR” para comenzar el proceso de impresión.

Durante este proceso, la impresora estira levemente el filamento y comienza a calentarlo. El filamento fundido se empuja a través de una boquilla y se va depositando sobre la mesa. El microcontrolador va a ir coordinando los motores para posicionar la boquilla y construir una primera capa de material. A continuación, la impresora va a seguir “imprimiendo” capas por encima de la capa anterior para así ir construyendo gradualmente el modelo.

#### **4.6. Extracción del modelo**

Una vez terminado el proceso de impresión, la cama va a descender a la posición inferior. De esta manera, podrá acceder al modelo impreso de manera sencilla.

Espere hasta que la placa de impresión se enfríe a temperatura ambiente y, a continuación, retire el modelo utilizando la espátula. Utilice la herramienta para levantar con suavidad los bordes del modelo y, a continuación, pásela por debajo de todo el modelo. Si la pieza todavía no se separó de la cama, saque la espátula y pásela por debajo del modelo desde una dirección diferente. Repita el proceso hasta que pueda sacar el modelo de la placa de impresión de una sola pieza y con facilidad.

No intente retirar la pieza inmediatamente luego de que termina el proceso de impresión. La adherencia a la cama no va a permitir que pueda extraer el modelo con facilidad y puede dañarlo con la espátula. Si necesita acelerar este proceso, puede retirar el vidrio de la impresora y colocarlo bajo una corriente de agua del lado opuesto al de la pieza.

## 5. Recomendaciones de Impresión

- Cama de impresión libre

Es muy importante revisar que la cama de impresión este libre de elementos que puedan interferir con el movimiento del cabezal. Siempre retirar impresiones anteriores y restos de las mismas.

- Temperaturas de impresión

Es muy importante setear las temperaturas de la cama y de la boquilla con los valores recomendados para el material que se esta utilizando ya que este puede obstruir la boquilla.

Si la temperatura es muy baja, el material no va a ser lo suficientemente manuable y el extrusor va a deslizar. Esto puede causar que sea necesario limpiar el extrusor antes de la siguiente impresión.

Si la temperatura es muy alta, el plástico puede degradarse y carbonizarse, adhiriéndose a las paredes del recinto del filamento. Si esto sucede, va a ser necesario limpiar la boquilla o, probablemente, reemplazarla.

- Observar las primeras capas

Las primeras capas de impresión son las mas importantes ya que son las que mantienen unida a la mesa la pieza. Si la temperatura de la cama no es la adecuada o la fijación no es suficiente, la pieza puede comenzar a separarse de la mesa. Por lo tanto, siempre es recomendable observar las primeras dos o tres capas para confirmar que haya una adherencia firme.

- Se puede pausar la impresora

La impresora tiene la posibilidad de pausar su proceso de impresión para realizar un cambio de material. Esto permite poder utilizar diferentes colores. Es recomendable que, al programar este tipo de procedimientos, la división de colores se de en capas diferentes ya que puede afectar la adherencia.

Por otra parte, ante la falta de filamento, detectada por el sensor, se puede reemplazar el rollo y continuar la impresión sin tener que descartar la pieza.

- Extracción de piezas

Cuando se proceda a extraer la pieza impresa, es importante esperar a que la misma se encuentre en temperatura ambiente y con la utilización de una espátula. Si intenta retirar la pieza en caliente es muy probable que termine dañando parte de ella.

- Comprobar cantidad de filamento

Los programas de impresión 3D (por ejemplo, Cura o Simplify3D) pueden mostrar una estimación del peso de la pieza a realizar. Con este dato podemos comprobar si el filamento disponible es suficiente y así evitar impresiones 3D incompletas.

- Velocidad de impresión vs calidad vs altura de capa

Cuanto más rápido se impriman las piezas en 3D, menor será la calidad. Perímetros y relleno más lento, proporciona una mejor calidad superficial. Siempre es importante decidir si se prefiere más calidad en las impresiones o menor tiempo de impresión.

De la misma manera, una altura de capa mayor, proporciona una mejora en el tiempo de impresión, disminuyendo la calidad de la pieza. En la siguiente imagen, se muestra un ejemplo de la diferencia entre altura de capa vs tiempo:

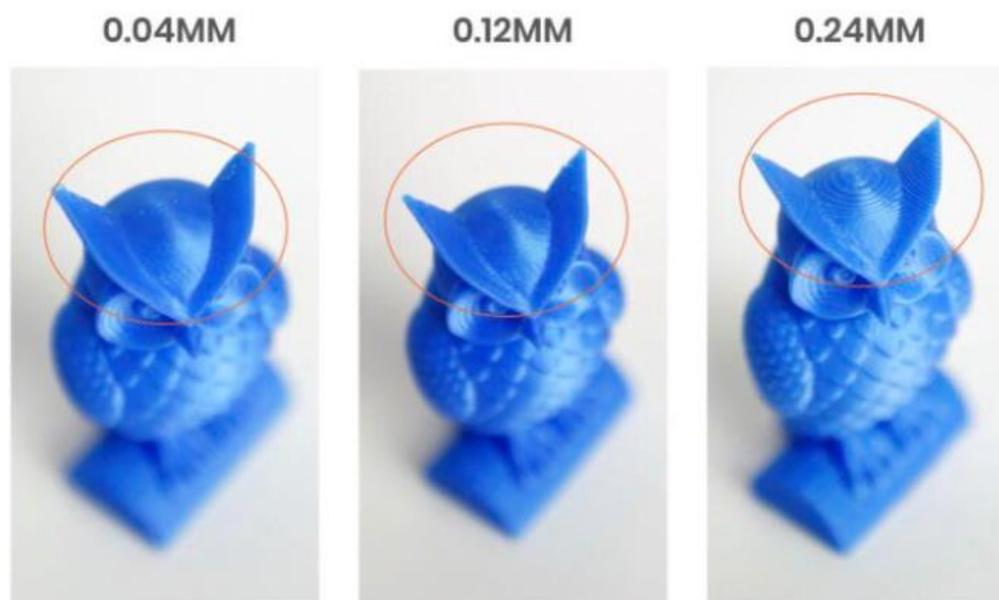


Ilustración 8: Tiempo de impresión. 4:45min (izquierda) | 1:36min (centro) | 0:50min (derecha)

## 6. ¿Dónde obtener modelados 3D?

La mejor forma de comenzar con tus impresiones en 3D es buscando un modelo ya creado en internet. Estos deben estar en formato .stl o .obj para ser reconocidos por el software de impresión. En el mercado actual, se pueden encontrar muchos sitios de donde se pueden descargar modelos 3D gratuitos.

Les recomendamos los siguientes sitios:

- ✓ <http://www.thingiverse.com/>
- ✓ <https://pinshape.com/>
- ✓ <https://www.youmagine.com/>
- ✓ <http://www.shapeways.com/>
- ✓ <http://www.123dapp.com/>
- ✓ <http://cubify.com/>

## 7. ¿Cómo diseñar tus propios modelos?

Para crear diseños 3D se necesita un programa de modelado 3D. Una opción muy amigable y gratuita es TinkerCad: un editor online en el que creas el diseño 3D directamente desde la ventana de un navegador. Además, se pueden encontrar gran cantidad de tutoriales en YouTube y en la web.

En el mercado hay muchos programas de modelado que se pueden utilizar para diseñar en 3D. Algunos son de uso libre y gratuito y otros son bajo licencia. Lo más importante, sin importar el software, es que el tipo de archivo con el que se tiene guardar el modelado es “.stl” o “.obj”, ya que son las extensiones que puede procesar el software de programación. A continuación, en listamos programas utilizados para diseñar modelos 3D que son muy utilizados en el mercado:

- SolidWorks
- SolidEdge
- Blender
- AutoCAD
- Rhino
- OpenScad
- Fusion360
- Maya
- 3DSMax.

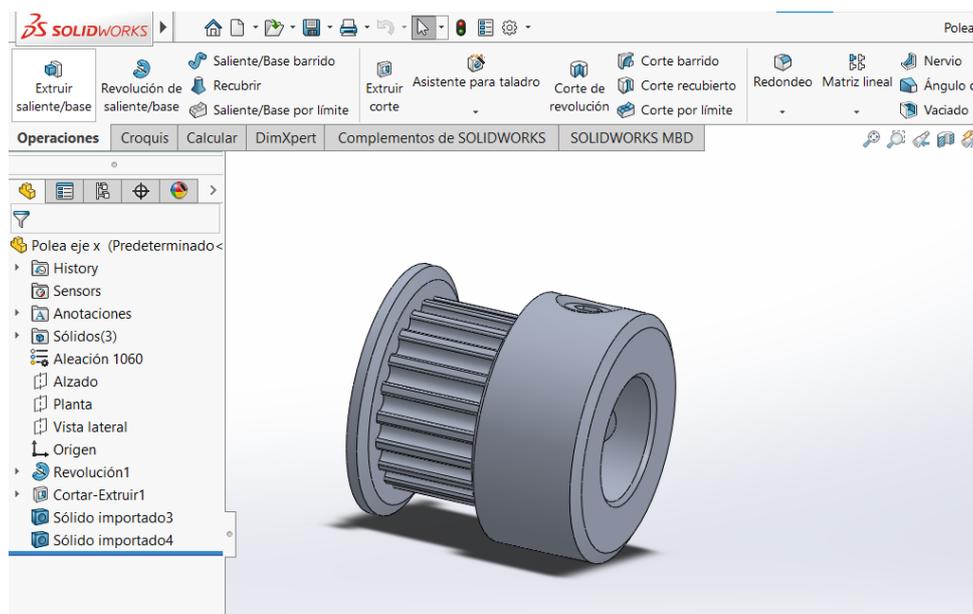


Ilustración 9: Ejemplo de Software de modelado: SolidWorks.

## 8. Materiales

Estos son algunos de los materiales y las recomendaciones que se pueden utilizar en la impresora 3D.

### ABS

Material recomendado para objetos comunes y robustos.

- **Temperatura de boquilla:** 255 °C
- **Temperatura de la cama:** 100 °C Puedes fijar la temperatura de la cama entre 80 y 110 °C dependiendo del tamaño del objeto (mientras más grande más temperatura).
- **Cama caliente:** Aplica una capa de pegamento sobre el cristal, repite esta operación antes de cualquier impresión. El pegamento se aplica una vez antes de la primera impresión o en caso de que se haya limpiado el cristal.

### PLA

Material recomendado para modelos con mayor detalle. El PLA está hecho de material renovable, en mayor parte de harina de maíz y celulosa.

- **Temperatura de boquilla:** 210 °C
- **Temperatura de la cama:** 50 °C
- **Cama caliente:** Coloca una capa de pegamento antes de la primera impresión.

### PET

Material recomendado para objetos grandes gracias a su mínima expansión térmica. Material universal recomendado también para piezas mecánicas.

- **Temperatura de boquilla:** 240 °C
- **Temperatura de la cama:** 90 °C
- **Cama caliente:** Aplica una capa de pegamento sobre el cristal, repite esta operación antes de cualquier impresión. El pegamento se aplica una vez antes de la primera impresión o en caso de que se haya limpiado el cristal.

### HIPS

Universal, material estable buena resistencia térmica adecuado para imprimir componentes mecánicos.

- **Temperatura de la boquilla:** 220 °C
- **Temperatura de la cama:** 100 °C

**PP**

Polipropileno es un material flexible y resistente adecuado para impresión de objetos que requieran flexibilidad, firmeza y persistencia.

- **Temperatura de la boquilla:** 254 °C
- **Temperatura de la cama:** 100 °C

**Flex**

Flex es un material fuerte y flexible adecuado especialmente para prototipos flexibles, etc.

- **Temperatura de la boquilla:** 230 °C
- **Temperatura de la cama:** 50 °C
- **Cama caliente:** Aplica una capa de pegamento sobre el cristal.

## 9. Mantenimiento

### 9.1. Limpieza del vidrio

Para tener un acabado de la pieza de impresión perfecto, sin restos de adhesivos, hay que limpiar la base o cama de impresión. Para realizar esta tarea, liberar el vidrio de la mesa y limpiarlo con un paño húmedo (preferentemente agua tibia) y jabón. Una vez completamente limpio, secar con un paño y volver a colocar en la impresora trabando con los clips.

### 9.2. Limpieza de la boquilla

La boquilla puede obstruirse si ingresan partículas o si el material plástico se sobrecalienta dentro de la misma. Es importante que, al momento de finalizar la impresión, la resistencia se apague y la boquilla se enfríe. De esta manera, no se carboniza el plástico.

La boquilla se puede limpiar de manera externa, estando caliente, con un pequeño cepillo de acero. Por otra parte, se puede limpiar el conducto interior con un pequeño alambre o varilla. Primero es necesario retirar el filamento del cabezal y luego introducir la varilla por la parte superior. De no ser posible liberar el conducto, será necesario enfriar la zona caliente y desarmar el bloque de calor.

### 9.3. Limpieza del extrusor

La polea dentada montada en el motor del extrusor puede acumular material y causar que el filamento deslice, por ende, menor extrusión. Para limpiarlo se puede utilizar un cepillo metálico o un palillo. Nada necesita ser desmontado.

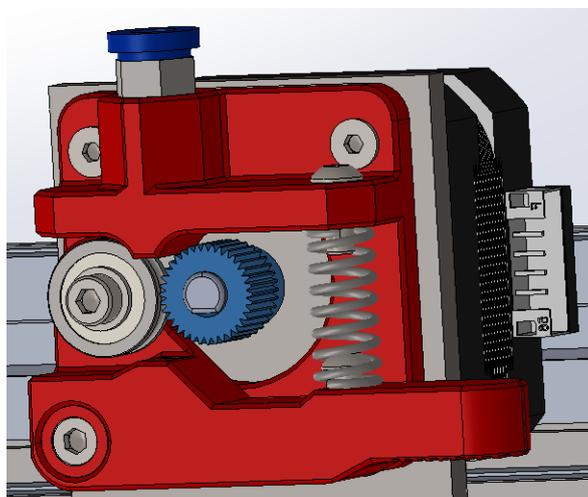


Ilustración 10: La polea dentada (azul) requiere limpieza

## 9.4. Posición Home fuera de la cama de impresión

Si al enviar el extrusor a la posición de “Home”, la boquilla no queda alineada con la esquina de la mesa (cero máquina), es necesario ajustar los finales de carrera de los ejes XY.

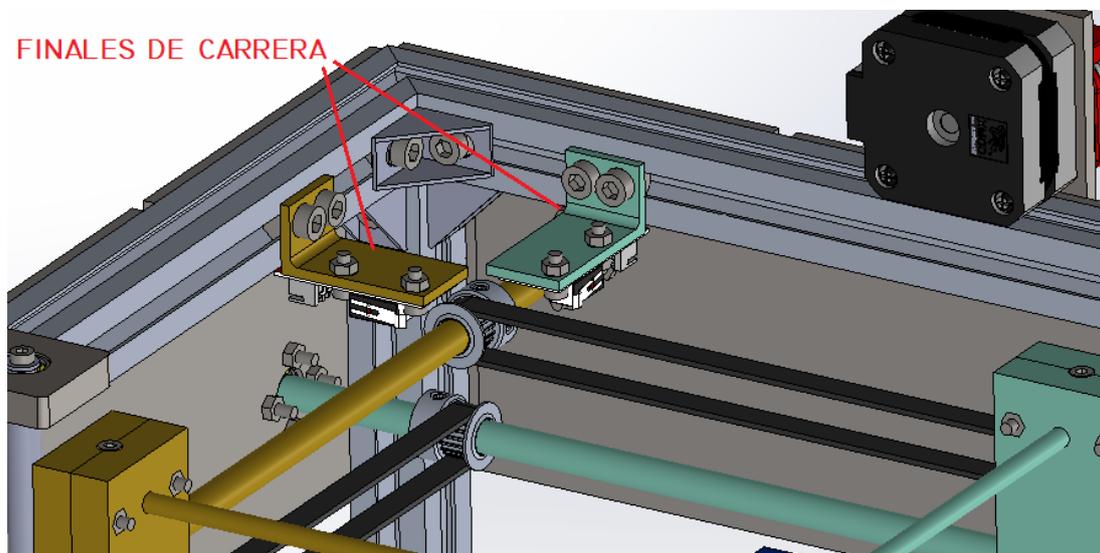


Ilustración 11: Ubicación de finales de carrera XY.

Para modificar la ubicación de los finales de carrera, se pueden reajustar los tornillos en diferentes distancias dentro de las correderas.

## 9.5. El vidrio se mueve durante la impresión

Si el vidrio no está completamente fijo durante la impresión, es altamente probable que la impresión falle. Para evitar que el vidrio se mueva, simplemente se deben revisar los clips que fijan el vidrio a la mesa y reemplazar si hay alguno dañado.

## 9.6. Limpieza y lubricación de las varillas

Es importante limpiar las varillas con un paño limpio frecuentemente para evitar que se pueda trabar el movimiento sobre los ejes. Con el mismo propósito, se puede aplicar un poco de aceite en las varillas y girarlas un par de veces. Esto limpia e incrementa su duración.

## 9.7. Limpieza de Coolers

Los Coolers de la impresora también deben ser limpiados, ya que el polvo o el plástico pueden reducir su eficiencia o dañarlos. Simplemente utilizando un paño húmedo se puede retirar las partículas adheridas al Cooler.



Ilustración 12: Cooler con polvo.

## 9.8. Limpieza de electrónica

Es importante limpiar los componentes electrónicos para evitar cortocircuitos y evitar el recalentamiento de los mismos. La mejor manera de limpiarla es utilizando un paño de micro-fibra humedecido con limpia contactos o con una mezcla de agua y alcohol isopropílico.

## 10. Disposición Final

Una vez cumplida la vida útil de la impresora, las diferentes piezas deben ser clasificadas y llevadas a disposición final de maneras diferentes.

Los tres grupos de piezas a tener en cuenta son:

- Piezas impresas

El material es plástico y, por lo tanto, puede ser molido y re utilizado para la fabricación de nuevo filamento u otros elementos. Este residuo debe ser separado para que pueda ser tratado de manera diferente en la recolección de residuos. También puede ser entregado a un recolector urbano o en un centro de reciclado de su ciudad.

De la misma manera, los restos de impresiones anteriores, piezas fallidas o elementos de soporte deben ser reciclados.



Ilustración 13: Desecho de Piezas impresas.

- Componentes Electrónicos y Eléctricos

Estos tipos de residuos deben segregarse y entregarse en puntos de reciclado y recuperación de “Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEEs)”. De esta manera, pueden ser reparados y donados, o bien, reciclados para revalorizar materiales como plástico, vidrio, metales, aluminio, entre otros.

No se deben tratar como residuos domiciliarios.

Es necesario garantizar su correcta gestión debido a que en su composición cuentan con

- 72% de materiales reciclables (plásticos, metales ferrosos y preciosos, vidrio)
- 25% de materiales reutilizables (cables, motores, fuentes, lectoras, imanes)
- 3% de residuos peligrosos (tubos de rayos catódicos, plaquetas de circuitos integrados, gases de refrigeración, PCB)

- Acero y Bulonería

Los elementos metálicos deben separarse y clasificarse para su reutilización. La bulonería y las barras metálicas probablemente puedan ser utilizadas para otros proyectos, siempre y cuando estén en buen estado.

De la misma manera que otros residuos, las partes dañadas deben ser segregadas y entregadas en puntos de reciclado y recuperación para volver a ser fundidos en otros componentes.



# ANEXO VI

## PLANOS

### CONSTRUCTIVOS

**UTN - Facultad Regional Delta**

**Departamento de Ingeniería Mecánica**

**Ing. Fernando Maidana - Ing. Julio Basualdo**

**Alumnos:**

**FERRER, Braian - NASI, Franco - TORRANO, Federico**

**Versión 2 - Abril 2023**





















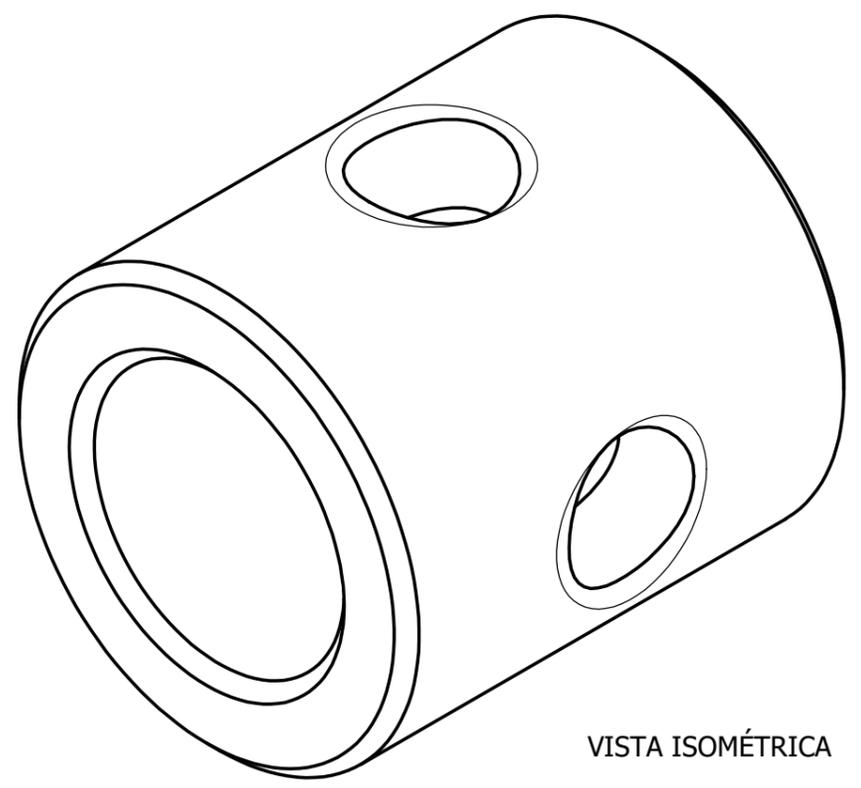
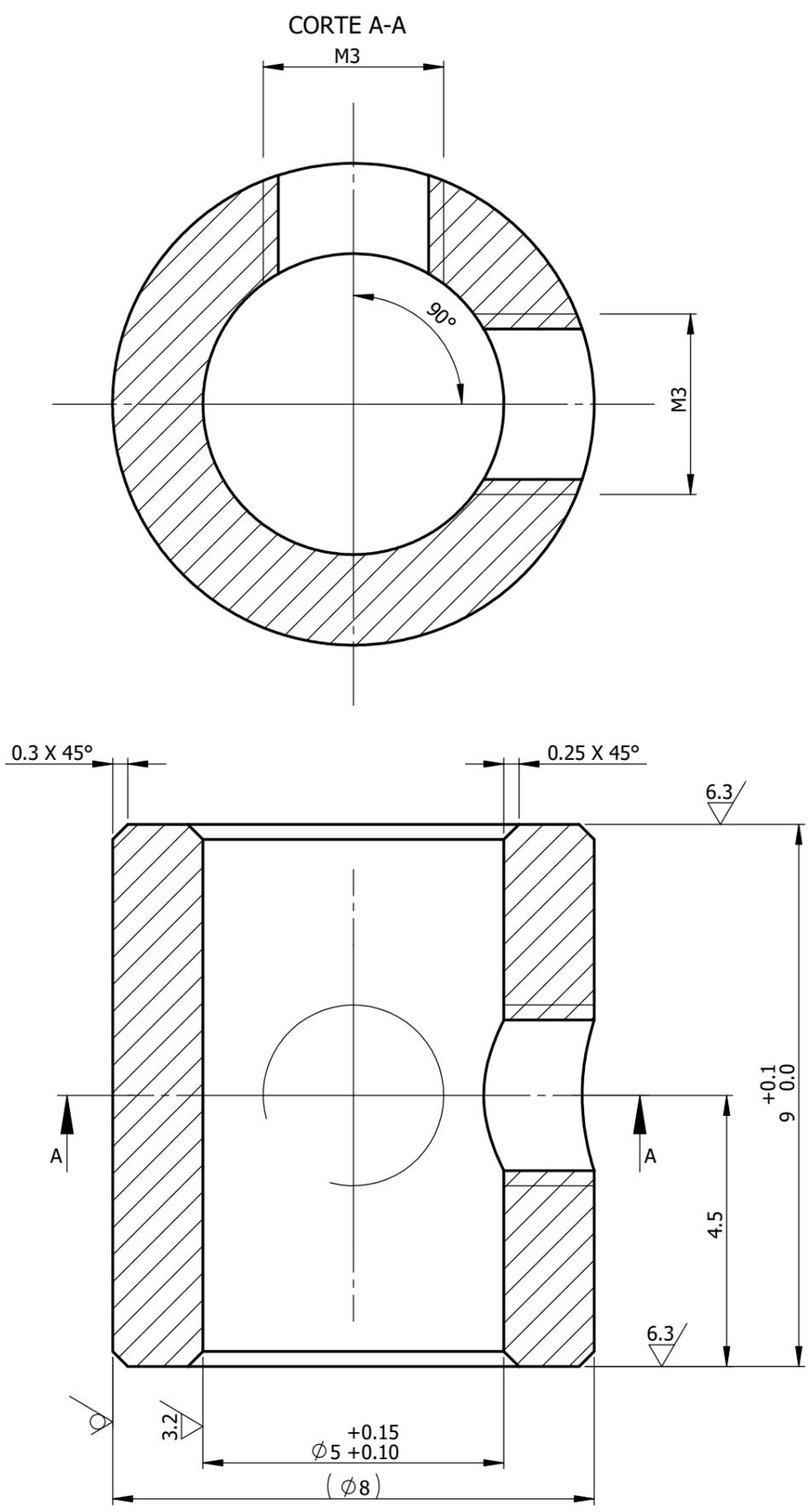






6.3 / 3.2

POS	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	OBSERVACIONES	CANT	PESO
-	BARRA Ø8 LONG: 12	SAE 1020	BARRA TREFILADA	1	N/A



VISTA ISOMÉTRICA

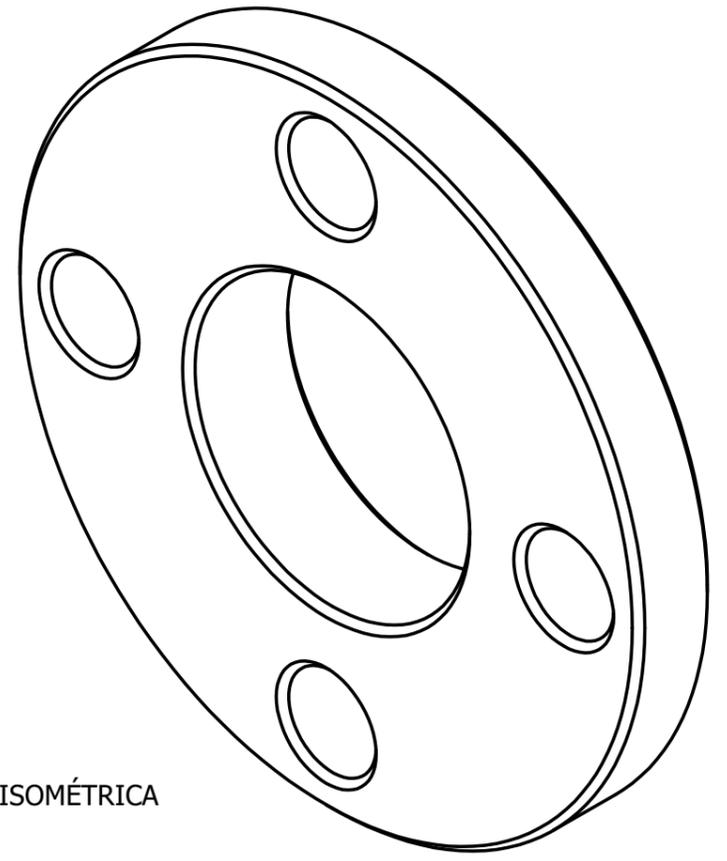
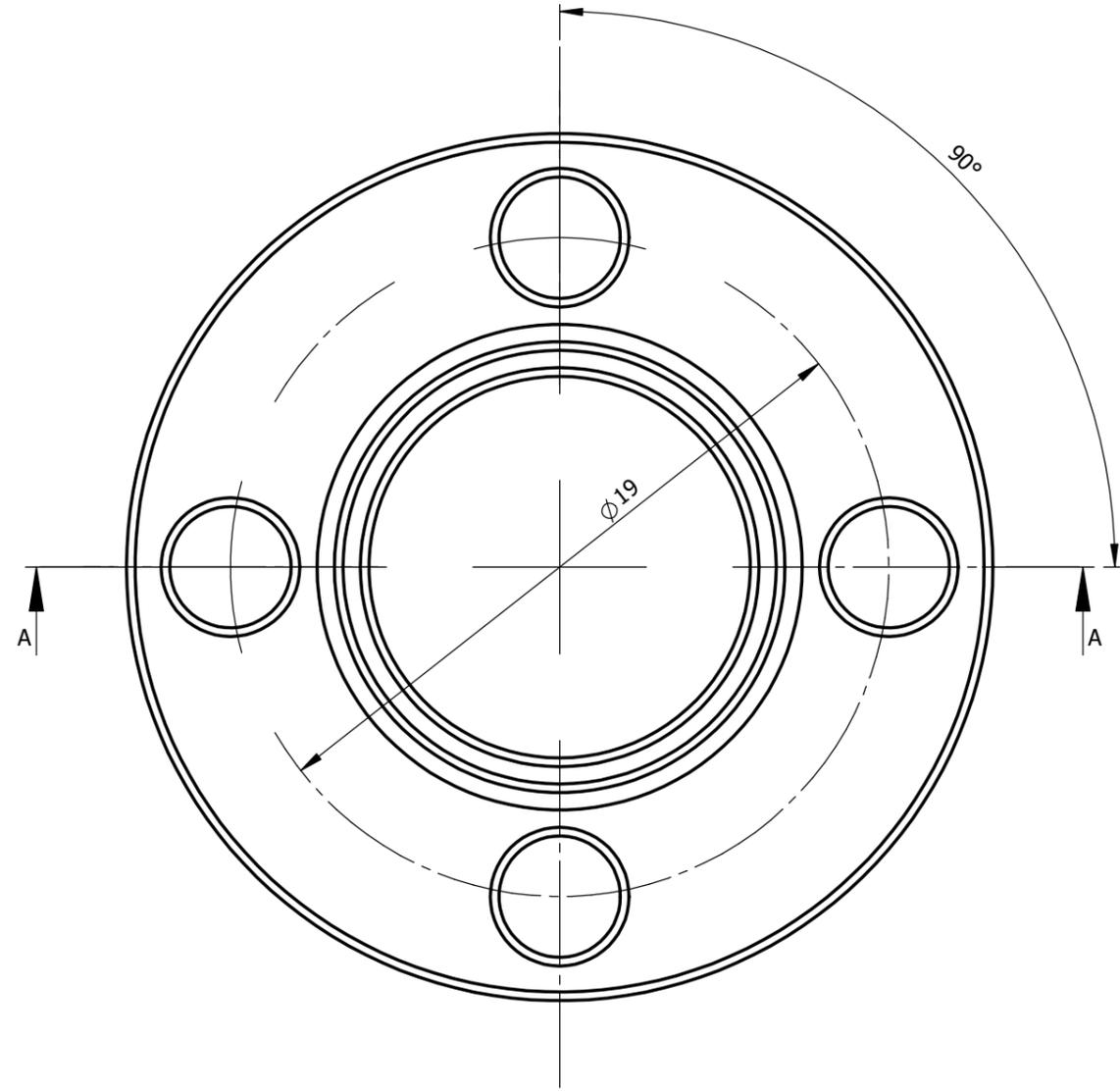
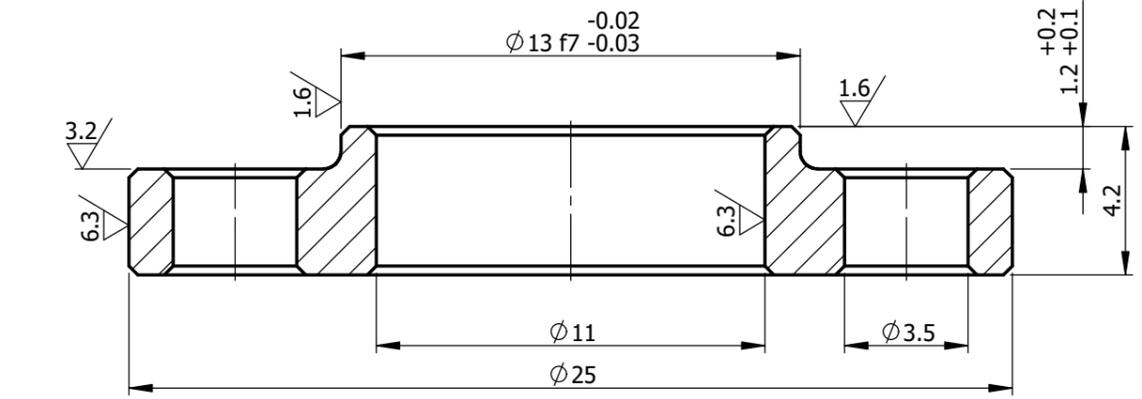
- REFERENCIAS
- PL-AS-000 ENSAMBLAJE GENERAL

REQUERIMIENTOS DE MECANIZADO								REV	FECHA	APROBÓ	DESCRIPCIÓN
DESVIACIONES PERMITIDAS (mm)											
LONG.	DESDE	---	6	30	120	400	1000	2000	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL - FACULTAD REGIONAL DELTA	HOJA 1 DE 1	
	HASTA	6	30	120	400	1000	2000	4000			
LONGITUD LADO MÁS CORTO										DIBUJÓ	DENOMINACIÓN
ANGULOS	DESDE	---	10	50	120	400	---	F.TORRANO	FECHA: 19/03/23		
	HASTA	10	50	120	400	---	---				
DIMENSIONES EXPRESADAS EN mm. ELIMINAR CANTOS VIVOS NO ACOTADOS CON CHAFLAN 0.5x45° O RADIO 0.5 mm.								APROBÓ		DISTANCIADOR EJE	ESCALA: 10:1
RUGOSIDAD GENERAL (Ra=µm)								F.NASI			
								PLANO N°		REVISIÓN: C	
								PL-PN-100			

6.3/ 3.2/ 1.6/

POS	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	OBSERVACIONES	CANT	PESO
-	BARRA Ø31.75 LONG: 8	SAE 1020	BARRA TREFILADA	1	N/A

CORTE A-A



VISTA ISOMÉTRICA

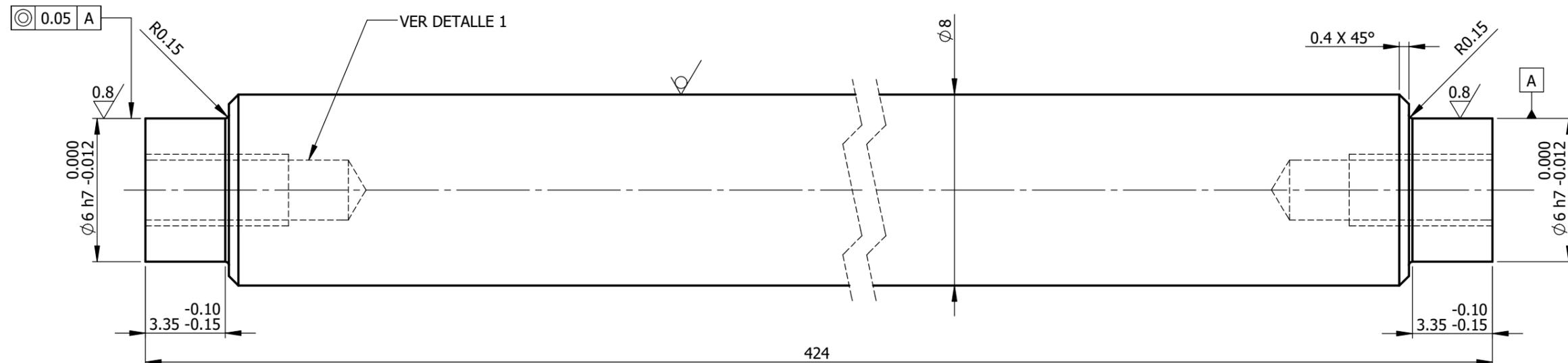
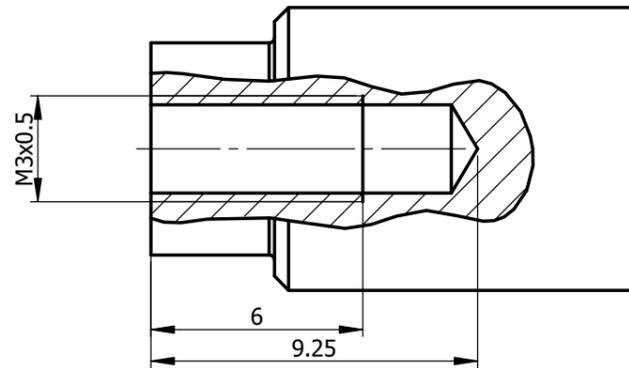
- REFERENCIAS
- PL-AS-000 ENSAMBLAJE GENERAL

REQUERIMIENTOS DE MECANIZADO								REV	FECHA	APROBÓ	DESCRIPCIÓN
DESVIACIONES PERMITIDAS (mm)											
LONG.	DESDE	---	6	30	120	400	1000	2000	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL - FACULTAD REGIONAL DELTA	HOJA 1 DE 1	
	HASTA	6	30	120	400	1000	2000	4000			
LONGITUD LADO MÁS CORTO											
ANGULOS	DESDE	---	10	50	120	400	DIBUJÓ F.TORRANO				
	HASTA	10	50	120	400	---					
DIMENSIONES EXPRESADAS EN mm. ELIMINAR CANTOS VIVOS NO ACOTADOS CON CHAFLAN 0.5x45° O RADIO 0.5 mm.								APROBÓ F.NASI		TAPA CAJERAS	
RUGOSIDAD GENERAL (Ra=µm) 12.5/								PLANO N° PL-PN-101			
										ESCALA: 5:1	
										REVISIÓN: C	

6.3 / 0.8

POS	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	OBSERVACIONES	CANT	PESO
-	REDONDO Ø8X430	VER NOTA 1	BARRA CALBRADA	2	0.17

DETALLE 1  
ESC.5:1



REFERENCIAS

- PL-AS-002 ENSAMBLAJE MEDIO EJE X
- PL-AS-005 ENSAMBLAJE MEDIO EJE Y

NOTAS

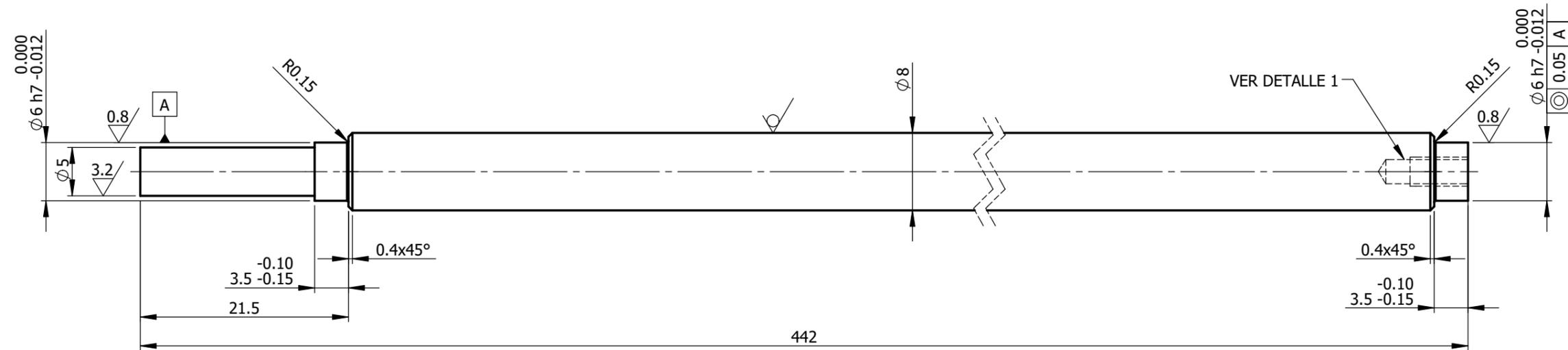
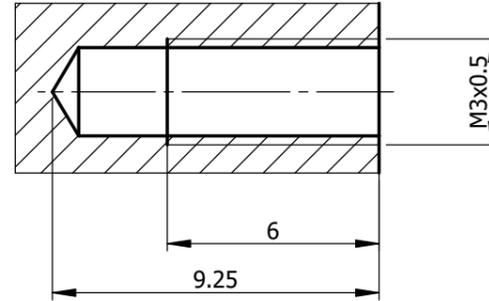
1. MATERIAL: SAE 1045 - NORMALIZADO
2. PLANO APLICABLE PARA FABRICACION DE NUMERO DE PARTE EJE "Y" LADO LIBRE

REQUERIMIENTOS DE MECANIZADO								REV	FECHA	APROBÓ	DESCRIPCIÓN
DESVIACIONES PERMITIDAS (mm)											
LONG.	DESDE	---	6	30	120	400	1000	2000	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL - FACULTAD REGIONAL DELTA	HOJA 1 DE 1	
	HASTA	6	30	120	400	1000	2000	4000			
		±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2.0			
ANGULOS	LONGITUD LADO MÁS CORTO							DIBUJÓ F.TORRANO	DENOMINACIÓN EJE X LADO LIBRE	FECHA: 19/03/23	
	DESDE	---	10	50	120	400	---				
	HASTA	10	50	120	400	---			ESCALA: 5:1		
		±1°	±30'	±20'	±10'	±5'			REVISIÓN: C		
DIMENSIONES EXPRESADAS EN mm. ELIMINAR CANTOS VIVOS NO ACOTADOS CON CHAFLAN 0.5x45° O RADIO 0.5 mm. RUGOSIDAD GENERAL (Ra=µm) 12.5								APROBÓ F.NASI PLANO N° PL-PN-102			

3.2/0.8

POS	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	OBSERVACIONES	CANT	PESO
-	BARRA Ø8 LONG: 450	VER NOTA 1	BARRA CALBRADA	2	0.17

DETALLE 1  
ESC. 5:1



REFERENCIAS

- PL-AS-002 ENSAMBLAJE MEDIO EJE X
- PL-AS-005 ENSAMBLAJE MEDIO EJE Y

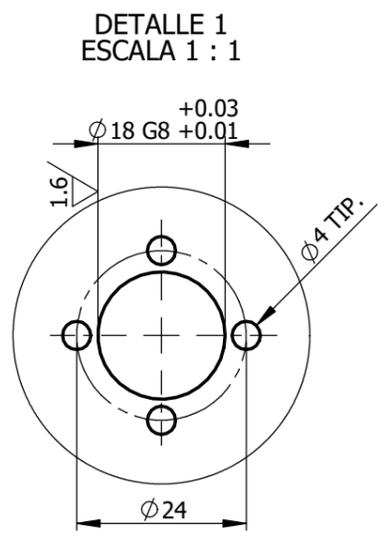
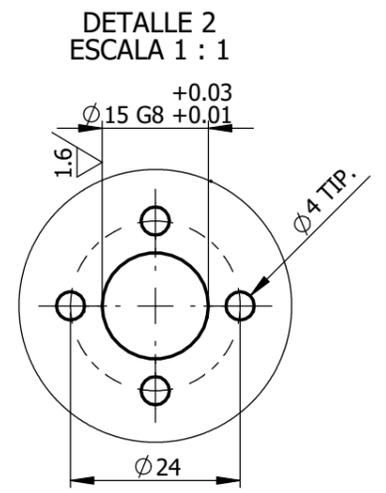
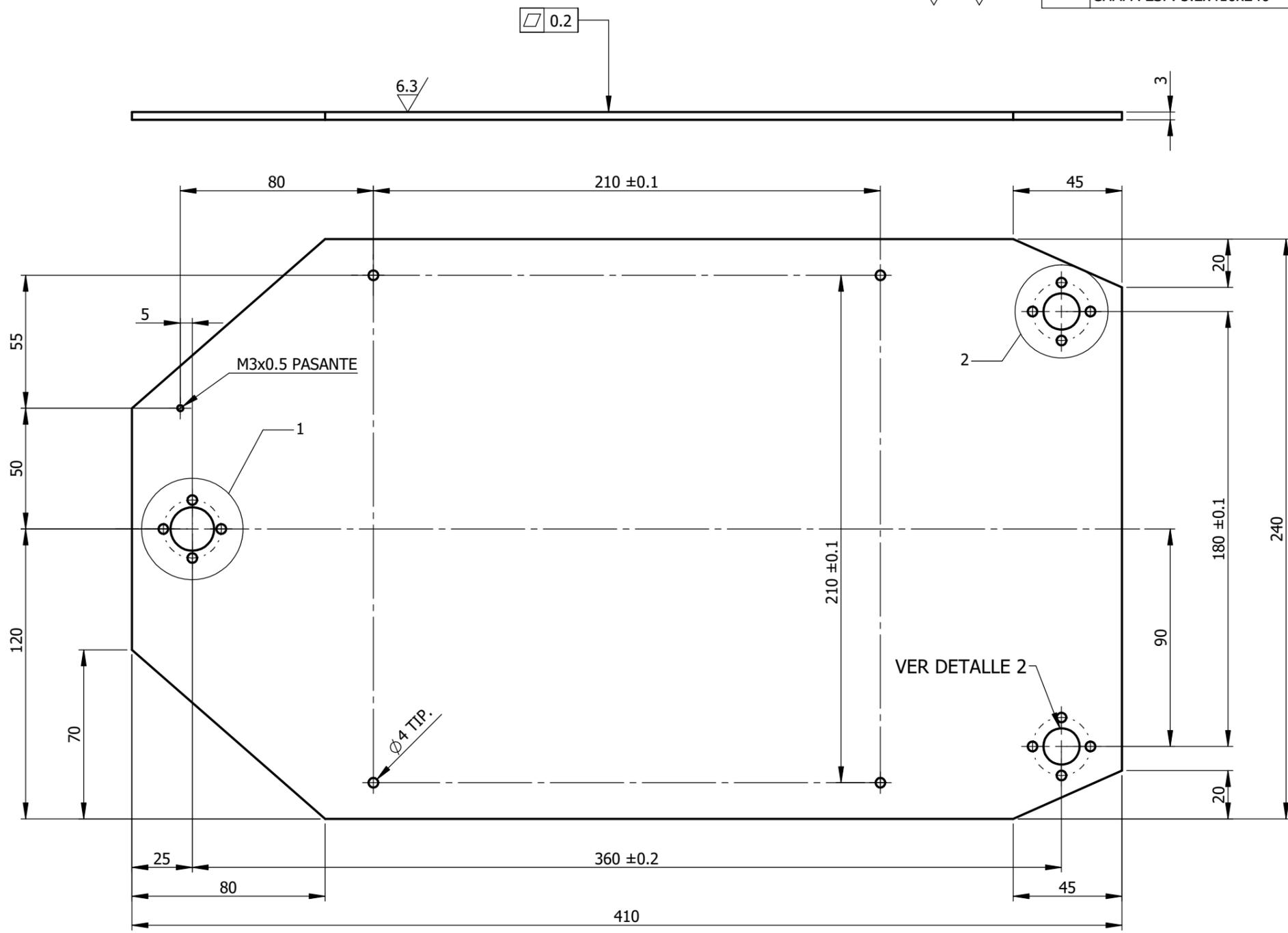
NOTAS

1. MATERIAL: SAE 1045 - NORMALIZADO
2. PLANO APLICABLE PARA FABRICACION DE NUMERO DE PARTE EJE "Y" LADO MOTOR

REQUERIMIENTOS DE MECANIZADO														
DESVIACIONES PERMITIDAS (mm)														
LONG.	DESDE	---	6	30	120	400	1000	2000	REV	FECHA	APROBÓ	DESCRIPCIÓN		
	HASTA	6	30	120	400	1000	2000	4000						
		±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2.0						
ANGULOS	LONGITUD LADO MÁS CORTO									UNIVERSIDAD TECNOLOGICA NACIONAL - FACULTAD REGIONAL DELTA		HOJA 1 DE 1		
	DESDE	---	10	50	120	400								
	HASTA	10	50	120	400	---								
		±1°	±30'	±20'	±10'	±5'			DIBUJÓ F.TORRANO		DENOMINACIÓN EJE X LADO MOTOR		FECHA: 26/02/2023	
DIMENSIONES EXPRESADAS EN mm. ELIMINAR CANTOS VIVOS NO ACOTADOS CON CHAFLAN 0.5x45° O RADIO 0.5 mm.								APROBÓ F.NASI		PLANO N° PL-PN-103		ESCALA: 2:1		
RUGOSIDAD GENERAL (Ra=µm) 12.5												REVISIÓN: B		

6.3 / 1.6

POS	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	OBSERVACIONES	CANT	PESO
-	CHAPA ESP. 3.2x410x240	VER NOTA 1	N/A	1	2.30



REFENRECIA  
• PL-AS-001 ENSAMBLAJE MESA

NOTAS  
1. MATERIAL IRAM IAS U 500-42 CALIDAD F-24

REQUERIMIENTOS DE MECANIZADO								REV	FECHA	APROBÓ	DESCRIPCIÓN
DESVIACIONES PERMITIDAS (mm)											
LONG.	DESDE	---	6	30	120	400	1000	2000			
	HASTA	6	30	120	400	1000	2000	4000			
		±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2.0			
ANGULOS	LONGITUD LADO MÁS CORTO										
	DESDE	---	10	50	120	400					
	HASTA	10	50	120	400	---					
		±1°	±30'	±20'	±10'	±5'					
DIMENSIONES EXPRESADAS EN mm. ELIMINAR CANTOS VIVOS NO ACOTADOS CON CHAFLAN 0.5x45° O RADIO 0.5 mm.								UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL - FACULTAD REGIONAL DELTA		HOJA 1 DE 1	
RUGOSIDAD GENERAL (Ra=μm) 12.5								DIBUJÓ F.TORRANO		DENOMINACIÓN SOSTÉN DE MESA	
								APROBÓ F.NASI		FECHA: 19/03/23	
								PLANO N° PL-PN-200		ESCALA: 1:2	
										REVISIÓN: C	

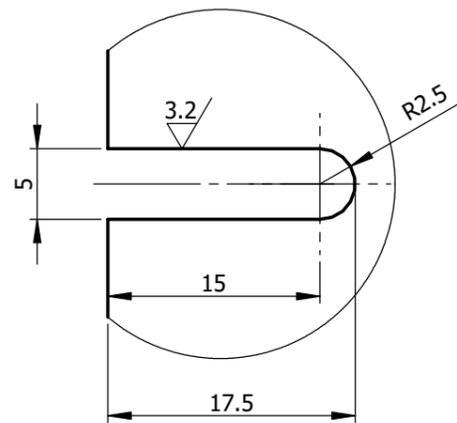




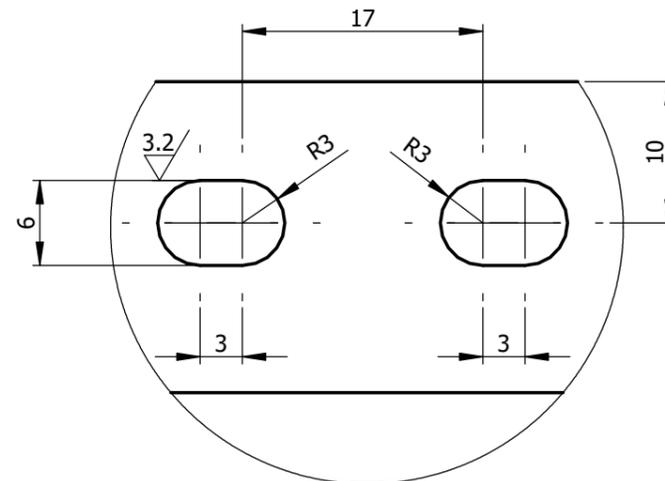
3.2 / 0.8

POS	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	OBSERVACIONES	CANT	PESO
-	CHAPA ESP.6x410x100	ALUMINIO	SERIE 1100	1	N/A

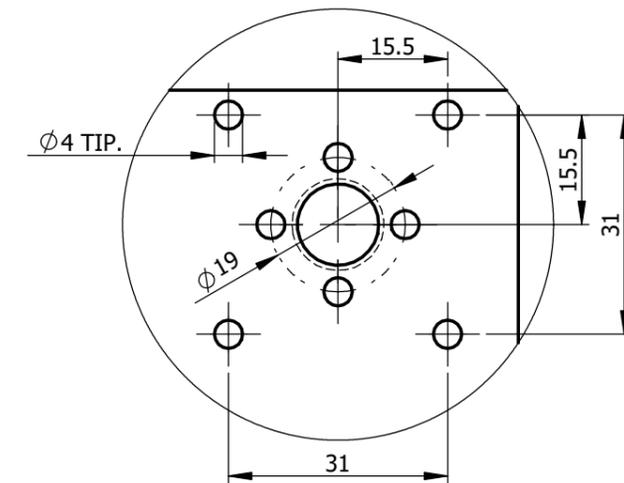
DETALLE 1  
ESCALA 2 : 1



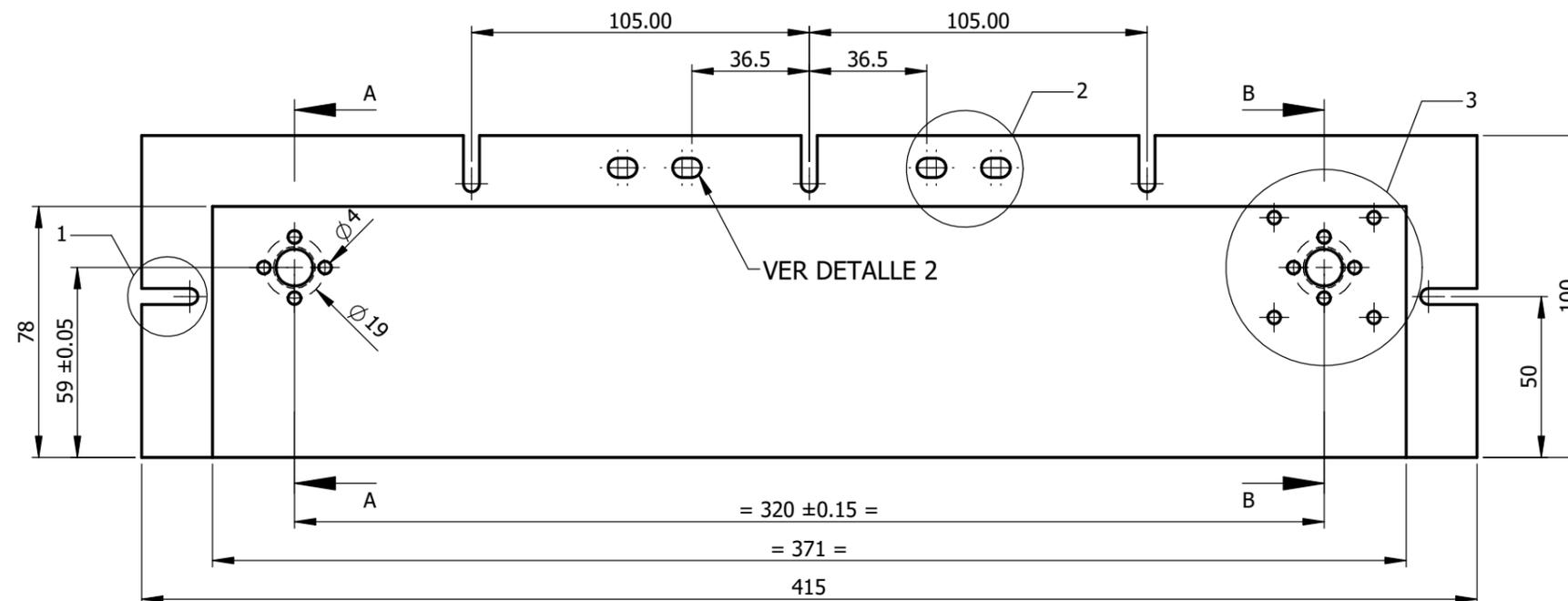
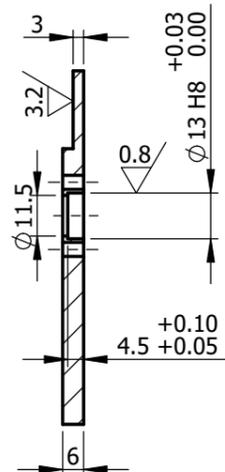
DETALLE 2  
ESCALA 2 : 1



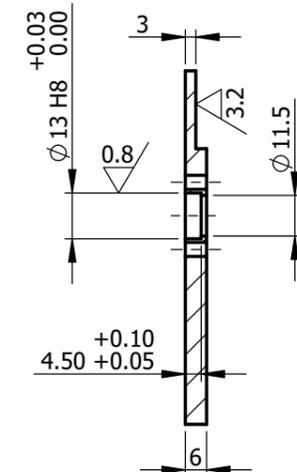
DETALLE 3  
ESCALA 1 : 1



CORTE A-A



CORTE B-B



REFERENCIA  
• PL-AS-005 ENSAMBLAJE MEDIO EJE Y

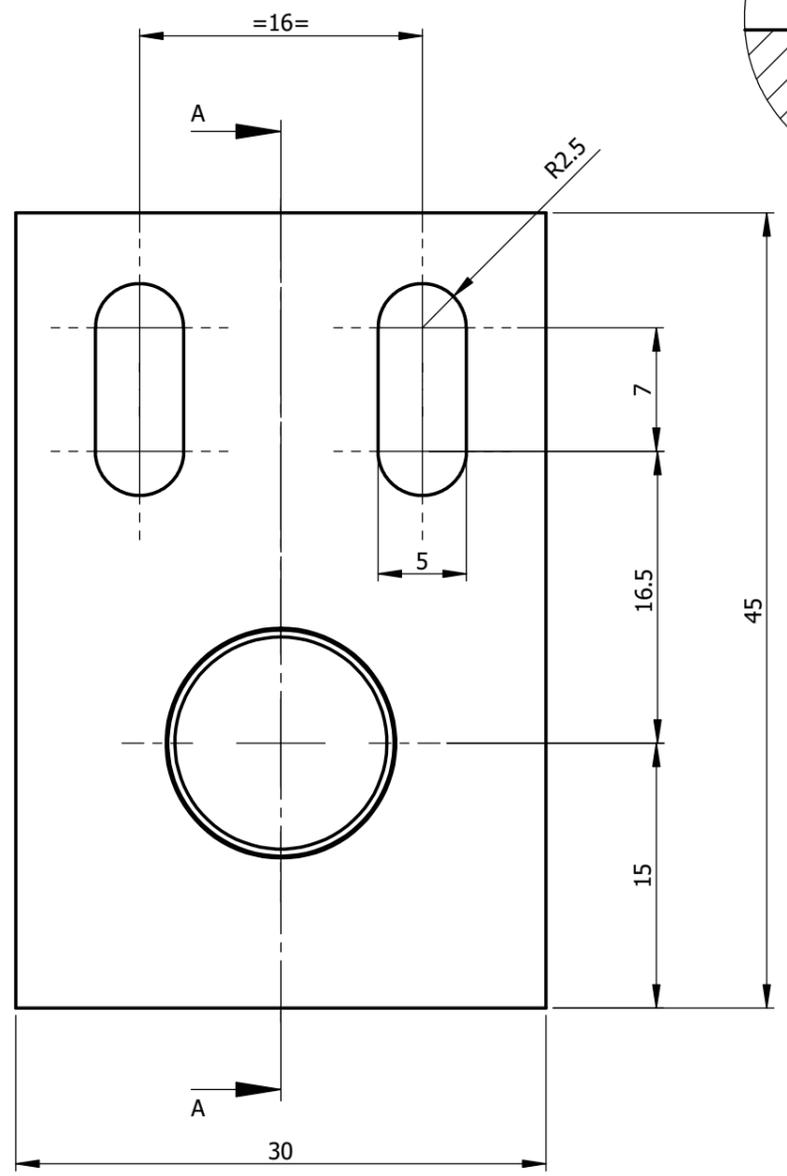
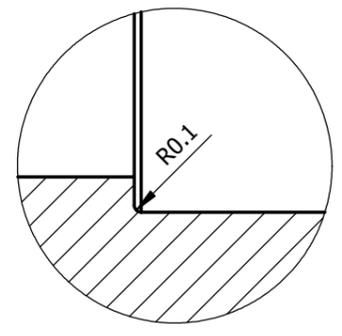
NOTAS  
1 TODAS LAS CORREDERAS TIENEN LAS MISMAS DIMENSIONES

REQUERIMIENTOS DE MECANIZADO								REV	FECHA	APROBÓ	DESCRIPCIÓN
DESVIACIONES PERMITIDAS (mm)											
LONG.	DESDE	---	6	30	120	400	1000	2000			
	HASTA	6	30	120	400	1000	2000	4000			
		±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2.0			
LONGITUD LADO MÁS CORTO											
ANGULOS	DESDE	---	10	50	120	400					
	HASTA	10	50	120	400	---					
		±1°	±30'	±20'	±10'	±5'					
DIMENSIONES EXPRESADAS EN mm. ELIMINAR CANTOS VIVOS NO ACOTADOS CON CHAFLAN 0.5x45° O RADIO 0.5 mm. RUGOSIDAD GENERAL (Ra=µm) 12.5											
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL - FACULTAD REGIONAL DELTA											HOJA 1 DE 1
DIBUJÓ F. TORRANO											FECHA: 19/03/23
APROBÓ F. NASI											ESCALA: 1:2
PLANO N° PL-PN-203											REVISIÓN: C
SOPORTE EJE Y LADO MOTOR											

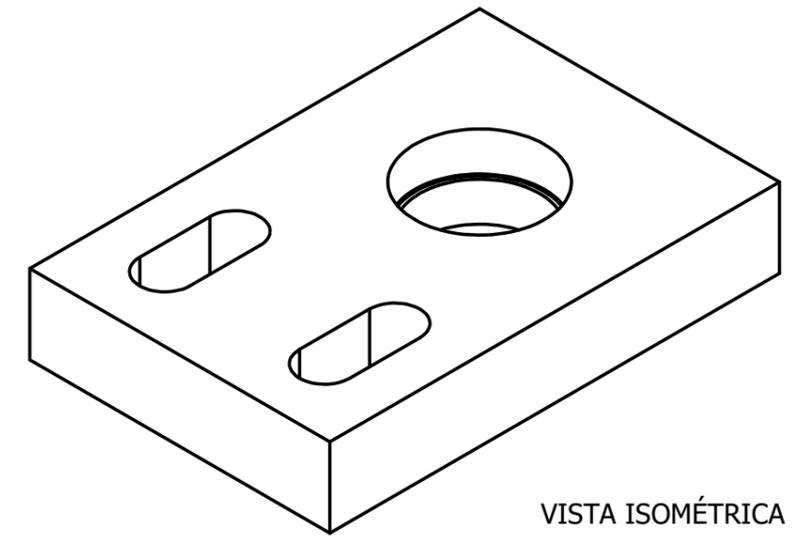
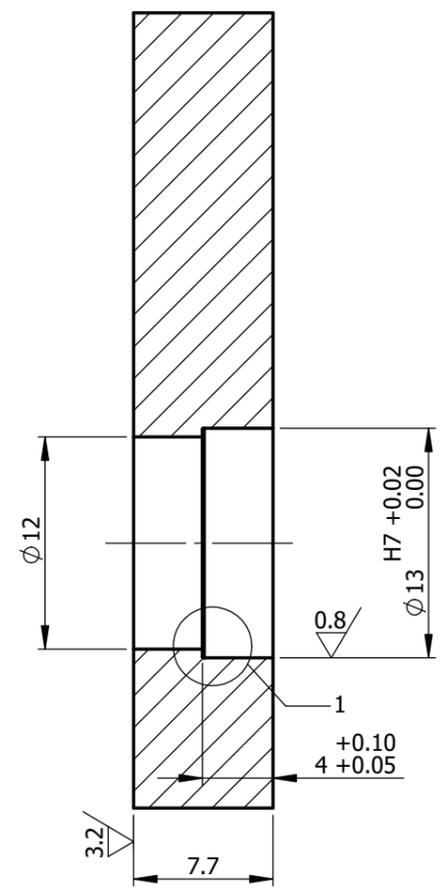
3.2 / 0.8

POS	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	OBSERVACIONES	CANT	PESO
1	CHAPA ESP.7.9x50x35	VER NOTA 1	N/A	1	N/A

DETALLE 1  
ESCALA 10 : 1



CORTE A-A



VISTA ISOMÉTRICA

REFERENCIA  
• PL-AS-000 ENSAMBLAJE GENERAL

NOTAS  
1. MATERIAL IRAM IAS U 500-54 CALIDAD F-24.

REQUERIMIENTOS DE MECANIZADO								REV	FECHA	APROBÓ	DESCRIPCIÓN
DESVIACIONES PERMITIDAS (mm)											
LONG.	DESDE	---	6	30	120	400	1000	2000	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL - FACULTAD REGIONAL DELTA	HOJA 1 DE 1	
	HASTA	6	30	120	400	1000	2000	4000			
LONGITUD LADO MÁS CORTO											
ANGULOS	DESDE	---	10	50	120	400	DIBUJÓ				
	HASTA	10	50	120	400	---	F.TORRANO				
DIMENSIONES EXPRESADAS EN mm. ELIMINAR CANTOS VIVOS NO ACOTADOS CON CHAFLAN 0.5x45° O RADIO 0.5 mm. RUGOSIDAD GENERAL (Ra=µm) 12.5								APROBÓ		UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL - FACULTAD REGIONAL DELTA	
								F.NASI		DENOMINACIÓN	
								PLANO N°		PORTA RODAMIENTO EJE Z	
								PL-PN-205		FECHA: 19/03/23	
										ESCALA: 2:1	
										REVISIÓN: C	