



**CONAHCYT**  
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES  
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS



# **UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA MECÁNICA**

## **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA IMPRESORA 3D PARA SER UTILIZADA EN INGENIERÍA TISULAR OSTEOCONDRA”**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN CIENCIAS EN  
INGENIERÍA MECÁNICA**

**PRESENTA:**

**ING. YOCELIN DIAZ CUADROS**

**ASESORES:**

**DR. MIGUEL VILLAGÓMEZ GALINDO**

**DR. JUAN FELIPE SORIANO PEÑA**

**MORELIA, MICH. DICIEMBRE 2024**

**“DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D PARA SER  
UTILIZADA EN INGENIERÍA TISULAR  
OSTEOCONDRA”**

## **Dedicatoria**

Primero que todo, dedico este trabajo de investigación a mis padres, de no ser por ellos quizás no hubiera llegado hasta donde estoy ahora. También a mis hermanos por su apoyo, que sin saber del tema se quedaban por las noches a acompañarme mientras yo le avanzaba al proyecto. Sin menos importancia a mi novio que fue una parte muy importante para la terminación de este proyecto. Y a mis sobrinos que son una de mis motivaciones para seguir superándome en la vida.

## **Agradecimientos**

Agradezco a mis asesores el Dr. Miguel Villagómez Galindo y el Dr. Juan Felipe Soriano Peña por haber creído en mis habilidades, por guiarme y apoyarme en los desafíos que iban surgiendo en este trabajo de investigación. Sin excusas estaban disponibles para mí siempre que lo necesitaba. También les agradezco el apoyo económico que me proporcionaron para llevar a cabo este proyecto.

Agradezco a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, al Posgrado de la Facultad de Ingeniería Mecánica y al CONAHCYT por esta oportunidad que se me dio para seguir preparándome profesionalmente y por brindar los espacios adecuados para trabajar en mi proyecto.

Nuevamente agradezco a mi novio por el apoyo incondicional, por quedarse hasta noche trabajando conmigo en el proyecto a pesar de los momentos de estrés hasta lograr el objetivo.

## Resumen

La bioimpresión por extrusión es un método por el cual se puede extrudir una biotinta, cargada con células, a través una boquilla. Para llevar a cabo este proceso es necesario tener en cuenta varios factores como lo son: la velocidad, la viscosidad de la biotinta, los esfuerzos cortantes a los cuales se está sometiendo la biotinta, para lograr una mayor viabilidad celular al momento de la extrusión. La biotinta es cargada con células para garantizar una mayor compatibilidad con el cuerpo humano, por ello es importante tener mayores índices de viabilidad celular. Para ser más específicos las biotintas serán cargadas con condrocitos, los cuales, se ha demostrado que, mueren al someterse a un esfuerzo cortante mayor a 160 Pa.

En el trabajo realizado se tomaron diferentes diámetros y longitudes del extrusor, para simular una boquilla en el proceso de extrusión. Para la biotinta se estableció un flujo de entrada bajo y algunas viscosidades de biotintas previamente caracterizadas. La simulación se hizo utilizando el programa de COMSOL el cual permitió realizar un estudio para saber si los datos que estamos implementando son adecuados para lograr nuestro objetivo. De dicha simulación obtuvimos esfuerzos cortantes menores a los 160 Pa por lo que pudimos concluir que tendremos viabilidad celular adecuada.

Teniendo las medidas requeridas para la boquilla se elaboró un diseño para la bioimpresora al cual se le hizo un análisis de deformación con el programa de SolidWorks garantizando de estar utilizando las medidas adecuadas. Para la bioimpresora la mayoría de sus piezas fueron impresas en PetG y las restantes fueron compradas. Una vez teniendo la impresora construida se modificó un firmware llamado Marlin para adecuarse a las dimensiones y necesidades de la impresora. Teniendo la bioimpresora armada se hicieron mediciones para confirmar que las medidas los movimientos sean los deseados y de dichas mediciones se obtuvo un promedio del porcentaje de error de un 0.2% por lo que se concluyó que el error será mínimo en dimensiones.

Palabras Clave: Biotinta, esfuerzo cortante, viabilidad celular, bioimpresion, simulación.

## Abstract

Extrusion bioprinting is a method by which a bioink, loaded with cells, can be extruded through a nozzle. To carry out this process, it is necessary to take into account several factors such as the speed, the viscosity of the bioink, the shear stresses to which the bioink is exposed, in order to achieve greater cell viability at the time of extrusion. The bioink is loaded with cells to guarantee greater compatibility with the human body, which is why it is important to have higher cell viability rates. To be more specific, the bioink will be loaded with chondrocytes, which have been shown to die when subjected to a shear stress greater than 160 Pa.

In the work carried out we took different diameters and lengths to simulate a nozzle for the extrusion process. For the bioink we set a low inlet flow and took some viscosities from previously characterized bioinks. The simulation was done using the COMSOL program which allowed us to carry out a study to know if the data we are implementing is adequate to achieve our objective. From this simulation we obtained shear stresses lower than 160 Pa, so we could conclude that we will have adequate cell viability.

After having the required measurements for the nozzle, a design was prepared for the bioprinter, which underwent a deformation analysis with the SolidWorks program to ensure that the appropriate measurements were being used. For the bioprinter, most of its parts were printed in PetG and the rest were purchased. Once the printer was built, a firmware called Marlin was modified to adapt to the dimensions and needs of the printer. After having the bioprinter assembled, measurements were made to confirm that the measures and movements were as desired and from these measurements we obtained an average error percentage of 0.2%, so it was concluded that in dimensions the error will be minimum.

Key Words: Bioink, shear stresses, cell viability, bioprinting, simulation.

# Índice

Dedicatoria .....	3
Agradecimientos .....	4
Resumen.....	5
Abstract.....	6
Índice de Figuras.....	9
Índice de tablas .....	11
Capítulo 1 .....	12
Introducción.....	12
Planteamiento del problema.....	13
Justificación.....	14
Objetivos .....	14
Objetivo general.....	14
Objetivos particulares .....	14
Metodología .....	15
Capítulo 2.....	16
Antecedentes .....	16
Marco teórico .....	17
Ingeniería Tisular .....	17
Cartílago articular .....	17
Biotinta.....	18
Células madre mesenquimales .....	19
Capítulo 3.....	20
Diseño conceptual de la bioimpresora .....	20
Capítulo 4.....	27
Selección de los componentes.....	27
Capítulo 5.....	33
Construcción de la bioimpresora .....	33
Circuito electrónico de la bioimpresora.....	36
Microcontrolador e Interfaz .....	37
Capítulo 6.....	37
Resultados .....	37
Capítulo 7.....	39

Conclusiones y recomendaciones.....	39
Trabajos futuros.....	39
Bibliografía .....	40
Anexo 1 .....	42
Anexo 2.....	42



# Índice de Figuras

Figura 1.- Metodología a seguir en la presente tesis..	15
Figura 2.- Proceso general de la Ingeniería tisular.....	17
Figura 3.- Anatomía de la rodilla..	18
Figura 4.- Elementos de la biotinta.....	18
Figura 5.- Propiedades de la biotinta.....	19
Figura 6.- Diferenciación de las células madre en múltiples linajes mesodérmicos .....	19
Figura 7.- Geometría del cabezal de extrusión. ....	20
Figura 8.- Mallado en la boquilla de extrusión.....	21
Figura 9.- Detalle del mallado aplicado en las simulaciones del cabezal de extrusión de la bioimpresora.....	21
Figura 10.- Valor máximo y mínimo de velocidades.....	22
Figura 11.- Perfil de velocidades en una de las simulaciones.....	23
Figura 12.- Valor máximo y mínimo de esfuerzos cortantes..	24
Figura 13.- Perfil del esfuerzo cortante en una de las simulaciones..	24
Figura 14.- Impresora PRUSA i3.....	24
Figura 15.- Diseño de la bioimpresora..	25
Figura 16.- Detalle del mallado de la bioimpresora para el análisis estático.....	25
Figura 17.- Resultados del desplazamiento obtenido del análisis estático en SolidWorks..	26
Figura 18.- Extrusor de la bioimpresora.....	27
Figura 19.- Ficha técnica y medidas del Motor de paso Nema 17 de 42x40mm.....	27
Figura 20.- Ficha técnica y medidas del Motor de paso Nema 17 de 42x47mm.....	28
Figura 21.- Ficha técnica y medidas del Motor de paso Nema 17 de 42x47mm.....	28
Figura 22.- Tornillos hexagonales M3x10mm..	28
Figura 23.- Varillas de acero inoxidable. ....	29
Figura 24.- Tornillos y tuercas M5x30mm con arandelas.....	29
Figura 25.- Varillas de tornillo de plomo T8 de 8mm de diámetro y 150mm de largo con su tuerca de cobre.....	29
Figura 26.- Correa de distribución GT2 de 15m..	30
Figura 27.- Poleas de distribución GT2 de 2x20 dientes de aluminio..	30
Figura 28.-Rodamientos Rígidos de Bolas de Acero..	30
Figura 29.- Interruptores de límite de parada de extremo de eje..	30
Figura 30.- Controladores DRV8825.....	31
Figura 31.- Placa Arduino Mega 2560.....	31
Figura 32.- Placa Shield V3.....	31
Figura 33.- Pantalla display LCD.....	32
Figura 34.- Lubricante de silicón de baja viscosidad.....	32
Figura 35.- Jeringa de 5 ml. ....	32
Figura 36.- Algunas piezas impresas para la bioimpresora.....	33
Figura 37.- Aplicación de lubricante a las barras de acero inoxidable..	33
Figura 38.- La parte de la cama (eje Y).....	34
Figura 39.- Vista inferior de la cama con su motor y correa.....	34
Figura 40.- Unión de la cama, componentes del eje Z y el soporte central.....	34
Figura 41.- Mecanismo para la extrusión de la biotinta.....	35

Figura 42.- Incorporación de cables y límites de carrera.....	35
Figura 43.- Conexión de los componentes electrónicos.....	36
Figura 46.- Montaje de la tarjeta Shield Ramps 1.4 sobre la placa Arduino Mega 2560. .....	36
Figura 47.- Circuito electrónico de la bioimpresora.....	36
Figura 44.- Código del programa Marlin sin modificaciones.....	37
Figura 45.- Impresora totalmente acoplada.....	38

## Índice de tablas

Tabla 1. Parámetros para las simulaciones mediante elementos finitos.....	20
Tabla 2. Parámetros para las simulaciones mediante elementos finitos.....	21
Tabla 3. Características del mallado del análisis de COMSOL MULTIPHYSICS.....	21
Tabla 4. Resultados de las velocidades de la simulación. Fuente: .....	22
Tabla 5.- Resultados de los esfuerzos cortantes de la simulación. ....	23
Tabla 6. Características del mallado del análisis de SolidWorks .....	26
Tabla 7. Mediciones de los ejes de la bioimpresora.....	38
Tabla 8. Porcentaje de error en la mediciones.....	38

# Capítulo 1

## Introducción

La impresión 3D surge en el campo de la Ingeniería Tisular como un nuevo enfoque para superar las principales limitaciones presentes en las metodologías clásicas de ensamblaje (Mateo, 2020). Actualmente se está explorando la impresión de células o de componentes biológicos mejor conocida como bioimpresión 3D como una técnica de fabricación emergente para restaurar o estudiar procesos biológicos para permitir la generación de tejido fisiológicamente relevantes (Tao Jiang, Jose G. Munguia-Lopez, Salvador Flores-Torres, Jacqueline Kort-Mascort & Kinsella, 2019).

La bioimpresión por extrusión es actualmente la técnica de bioimpresión más común debido a su bajo costo, alto potencial y la capacidad para el diseño modular. En la bioimpresión por extrusión los biomateriales se cargan en cartuchos y posteriormente extruidos usando presión neumática o fuerzas mecánicas, a través de una boquilla en una ubicación predefinida en una plataforma o escenario de fabricación (Tao Jiang, Jose G. Munguia-Lopez, Salvador Flores-Torres, Jacqueline Kort-Mascort & Kinsella, 2019).

Los esfuerzos actuales han sido enfocados hacia el diseño y optimización de biotintas e implementación de mejores mecanismos de extrusión, diámetros de boquilla y sistemas de control, para aumentar la resolución de impresión y lograr mejores tiempos de deposición sin comprometer la viabilidad celular y fidelidad del modelo de impresión (Tao Jiang, Jose G. Munguia-Lopez, Salvador Flores-Torres, Jacqueline Kort-Mascort & Kinsella, 2019).

Se ha demostrado que las técnicas de bioimpresión son ventajosas en la producción de muestras biológicas utilizando biotintas cargadas de células que pueden imitar las propiedades fundamentales de la ECM. Muchos estudios han demostrado que los biotintas se pueden usar como sustitutos de ECM al imitar propiedades del tejido nativo, tales como la adhesión celular, biocomposición, y arquitectura estructural (Tao Jiang, Jose G. Munguia-Lopez, Salvador Flores-Torres, Jacqueline Kort-Mascort & Kinsella, 2019).

Las biotintas son el material principal para la biofabricación de tejidos u órganos utilizando tecnología de fabricación aditiva de bioimpresión 3D. Las biotintas consisten de múltiples biomateriales, incluidos hidrogeles, biomoléculas o biofactores, y células vivas individuales. La selección de biomateriales para las biotintas depende de varios factores como la biocompatibilidad, biodegradación, inmunogenicidad, estabilidad, entre otras propiedades (Bhattacharyya Amitava, Janarthanan Gopinathan, Nguyen Tran Hao, Jun Ham Hyung, Hyun Yoon Jeong, 2021). Por ejemplo, alginato, GelMA, agarosa, colágeno, fibrina, seda, formas de poliglicol y el ácido hialurónico han demostrado ser compatibles con la tecnología de bioimpresión (Andrew, n.d.).

Para implementar esta tecnología en Ingeniería tisular osteocondral es necesario saber un poco acerca de este tejido. Los humanos tienen tres tipos diferentes de cartílagos: Elástico, hialino (también llamado cartílago articular) y cartílago fibroso. Como el cartílago

es un tejido no vascularizado, su capacidad de autorreparación es limitada. Con cartílago articular dañado/lesionado, inflamado y/o desgastado el movimiento de la respectiva articulación se vuelve doloroso y finalmente imposible (Mateo, 2020).

La osteoartritis es una enfermedad articular degenerativa, caracterizada por la pérdida progresiva del cartílago hialino en las articulaciones sinoviales, que afecta a millones de personas en todo el mundo (Vijayavenkataraman et al., 2018).

El cartílago es un tejido avascular con un bajo número de células (10-15%), lo que explica su limitada capacidad regenerativa. La desventaja del tejido cartilaginoso sirve como ventaja para la bioimpresión, ya que un tejido avascular de baja densidad celular es comparativamente más fácil de bioimprimir que los tejidos vascularizados altamente complejos (Vijayavenkataraman et al., 2018).

En función de lo anteriormente expuesto se desprende el interés por desarrollar tecnología mexicana de bioimpresión para contribuir por un lado en la frontera de conocimiento de la ingeniería tisular y por otra parte a la atención de los problemas nacionales de salud humana, es decir, contribuir con una solución a los programas nacionales estratégicos de salud (PRONACES SALUD).

## **Planteamiento del problema**

Existen diversos factores relacionados con el desgaste de las articulaciones. Se sabe que con la edad se va perdiendo la capacidad de regeneración en el cuerpo, por ello las articulaciones se van desgastando cada vez más rápido.

La obesidad juega también un papel importante ya que por el exceso de peso se requiere mayor esfuerzo para llevar a cabo los movimientos, por ende, mayor probabilidad de roce entre las articulaciones. También se tiene como factor las lesiones sufridas en los huesos; los cuales no se logran recuperar hasta llegar a su estado normal. Tampoco se toman las medidas necesarias de cuidado por lo que las articulaciones sufren daños al pasar el tiempo.

El problema principal del desgaste de las articulaciones es su irreversibilidad, así como la falta de concientización en las personas sobre este tema en particular. Según la Organización Mundial de la Salud, cerca del 28% de la población mundial mayor de 60 años presenta artrosis y el 80% de ésta tiene limitaciones en sus movimientos. Por otra parte, el Doctor Ricardo Rivas Meléndez, Coordinador del Módulo de Ortopedia, en el XXII Congreso Internacional Avances en Medicina (CIAM 2020), afirmó que en México una de cada cuatro personas mayores de 45 años tiene desgaste muscular o artrosis de rodilla, y 1.3 de cada 10 tiene artrosis de cadera.

## **Justificación**

Existe un gran porcentaje de la población que sufre problemas de desgaste en las articulaciones debido al envejecimiento, sobrepeso, alguna enfermedad degenerativa, entre otros. Al crear un implante que funcione como amortiguador entre las articulaciones se ayuda a mejorar la calidad de vida de las personas, evitando el dolor y/o las limitantes de movimiento ocasionadas por el roce de los huesos o desgaste en las articulaciones.

Debido a las condiciones de vida y la falta de concientización sobre el desgaste en las articulaciones, cada vez más irán aumentando las cifras de personas que padecen este problema. Esto por consecuente creará demanda para que el gobierno aumente su presupuesto destinado al sector de la salud para ayudar a estos pacientes a tratarse. Sin embargo, si se utiliza este método para la creación de tejido osteocondral se estará contribuyendo a que el recurso destinado al sector salud se pueda emplear en otras áreas como la educación o la industria.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Construir una impresora 3D de biomateriales para determinar su aplicación en la recuperación de estructuras tisulares osteocondrales dañadas.

### **Objetivos particulares**

- ❖ Realizar una valoración crítica del estado del arte en el tema de impresoras para la bioimpresión.
- ❖ Diseñar un prototipo de impresora a partir de restricciones de diseño para su aplicación en ingeniería tisular, tomando como bases las deficiencias encontradas en la valoración del estado de arte.
- ❖ Construir el prototipo de una impresora de biomateriales para la recuperación de estructuras tisulares dañadas, realizando evaluaciones de su desempeño y economía de fabricación.

# Metodología

En la Figura 1 se describe de manera general la metodología que se siguió durante el desarrollo del proyecto.

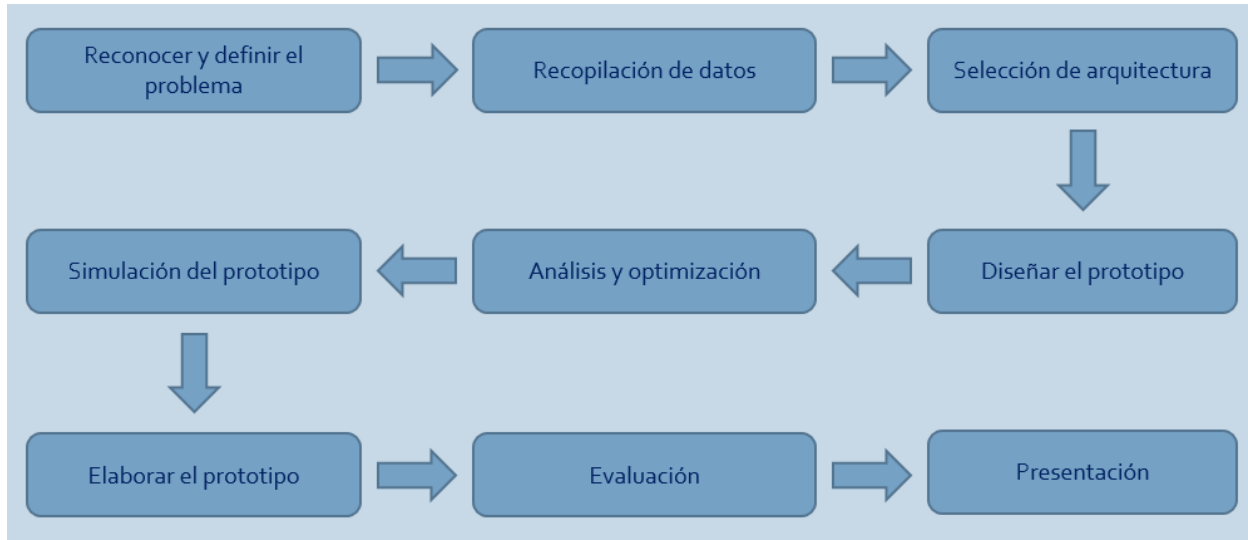


Figura 1.- Metodología a seguir en la presente tesis. Fuente: Elaboración propia.

- Reconocer y definir el problema: En esta etapa se formuló una hipótesis y se previeron los tiempos de los siguientes pasos.
- Recopilación de datos: Se obtuvo información relevante al proyecto de distintas fuentes.
- Selección de arquitectura: En base a la información recopilada se seleccionó la arquitectura más adecuada para la estructura de la bioimpresora y su extrusor.
- Simulación del prototipo: Se simuló la estructura en SolidWorks y se llevó a cabo un estudio de esfuerzos. También se hizo un estudio fluido-estructura con la geometría del extrusor.
- Análisis y optimización: Tomando en cuenta los resultados que se obtuvieron de las simulaciones se eligió la forma de optimizar el proceso para obtener mejores resultados.
- Diseñar el prototipo: Una vez hechas todas las modificaciones pertinentes se elaboró el diseño del prototipo y posteriormente se construyó.
- Elaborar el prototipo: Se fabricó la estructura de la bioimpresora, y todos sus componentes y se le incorporó la parte electrónica.
- Evaluación: Se realizaron las pruebas necesarias para corroborar los datos experimentalmente.
- Presentación: Se llevó a cabo la presentación final.

## Capítulo 2

### Antecedentes

A fines de la década de 1970 y principios de la década 1980 se fabricaron los primeros productos para la piel mediante ingeniería tisular. La mayoría estaría de acuerdo en que esto es cuando realmente comenzó la ingeniería de tejidos, aunque el término "ingeniería de tejidos" fue acuñado más tarde, alrededor de 1987 (Mateo, 2020).

El primer taller internacional de bioimpresión se celebró en la Universidad de Manchester (Reino Unido) en septiembre del 2004 donde la bioimpresión fue definida como el uso de procesos de transferencia de materiales para modelar y ensamblar materiales biológicamente relevantes (moléculas, células, tejidos y biomateriales biodegradables) con una organización prescrita para lograr una o más funciones biológicas (Vladimir Mironov, M.D., Ph.D., Dr. Nuno Reis, Dr.Phil., and Brian Derby, 2006).

En el 2017, Kosik-Kozioł et al. utilizó alginato y fibras de polilactida submicrónica corta (PLA) para la Ingeniería Tisular de cartílago (Mohammadmahdi Mobaraki et al., 2020).

Barbeck et al. combinó una capa de PLA y una capa bifásica de PLA/biovidrio G5 para la regeneración de defectos osteocondrales mediante el uso de un sistema de deposición de boquillas (Yilmaz et al., 2021).

Recientemente, Yanga et al. utilizó biotintas de colágeno y alginato para el cartílago en Ingeniería Tisular. Utilizaron colágeno tipo I (COL) o agarosa (AG) mezclado con alginato de sodio (SA). Todos los especímenes mostraron favorable resistencia mecánica y funcionalidad biológica en comparación con SA solo (Mohammadmahdi Mobaraki et al., 2020).

Levato et al. utilizó microportadores (MC) en hidrogeles para bioimprimir un modelo de injerto osteocondral. En este estudio, PLA MCs utilizó colágeno humano de tipo recombinante I con un diámetro medio de 120  $\mu\text{m}$  y una superficie de 2  $\text{cm}^2 \text{mg}^{-1}$ . MSC a una concentración de  $8 \times 10^6$  células por mililitro y MC (30  $\text{mg/ml}$ ) se mezclaron con GelMA-goma gellan hidrogel y posteriormente bioimpreso usando un sistema de bioimpresión por extrusión (Vijayavenkataraman et al., 2018).

Blaise Porter encontró que la muerte celular se asocia con valores de esfuerzo cortante mayores de  $5.7 \times 10^{-2}$  Pa (Porter, 2004). Lemarié Lucas et. al evaluó la viabilidad celular después de la microextrusión a través de bioimpresión variando la geometría de boquilla y las propiedades reológicas de la biotinta observando que la tasa de viabilidad disminuye cuando la longitud de la boquilla o de la viscosidad de la biotinta aumentan y que la tasa de viabilidad es mayor en boquillas cónicas que en boquillas tubulares (Lucas et al., 2021).



## Marco teórico

### Ingeniería Tisular

La ingeniería tisular es la rama de la bioingeniería cuyo principio es la utilización de un sustrato celular vivo, aunado al diseño y manipulación del medio extracelular para crear bioimplantes con la finalidad de reparar, reemplazar, mantener u optimizar el funcionamiento de órganos o tejidos lesionados (Álvarez-Lozano E, Lara-Arias J, Mendoza-Lemus O, 2009). Dependiendo el uso y función que vaya a tener el bioimplante se eligen las células y los biomateriales. En la Figura 2 se puede apreciar el proceso general de la Ingeniería Tisular el cual consiste en unir un biomaterial con células vivas para la creación de un tejido nuevo.



Figura 2.- Proceso general de la Ingeniería tisular. Fuente: (Cattalini, 2015).

### Cartílago articular

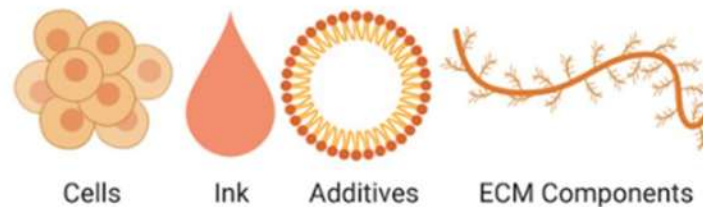
Clásicamente se ha considerado al cartílago como un tejido avascular, aneural y alinfático, compuesto por unas células denominadas condrocitos, rodeadas por una matriz extracelular (MEC) que ellos mismos secretan (Juncosa, 2000). El grosor del cartílago articular varía en función de su ubicación; por ejemplo, en las articulaciones interfalángicas, el grosor varía entre 1 y 2 mm, mientras que, en la rodilla o cadera, que soportan mayor peso, es de 3 a 5 mm. Dada la función de amortiguación del cartílago articular, este está expuesto a diferentes cargas mecánicas, como compresión, tensión y cizallamiento (Vaca-González et al., 2017). En la Figura 3 se muestra la anatomía de la rodilla donde se puede apreciar el cartílago que como ya mencionamos es una parte del cuerpo que se va desgastando con el roce y al paso de los años la capacidad de regeneración es cada vez menor.



Figura 3.- Anatomía de la rodilla. Fuente:(Barajas, n.d.).

## Biotinta

Las biotintas son biomateriales compuestos por una combinación de células y biomoléculas, que pueden ser material genético (ADN), fármacos, factores de crecimiento, sustancias bioactivas y componentes extracelulares (La et al., 2019) como se muestra en la Figura 4.



## Bioink Elements

Figura 4.- Elementos de la biotinta. Fuente: (Minh-Tam Tran Le, n.d.).

Algunas características importantes de una biotinta ideal son: Bioimprimible, con una alta integridad mecánica y estabilidad, insoluble en el medio de cultivo celular, biodegradable a una velocidad apropiada para el tejido regenerador, no tóxica, no inmunogénica y capaz de promover la adhesión celular (Lee, 2018) como se muestra en la Figura 5. Dependiendo el uso que vaya a tener la biotinta se eligen las características que esta debería tener, por ejemplo, en el caso de una biotinta para la creación de cartilago articular la biotinta debería promover la movilidad, la regeneración y combatir el desgaste del mismo.

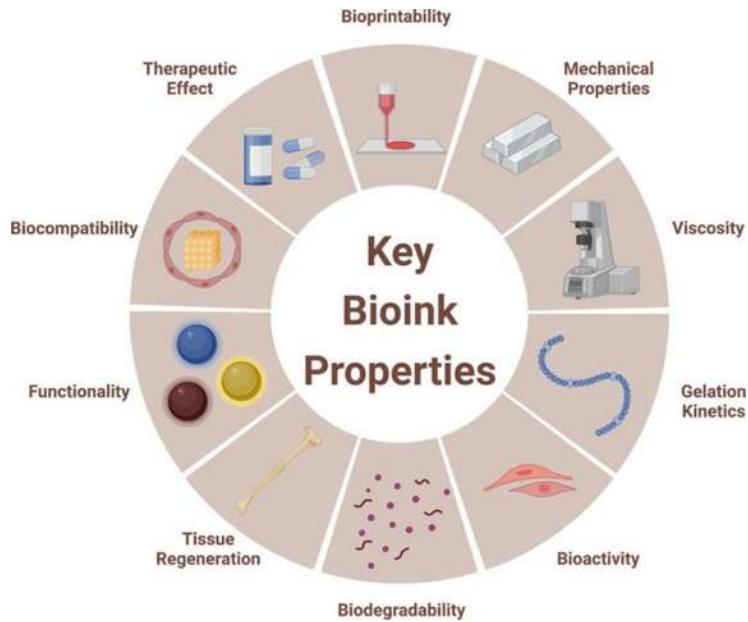


Figura 5.- Propiedades de la biotinta. Fuente: (Cai et al., 2023).

## Células madre mesenquimales

Las células madre mesenquimales son células adultas multipotentes capaces de autorenovarse, generar diversos tejidos mesodermicos y sustentas el proceso de la hematopoyesis (Lacouture, 2008). Estas pueden generar tejido oseo, cartilagoso, tendinoso, adiposo, etc (Spangenberg, 2013). En la Figura 6 se muestran los derivados de las células mesenquimales.

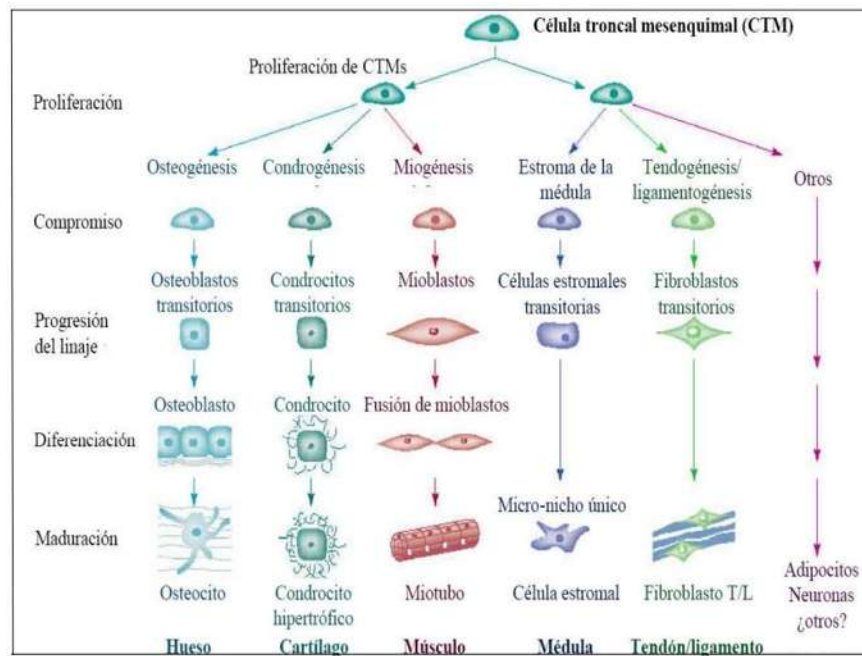


Figura 6.- Diferenciación de las células madre en múltiples linajes mesodérmicos Fuente: (Lacouture, 2008)

## Capítulo 3

### Diseño conceptual de la bioimpresora

Para comenzar con el proceso de diseño de la bioimpresora lo primero que se hizo fue analizar la parte del extrusor ya que es en el extrusor donde se lleva a cabo una parte importante en el proceso de bioimpresión. En este caso el extrusor será un cilindro, con la geometría similar a la de una jeringa, en el cual la biotinta será impulsada por un pistón para llevar a cabo la extrusión del mismo.

Se llevó a cabo un análisis en el programa de simulación COMSOL MULTIPHYSICS para la elección de las dimensiones geométricas mediante la variación de diferentes parámetros, que fueron: El diámetro de la boquilla, la viscosidad del fluido y el flujo de entrada como se muestra en la Figura 7.

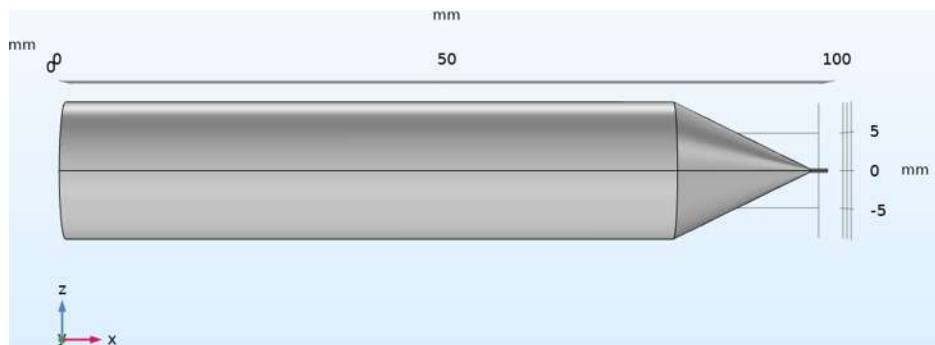


Figura 7.- Geometría del cabezal de extrusión. Fuente: Elaboración propia.

Las viscosidades del fluido se obtuvieron de dos biotintas previamente caracterizadas por Lucas Lemarié y colaboradores en su trabajo de investigación “Rheology, simulation and data analysis toward bioprinting cell viability awareness” donde utilizaron dos biotintas de diferentes viscosidades, una de 370 Pa/s y la otra de 478 Pa/s. Para los diámetros de la boquilla se optaron por dos medidas, una de 0.2 mm y la otra de 0.4 mm. Estas medidas se seleccionaron tomando como base las geometrías utilizadas en el trabajo antes mencionado. Por otra parte, para el flujo de entrada también se tomaron dos valores, el primero de  $1 \times 10^{-13} \text{ m}^3/\text{s}$  y el segundo de  $1 \times 10^{-15} \text{ m}^3/\text{s}$  (Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros para las simulaciones mediante elementos finitos. Fuente: Elaboración propia.

Parámetros variables	Valor 1	Valor 2
Diámetro de la boquilla	0.2 mm	0.4 mm
Largo de la boquilla	15 mm	20 mm
Nu	370 Pa*s	478 Pa*s
FRin	$1 \times 10^{-13} \text{ m}^3/\text{s}$	$1 \times 10^{-15} \text{ m}^3/\text{s}$

Cabe mencionar que se mantuvieron fijos los valores siguientes: el diámetro del cuerpo, la longitud del cuerpo y la presión a la salida (Tabla 2).

Tabla 2. Parámetros para las simulaciones mediante elementos finitos. Fuente: Elaboración propia.

Parámetros fijos	Valor
Diámetro del cuerpo	20 mm
Largo del cuerpo	80 mm
Presión a la salida	1 atm

Para el mallado del análisis en COMSOL MULTIPHYSICS se optó por una malla muy fina de la cual se obtuvieron las características mostradas en la Tabla 3:

Tabla 3. Características del mallado del análisis de COMSOL MULTIPHYSICS. Fuente: Elaboración propia.

Número de elementos de borde	801
Número de elementos de frontera	17,064
Número de elementos	403,331
Calidad mínima del elemento	0.07467

En la Figura 8 se muestra el resultado final del mallado de la simulación en la parte de la punta de la boquilla.

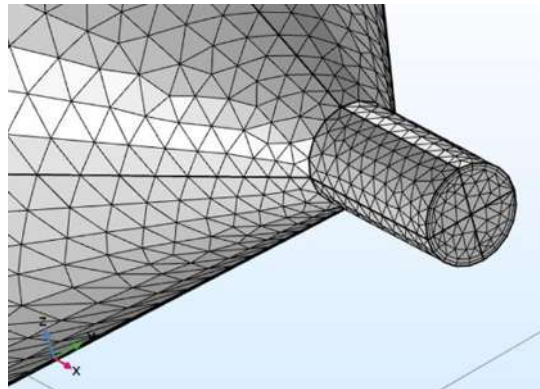


Figura 8.- Mallado en la boquilla de extrusión. Fuente: Elaboración propia

Y ahora puede observarse el mallado, en el cabezal de extrusión de la bioimpresora de manera general en la Figura 9.

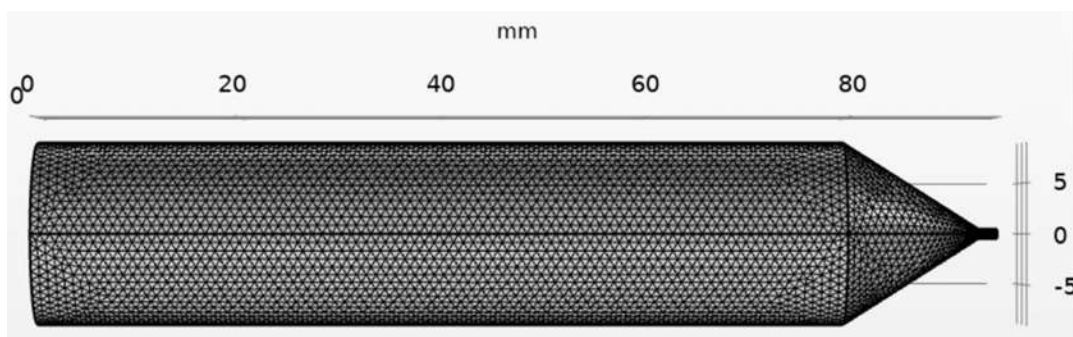


Figura 9.- Detalle del mallado aplicado en las simulaciones del cabezal de extrusión de la bioimpresora. Fuente: Elaboración propia.

Del análisis de fluidos por medio del método de elemento finito, se obtuvieron: la velocidad a la salida de la boquilla y los esfuerzos cortantes a los que el fluido estaría siendo sometido. En ambos casos se hicieron 16 experimentos numéricos con 4 factores y dos niveles cada uno. Para las velocidades a la salida de la boquilla se obtuvieron los datos que muestran en la Tabla 4:

Tabla 4. Resultados de las velocidades de la simulación. Fuente: Elaboración propia.

	Valor (m/s)
∅Boquilla1, Largo de Boquilla1, Nu1, FRin1	$7 \times 10^{-6}$
∅Boquilla1, Largo de Boquilla1, Nu2, FRin1	$7 \times 10^{-6}$
∅Boquilla1, Largo de Boquilla1, Nu1, FRin2	$7 \times 10^{-8}$
∅Boquilla1, Largo de Boquilla1, Nu2, FRin2	$7 \times 10^{-6}$
∅Boquilla2, Largo de Boquilla1, Nu1, FRin1	$1.69 \times 10^{-6}$
∅Boquilla1, Largo de Boquilla2, Nu1, FRin1	$7.02 \times 10^{-6}$
∅Boquilla2, Largo de Boquilla2, Nu1, FRin1	$1.7 \times 10^{-6}$
∅Boquilla2, Largo de Boquilla1, Nu2, FRin1	$1.69 \times 10^{-6}$
∅Boquilla1, Largo de Boquilla2, Nu2, FRin1	$7.02 \times 10^{-6}$
∅Boquilla2, Largo de Boquilla2, Nu2, FRin1	$1.7 \times 10^{-6}$
∅Boquilla2, Largo de Boquilla1, Nu1, FRin2	$1.69 \times 10^{-8}$
∅Boquilla1, Largo de Boquilla2, Nu1, FRin2	$7.02 \times 10^{-8}$
∅Boquilla2, Largo de Boquilla2, Nu1, FRin2	$1.7 \times 10^{-8}$
∅Boquilla2, Largo de Boquilla1, Nu2, FRin2	$1.69 \times 10^{-8}$
∅Boquilla1, Largo de Boquilla2, Nu2, FRin2	$7.02 \times 10^{-8}$
∅Boquilla2, Largo de Boquilla2, Nu2, FRin2	$1.7 \times 10^{-8}$

De la tabla anterior se puede observar que el valor máximo es de 7.02 micras y el valor mínimo es de 0.01 micras en cuanto a las velocidades a la salida de boquilla (Figura 10):

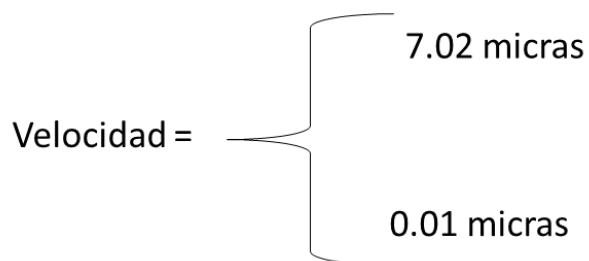


Figura 10.- Valor máximo y mínimo de velocidades. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 11 se muestra el perfil de velocidades de una de las simulaciones en la boquilla de la cual se puede apreciar que la velocidad máxima se obtiene en la parte central del conducto de impresión.

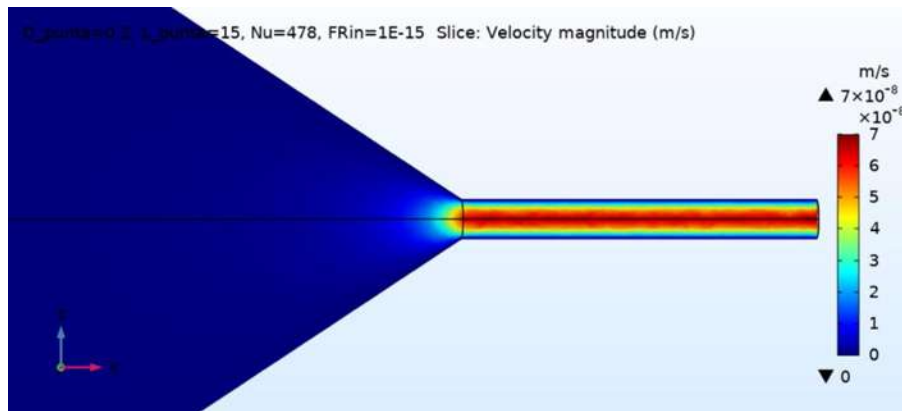


Figura 11.- Perfil de velocidades en una de las simulaciones. Fuente: Elaboración propia.

Ahora bien, la parte más importante del análisis fue obtener los esfuerzos cortantes de los fluidos. Considerando que los osteocitos y condrocitos soportan un esfuerzo cortante máximo de 160 Pa (Müller et al., 2017) para evitar la muerte celular, por lo que en presente estudio se dio prioridad a los modelos que no sobrepasan ese valor. Los resultados que se obtuvieron fueron los siguientes (Tabla 5):

	Valor (Pa)
∅Boquilla1, Largo de Boquilla1, Nu1, FRin1	61
∅Boquilla1, Largo de Boquilla1, Nu2, FRin1	78.8
∅Boquilla1, Largo de Boquilla1, Nu1, FRin2	0.61
∅Boquilla1, Largo de Boquilla1, Nu2, FRin2	0.79
∅Boquilla2, Largo de Boquilla1, Nu1, FRin1	7.92
∅Boquilla1, Largo de Boquilla2, Nu1, FRin1	58.7
∅Boquilla2, Largo de Boquilla2, Nu1, FRin1	7.68
∅Boquilla2, Largo de Boquilla1, Nu2, FRin1	10.2
∅Boquilla1, Largo de Boquilla2, Nu2, FRin1	75.9
∅Boquilla2, Largo de Boquilla2, Nu2, FRin1	9.92
∅Boquilla2, Largo de Boquilla1, Nu1, FRin2	0.08
∅Boquilla1, Largo de Boquilla2, Nu1, FRin2	0.59
∅Boquilla2, Largo de Boquilla2, Nu1, FRin2	0.08
∅Boquilla2, Largo de Boquilla1, Nu2, FRin2	0.1
∅Boquilla1, Largo de Boquilla2, Nu2, FRin2	0.76
∅Boquilla2, Largo de Boquilla2, Nu2, FRin2	0.1

Tabla 5.- Resultados de los esfuerzos cortantes de la simulación. Fuente: Elaboración propia.

De la tabla anterior se obtuvo el valor máximo y mínimo de esfuerzos cortantes como se puede observar en la Figura 12:

$$\text{Esfuerzo cortante} = \begin{cases} 78.8 \text{ Pa} \\ 0.08 \text{ Pa} \end{cases}$$

Figura 12.- Valor máximo y mínimo de esfuerzos cortantes. Fuente: Elaboración propia.

Los esfuerzos cortantes máximos fueron en la zona pegada a la pared como lo muestra la Figura 13.

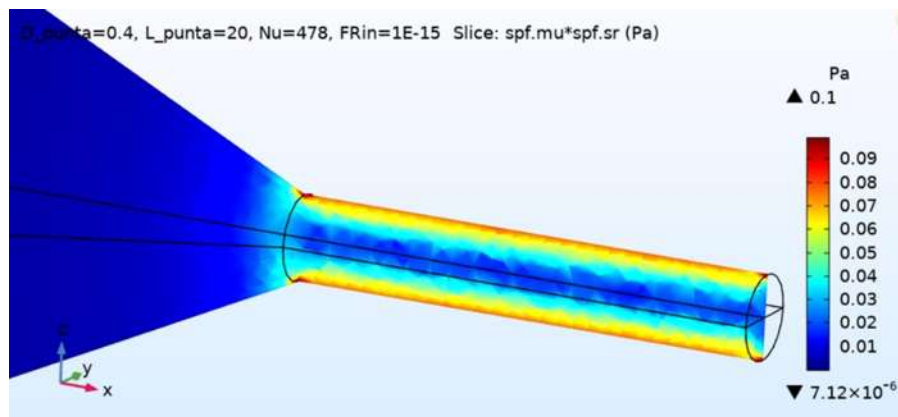


Figura 13.- Perfil del esfuerzo cortante en una de las simulaciones. Fuente: Elaboración propia.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos del análisis en cuanto al esfuerzo cortante se ve que en ninguno de los escenarios se sobre pasa el valor límite, por lo que se puede inferir que se tendrá una buena viabilidad celular al momento de la impresión.

Después de la revisión bibliográfica y tomando en cuenta los requerimientos que debería tener la bioimpresora, se consideró que una adecuada arquitectura; se tomó como referencia una impresora PRUSA i3 que es de dominio público.



Figura 14.- Impresora PRUSA i3. Fuente: (Lucía, 2021).



Se realizaron diferentes bocetos del diseño utilizando el programa de SolidWorks hasta llegar al modelo deseado tomando en cuenta las dimensiones y el funcionamiento del equipo. Así como también se determinó que varias de las partes de la estructura serian impresas de PetG en una impresora 3D. En la Figura 15 se puede apreciar la estructura de la impresora con todos sus componentes.

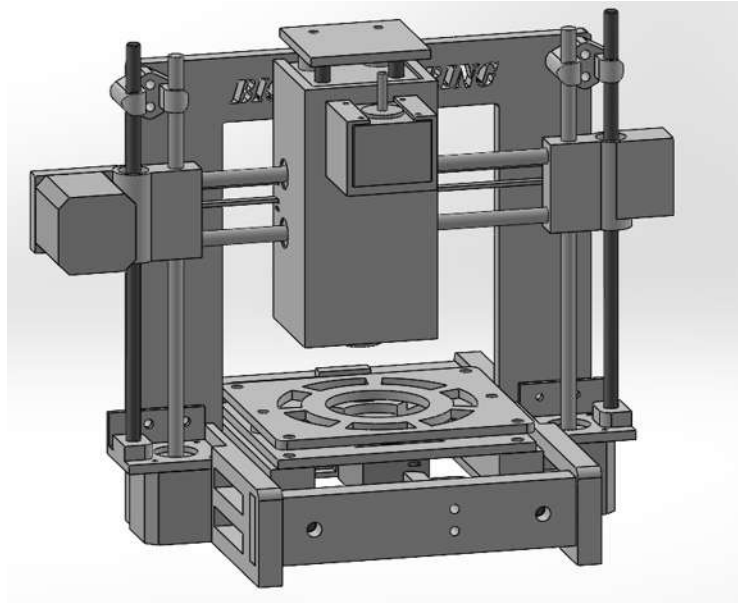


Figura 15.- Diseño de la bioimpresora. Fuente: Elaboración propia.

Una vez que se obtuvo el diseño mostrado en la figura anterior se hizo un análisis estático para determinar qué desplazamientos tendría la estructura de la bioimpresora. A continuación, en la Figura 16 se muestra el mallado de para el análisis en SolidWorks:

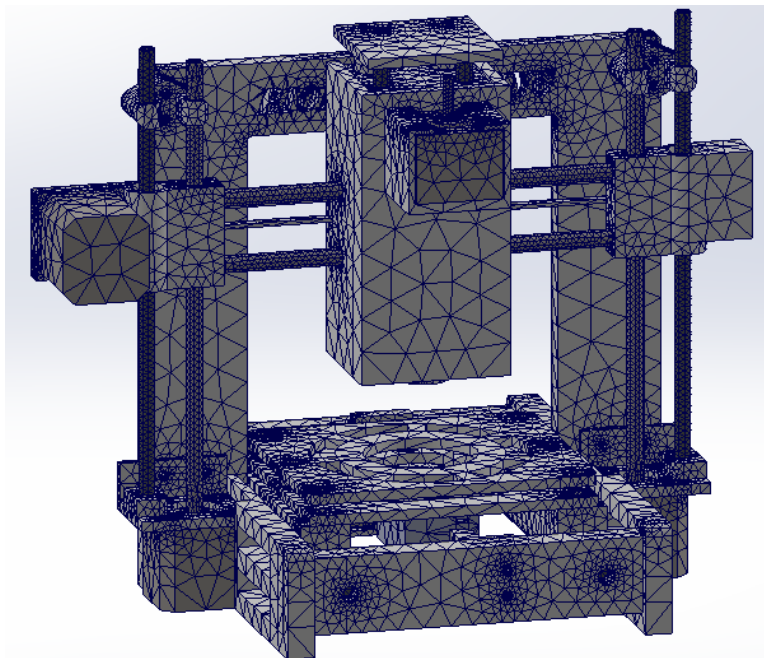


Figura 16.- Detalle del mallado de la bioimpresora para el análisis estático. Fuente: Elaboración Propia.

En el mallado de la simulación de SolidWorks se obtuvieron las siguientes características (Tabla 6):

Tabla 6. Características del mallado del análisis de SolidWorks. Fuente: Elaboración propia.

Número de nodos	283676
Número de elementos	159953
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Calidad malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Del análisis de deformación de SolidWorks se obtuvo un valor máximo de desplazamiento de  $5.02 \times 10^{-11}$  mm, aunque la deformación representada en el esquema es ampliada, como se muestra en la Figura 17, se puede notar que su valor es despreciable.

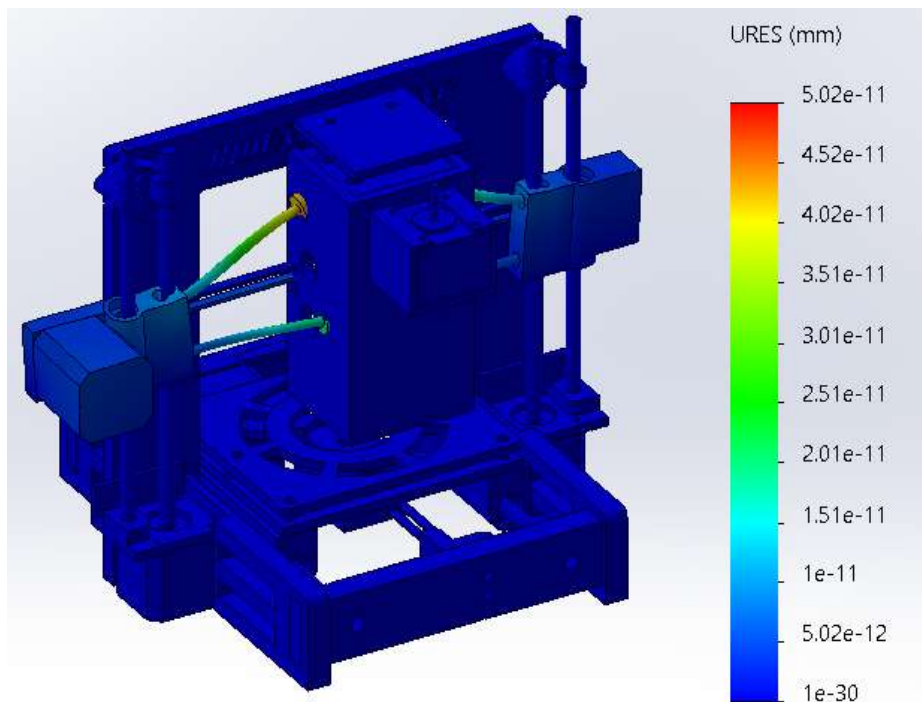


Figura 17.- Resultados del desplazamiento obtenido del análisis estático en SolidWorks. Fuente: Elaboración propia.

La propuesta de la bioimpresora cuenta con 4 motores que le permitirán movimientos en los tres ejes cartesianos (x, y, z) y un quinto motor que se encargara del proceso de la extrusión de la biotinta. Cabe destacar que para el eje Z se utilizaron dos motores a diferencia de en los otros dos ejes.

Para el extrusor se hizo una base la cual se podrá montar y desmontar de la estructura de la bioimpresora. Para el proceso de extrusión, un motor acoplado con un engrane transmitirá el movimiento a otros los engranes que están acoplados a unas varillas de tornillo. Estas varillas ayudaran para dar el movimiento al pistón que va dentro del cuerpo de la jeringa llevando a cabo así la extrusión de la biotinta. En la figura 18 se puede observar cómo será el mecanismo de extrusión de la bioimpresora.

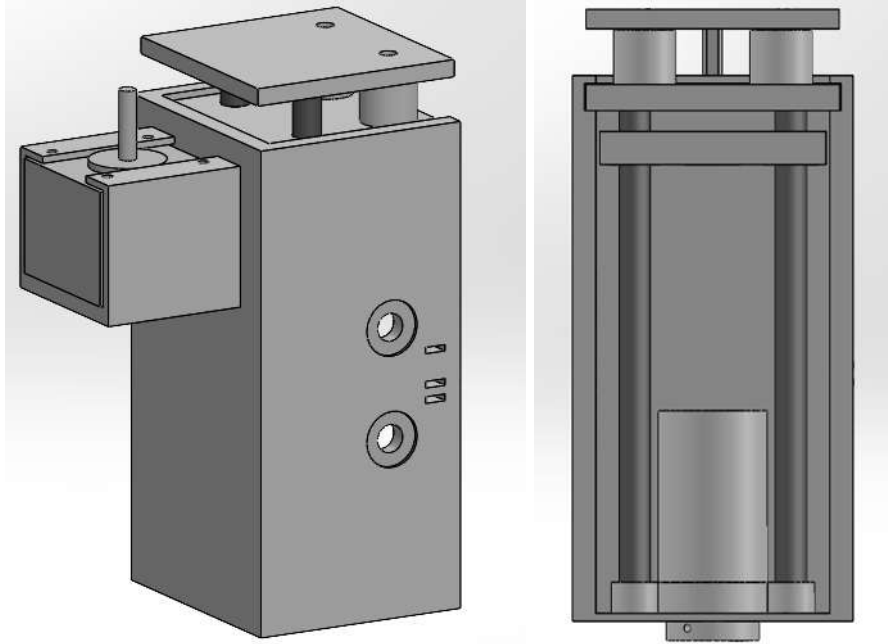


Figura 18.- Extrusor de la bioimpresora. Fuente: Elaboración propia.

## Capítulo 4

### Selección de los componentes

Con respecto a la selección de los componentes electrónicos, mecánico y auxiliares necesarios para el funcionamiento de la bioimpresora, se propusieron los siguientes elementos:

- Dos motores de paso nema 17 de 42x40 mm con tornillo, tuerca trapezoidal y cables. Estos motores permitirán el desplazamiento en el eje Z (Figura 19).

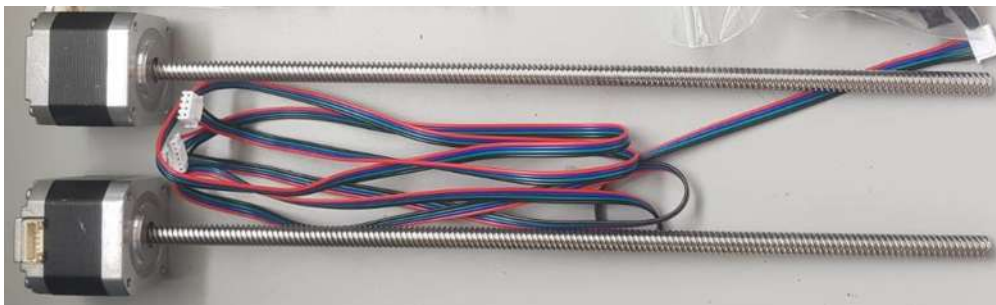


Figura 19.- Ficha técnica y medidas del Motor de paso Nema 17 de 42x40mm. Fuente: Elaboración propia.

- Dos motores de paso nema 17 de 42x47 mm con cables. Estos dos motores permiten el movimiento en el eje X y en el eje Y (Figura 20).



Figura 20.- Ficha técnica y medidas del Motor de paso Nema 17 de 42x47mm. Fuente: Elaboración propia.

- Un motor de paso nema 17 de 42x33 mm con cables. Este motor es el encargado del proceso de extrusión (Figura 21).



Figura 21.- Ficha técnica y medidas del Motor de paso Nema 17 de 42x47mm. Fuente: Elaboración propia.

- Tornillos hexagonales M3x10 mm. Estos tornillos sirven para sujetar los motores a los soportes estructurales de la bioimpresora (Figura 22).



Figura 22.- Tornillos hexagonales M3x10mm. Fuente: Elaboración propia.

- Dos varillas de acero inoxidable de 8 mm de diámetro y 200 mm de largo. Estas varillas se usan como guías para el eje X y el eje Y (Figura 23).



Figura 23.- Varillas de acero inoxidable. Fuente: (Store, 2014).

- Un juego de tornillos y tuercas M5x30 mm con arandelas. Estos tornillos sujetan los soportes a la estructura (Figura 24).



Figura 24.- Tornillos y tuercas M5x30mm con arandelas. Fuente: Elaboración propia.

- Dos varillas de tornillo de plomo T8 de 8 mm de diámetro y 150 mm de largo con su tuerca de cobre. Estas varillas permiten el desplazamiento de la cama en el eje X (Figura 25).



Figura 25.- Varillas de tornillo de plomo T8 de 8mm de diámetro y 150mm de largo con su tuerca de cobre. Fuente: Elaboración propia.

- Una correa de distribución GT2 de 10 m de paso de 2 mm. Esta correa se utiliza para facilitar el movimiento de la cama en el eje X, así como para el movimiento del extrusor en el eje Y (Figura 26).



*Figura 26.- Correa de distribución GT2 de 15m. Fuente: Elaboración propia.*

- Ocho poleas de distribución GT2 de 8x20 dientes de aluminio de paso de 2 mm (Figura 27).



*Figura 27.- Poleas de distribución GT2 de 2x20 dientes de aluminio. Fuente: Elaboración propia.*

- Rodamientos Rígidos de Bolas de Acero de 8 mm x 16 mm x 5 mm (Figura 28).



*Figura 28.-Rodamientos Rígidos de Bolas de Acero. Fuente: Elaboración propia.*

- Seis interruptores de límite de parada de extremo de eje. Estos interruptores sirven para indicar los límites de carrera (Figura 29).



*Figura 29.- Interruptores de límite de parada de extremo de eje. Fuente: Elaboración propia.*

- Cuatro controladores DRV8825. Cada uno de estos controladores mueve los motores programados en la placa de la impresora (Figura 30).

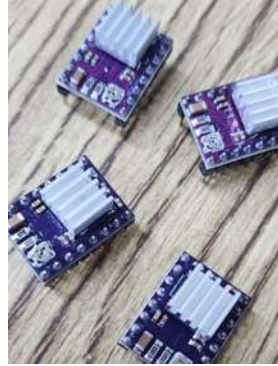


Figura 30.- Controladores DRV8825. Fuente: Elaboración propia.

- Una placa de Arduino Mega 2560 con cable usb para montaje de la tarjeta para el control de la bioimpresora (Figura 31).



Figura 31.- Placa Arduino Mega 2560. Fuente: Elaboración propia.

- Una tarjeta Shield Ramps 1.4 para montar los controladores de los motores de los ejes, cabezal de extrusión y los end stops (Figura 32).

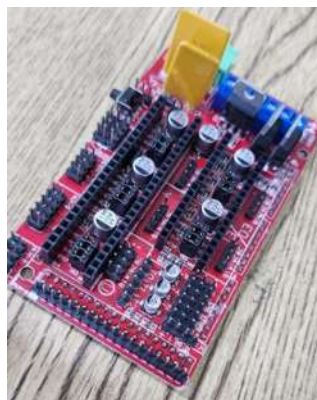


Figura 32.- Placa Shield V3. Fuente: Elaboración propia.

- Pantalla display LCD 2004a con controlador para mover la impresora en sus diferentes ejes (Figura 33).

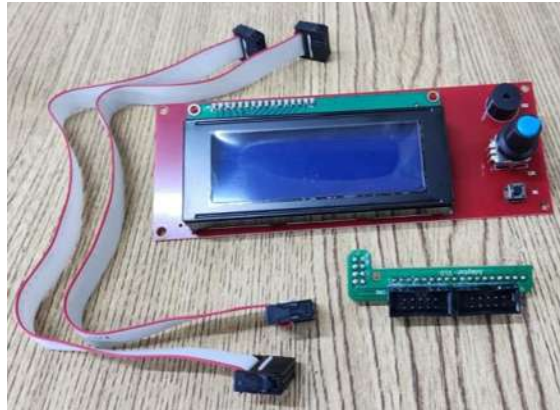


Figura 33.- Pantalla display LCD. Fuente: elaboración propia.

- Lubricante de silicón de baja viscosidad. Este se utilizó en los ejes para tener un mejor movimiento (Figura 34).



Figura 34.- Lubricante de silicón de baja viscosidad. Fuente: elaboración propia.

- Jeringa de 5 ml. En esta jeringa se pone la biotinta para extruirla (Figura 35).



Figura 35.- Jeringa de 5 ml. Fuente: (House, 2019)



## Capítulo 5

### Construcción de la bioimpresora

Después de tener el diseño de la bioimpresora terminado en SolidWorks se procedió a imprimir los componentes faltantes en la impresora 3D utilizando PetG color negro como filamento para la impresión (Figura 36).



Figura 36.- Algunas piezas impresas para la bioimpresora. Fuente: Elaboración propia.

Teniendo ya todos los componentes necesarios se comenzó con la construcción de la bioimpresora. Lo primero fue ir uniendo las piezas de la cama (eje Y), el cual consta de soportes laterales, soporte frontal e izquierdo, dos barra de acero inoxidable de 8 mm de diametro y 200 mm de largo, dos soportes de conexión entre las barras y los platos, un plato superior, un plato inferior, una soporte de conexión entre el plato inferior y la correa del eje Y. A las barras se les puso lubricante de silicon para facilitar el movimiento en ellas como se muestra en la Figura 37.



Figura 37.- Aplicación de lubricante a las barras de acero inoxidable. Fuente: Elaboración propia.



Figura 38.- La parte de la cama (eje Y). Fuente: Elaboración propia.

Después a la parte de la cama se le agrego un soporte para el motor, un soporte para la polea loca y la correa (Figura 39).

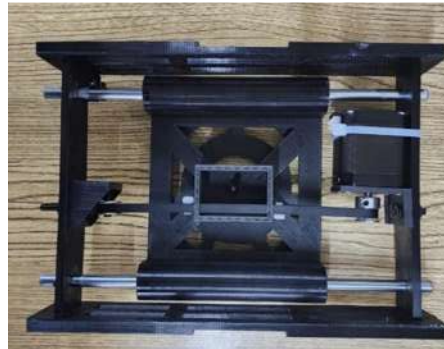


Figura 39.- Vista inferior de la cama con su motor y correa. Fuente: Elaboración propia.

Lo siguiente fue agregar el soporte central y los soportes para incorporar los dos motores (del eje Z). También de agregaron dos barras de acero inoxidable para utilizarse como guía en el movimiento vertical. A los tornillos sin fin del motor y las barras se les agrego un soporte para el movimiento en el eje Z (Figura 40).

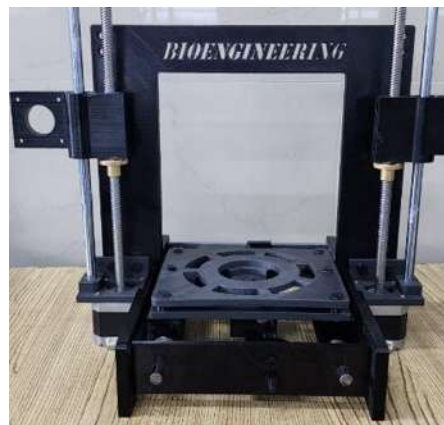


Figura 40.- Unión de la cama, componentes del eje Z y el soporte central. Fuente: Elaboración propia.

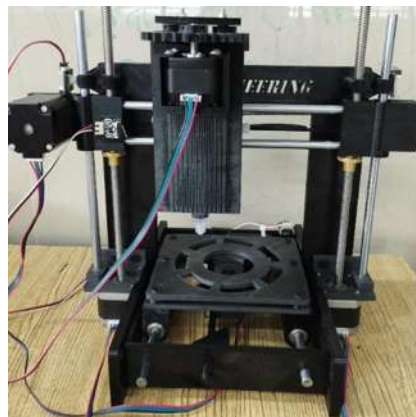
Posteriormente se construyó el mecanismo para la extrusión de la biotinta, para el cual se utilizó una caja con un soporte incorporado para el motor, una tapa para la caja, dos tornillos sin fin de 50 mm, un soporte para la unión de embolo de la jeringa con las tuercas de los tornillos sin fin, una jeringa de 10 ml (tambor y émbolo), un soporte para la jeringa, 3 engranes (uno para el motor y dos para los tornillos) y un motor (Figura 41).



*Figura 41.- Mecanismo para la extrusión de la biotinta. Fuente: Elaboración propia.*

El mecanismo de extrusión se unió a los soportes del eje Z mediante dos barras. También se montó el motor a uno de los soportes y al otro se puso una polea loca, teniendo ya estos dos componentes se agregó la correa para así completar el movimiento del eje X.

Una vez teniendo todos los componentes mecánicos y estructurales de la bioimpresora se adicionaron los cables de los motores y los límites de carrera también con sus respectivos cables (Figura 42).



*Figura 42.- Incorporación de cables y límites de carrera. Fuente: Elaboración propia.*

Finalmente se hicieron las conexiones de los cables con la tarjeta Shield Ramps 1.4, el display LCD y a la fuente de alimentación (Figura 43).

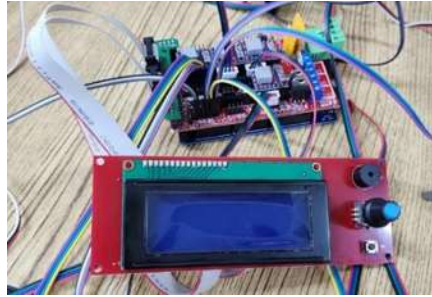


Figura 43.- Conexión de los componentes electrónicos. Fuente: Elaboración propia.

### Circuito electrónico de la bioimpresora

Para el circuito electrónico se utilizó una tarjeta Arduino Mega 2650 a la cual se le instaló una tarjeta Shield Ramps 1.4 como se muestra en la Figura 46.



Figura 44.- Montaje de la tarjeta Shield Ramps 1.4 sobre la placa Arduino Mega 2560. Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se colocaron todos los componentes y la fuente de poder como se muestra en la Figura 47.

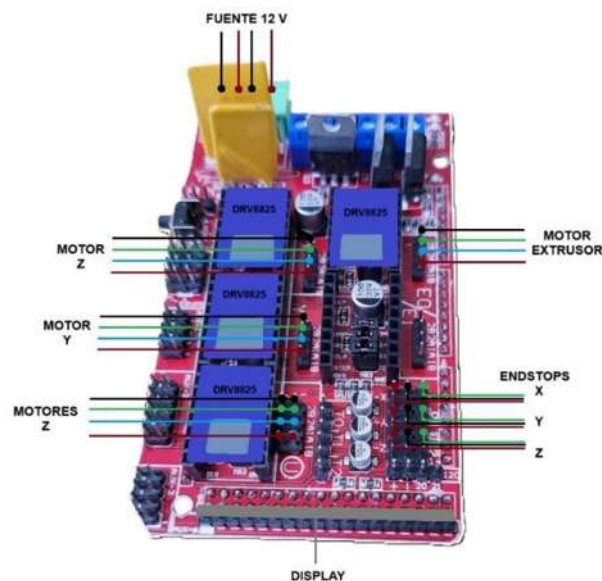


Figura 45.- Circuito electrónico de la bioimpresora. Fuente: Elaboración propia.

## Microcontrolador e Interfaz

Para el control de la bioimpresora se utilizó una tarjeta Arduino Mega 2650 la cual se conectó a una tarjeta Shield Ramps 1.4 para incorporar los motores de cada uno de los ejes, el extrusor, los sensores de final de carrera y el display LCD. Para la programación se utilizó el programa de Arduino 1.0.5, en este programa se trabajó sobre un código de firmware llamado Marlin, que es un código de libre acceso para el control de impresoras 3D como la Prusa i3 (Figura 44).



```
Marlin [Arduino 1.0.5-r2]
Archivo Editar Sketch Herramientas Ayuda

Marlin

// -v- -v- -v-

/*
  RepRap firmware based on OpenStep and g2d3.
  Copyright (c) 2011 Gena Staden / RepRap.org

  This program is free software; you can redistribute it and/or modify
  it under the terms of the GNU General Public License as published by
  the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or
  (at your option) any later version.

  This program is distributed in the hope that it will be useful,
  but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
  MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
  GNU General Public License for more details.

  You should have received a copy of the GNU General Public License
  along with this program. If not, see <http://www.gnu.org/licenses/>.
*/

/*
  This firmware is a mashup between OpenStep and g2d3.
  https://github.com/klbauer/OpenStep
  https://github.com/klbauer/g2d3

  In the configuration section the function names are identical
  https://github.com/klbauer/g2d3/blob/master/Config.h
*/

/* All the implementation is done in *.cpp files to get better compilation with AVR-GCC without the Arduino IDE. */
/* Use this file to help the Arduino IDE find which additional libraries are needed and to keep dependencies to a minimum */

#include "Configuration.h"
#include "pins.h"

// Pin definitions for the Arduino Mega
#define X_STEP_PIN 54
#define X_DIR_PIN 55
#define X_STOP_PIN 14
#define Y_STEP_PIN 56
#define Y_DIR_PIN 57
#define Z_STEP_PIN 6
#define Z_DIR_PIN 7
#define Z_STOP_PIN 15
#define E_STEP_PIN 4
#define E_DIR_PIN 5
#define FAN_PIN 3
```

Figura 46.- Código del programa Marlin sin modificaciones. Fuente: Elaboración propia.

Al código se le hicieron algunas modificaciones para adaptarlo a las medidas y necesidades de la bioimpresora construida. Dicho código se compiló y realizó un debugging o verificación contra errores, una vez realizado lo anterior se cargó mediante la interfaz de arduino a la placa base para convertir el sistema de impresión en un hardware con el firmware embebido y que se pueda conectar a cualquier computadora sin necesidad de vincularse al programa arduino.

## Capítulo 6

### Resultados

Una vez ensamblada la impresora, conectados los componentes electrónicos y cargado el código del firmware de Marlin, se realizaron pruebas para ajustar los límites y velocidades de recorrido, para lo cual se llevaron a diferentes recorridos y mediciones, que se muestran en la Tabla 7:

Tabla 7. Mediciones de los ejes de la bioimpresora. Fuente: Elaboración propia.

Eje y longitud deseada	1 (mm)	2 (mm)	3 (mm)	4 (mm)	5 (mm)
Eje x, 5 mm	4.99	4.98	4.99	5.00	5.01
Eje x, 10 mm	9.98	9.99	10.01	10.01	9.98
Eje Y, 5 mm	4.98	5.00	4.99	5.01	5.00
Eje Y, 10 mm	10.02	10.00	9.98	9.99	10.01
Eje Z, 5 mm	4.99	4.97	5.00	5.0	4.99
Eje Z, 10 mm	10.00	10.01	9.98	9.98	10.00

Se calculó el porcentaje de error en cada uno de los parámetros medidos y se logró tener un promedio del porcentaje de error no mayor al 0.2%, expuestos en la Tabla 8:

Tabla 8. Porcentaje de error en la mediciones. Fuente: Elaboración propia.

Eje y longitud deseada	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)	Promedio (%)
Eje x, 5 mm	0.2	0.4	0.2	0	0.2	0.2
Eje x, 10 mm	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.14
Eje Y, 5 mm	0.4	0	0.2	0.2	0	0.16
Eje Y, 10 mm	0.2	0	0.2	0.1	0.1	0.12
Eje Z, 5 mm	0.2	0.6	0	0	0.2	0.2
Eje Z, 10 mm	0	0.1	0.2	0.2	0	0.1

Por cuestiones de estética se colocó la pantalla y los cables en una caja dedicada, (Figura 45).

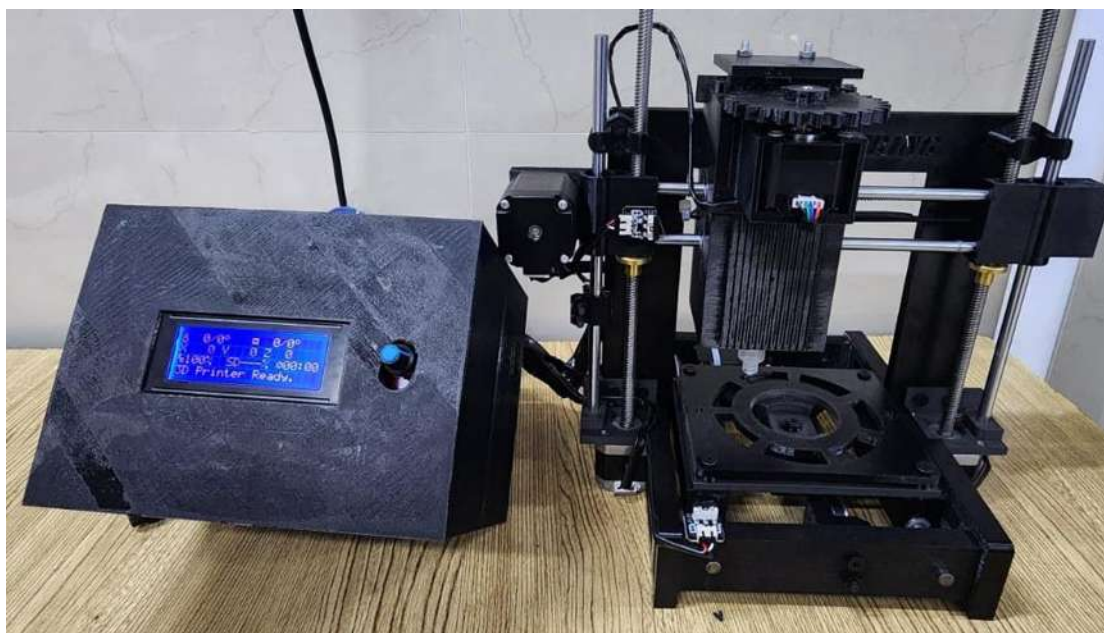


Figura 47.- Impresora totalmente acoplada. Fuente: Elaboración propia.

## Capítulo 7

### Conclusiones y recomendaciones

Con el estudio de la simulación con el programa de COMSOL MULTIPHYSICS, utilizando los parámetros adecuados se llegó a la conclusión de que al momento de la extrusión de la biotinta con las células seguirán siendo viables porque no son sometidas a esfuerzos cortantes mayores de 160 Pa. Los esfuerzos máximos y mínimos que se obtuvieron fueron de 78.8 Pa y 0.08 Pa respectivamente. Incluso si se utilizan biotintas de distintas viscosidades,

El código del firmware de Marlin se modificó para que la velocidad de extrusión pueda adecuarse a cada una de las biotintas utilizadas. Las velocidades máximas y mínimas a la salida de la boquilla que se obtuvieron fueron de 7.02 micras y 0.01 micras respectivamente.

En cuanto a la construcción de la impresora se consiguieron las dimensiones deseadas y los movimientos correspondían a los valores necesarios. Con las mediciones tomadas en los movimientos de cada eje se llegó a la conclusión de que al momento de imprimir se obtendrán las medidas deseadas con un error máximo promedio de 2%. Antes había expuesto 0.2%

### Trabajos futuros

En trabajos a futuro se planea centrarse en la calidad de la impresión, garantizando mejores acabados superficiales mejorando la calidad de impresión para diferentes biotintas. También se tiene contemplado la mejora del diseño de la bioimpresora.

Con el desarrollo de la Inteligencia Artificial y su incursión en diversos campos del conocimiento el proyecto desarrollado en la presente tesis podría incorporar técnicas como las redes neuronales, machine learning para elucidar parámetros de extrusión con alta viabilidad celular y el desarrollo de patrones de bioimpresión.

## Bibliografía

- Álvarez-Lozano E, Lara-Arias J, Mendoza-Lemus O, M.-R. H. (2009). Ingeniería tisular en la reparación de las lesiones articulares. *Ortho-Tips*, 5(4), 308–314.
- Andrew, C. D. (n.d.). *3D bioprinting for cartilage and osteochondral Tissue Engineering*.
- Barajas, O. I. (n.d.). *Hoy hablaremos de...la rodilla*. AIXA Sport Center. <https://aixasportcenter.com/la-rodilla/>
- Bhattacharyya Amitava, Janarthanan Gopinathan, Nguyen Tran Hao, Jun Ham Hyung, Hyun Yoon Jeong, N. I. (2021). *Bioink homogeneity control during 3D bioprinting of multicomponent micro/nanocomposite hydrogel for even tissue regeneration using novel twin screw extrusion system*.
- Cai, R., Gimenez-Camino, N., Xiao, M., Bi, S., & DiVito, K. A. (2023). Technological advances in three-dimensional skin tissue engineering. *REVIEWS ON ADVANCED MATERIALS SCIENCE*, 62(1), 20220289. <https://doi.org/doi:10.1515/rams-2022-0289>
- Cattalini, J. P. (2015). *Desarrollo de biomateriales innovadores aplicables al diseño de andamios destinados a ingeniería tisular ósea*. 197.
- House, P. (2019). *Jeringa desechable con punta luer lock bd – 5ml*. <https://pdohouse.com/tienda/jeringa-descartable-con-punta-luer-lock-bd-5ml/>
- Juncosa, J. J. S. (2000). Estructura y función del cartilago articular. *Amras Frente a La Patología Articular*, 24–26.
- La, E. N., Del, M., & López, E. E. (2019). *Bioimpresión en la medicina del futuro*.
- Lacouture, M. F. F. (2008). *Caracterización de células madre mesenquimales*.
- Lee, I. Y. (2018). bioimpresion de organos y tejidos en tercera dimension: técnicas, aplicaciones y limitaciones. *Tecnología En Marcha*.
- Lucas, L., Aravind, A., Emma, P., Christophe, M., & Edwin-Joffrey, C. (2021). Rheology, simulation and data analysis toward bioprinting cell viability awareness. In *Bioprinting* (Vol. 21). <https://doi.org/10.1016/j.bprint.2020.e00119>
- Lucía, C. (2021). *Las mejores impresoras 3D caseras del mercado*. <https://www.3dnatives.com/es/top-12-impresoras-3d-montar-14042016/#!>
- Mateo, N. C. (2020). *Diseño y desarrollo de nuevas biotintas y estrategias de bioimpresión para producir equivalentes simplificados de tejidos humanos, para su uso en la tierra y misiones exploratorias espaciales*.
- Minh-Tam Tran Le, A. O. and K. L. (n.d.). *Beginner's guide to bioprinting*. <https://meow.wse.jhu.edu/protocols/beginners-guide-to-bioprinting/>
- Mohammadmahdi Mobaraki, M. G., Abolfazl Yazdanpanah, Y. L., & Mills, D. K. (2020). *Bioinks and bioprinting: A focused review*.



- Müller, M., Öztürk, E., Arlov, Ø., Gatenholm, P., & Zenobi-Wong, M. (2017). Alginate Sulfate–Nanocellulose Bioinks for Cartilage Bioprinting Applications. *Annals of Biomedical Engineering*, 45(1), 210–223. <https://doi.org/10.1007/s10439-016-1704-5>
- Porter, B. (2004). *3-D computational modeling of media flow through scaffolds*.
- Spangenberg, L. (2013). *Mecanismos de diferenciación y auto-renovación de células madre mesenquimales a adipocitos*.
- Store, Z. (2014). *Eje lineal OD de 6mm, 8mm, 10mm, 12mm, 16mm, longitud de 100-800mm, carril de revestimiento de cilindro para eje de impresora 3D*. [https://es.aliexpress.com/item/32890228043.html?spm=a2g0o.order\\_list.order\\_list\\_main.49.66a5194dMWgwvo&gatewayAdapt=glo2esp](https://es.aliexpress.com/item/32890228043.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.49.66a5194dMWgwvo&gatewayAdapt=glo2esp).
- Tao Jiang, Jose G. Munguia-Lopez, Salvador Flores-Torres, Jacqueline Kort-Mascort, and J. M., & Kinsella. (2019). *Extrusion bioprinting of soft materials: An emerging technique for biological model fabrication*.
- Vaca-González, J. J., Gutiérrez, M. L., & Garzón-Alvarado, D. A. (2017). Cartílago articular: estructura, patologías y campos eléctricos como alternativa terapéutica. Revisión de conceptos actuales. *Revista Colombiana de Ortopedia y Traumatología*, 31(4), 202–210. <https://doi.org/10.1016/j.rccot.2017.06.002>
- Vijayavenkataraman, S., Yan, W. C., Lu, W. F., Wang, C. H., & Fuh, J. Y. H. (2018). 3D bioprinting of tissues and organs for regenerative medicine. In *Advanced Drug Delivery Reviews* (Vol. 132, pp. 296–332). <https://doi.org/10.1016/j.addr.2018.07.004>
- Vladimir Mironov, M.D., Ph.D., Dr. Nuno Reis, Dr.Phil., and Brian Derby, P. D. (2006). *Bioprinting: A beginning*.
- Yilmaz, B., Rashid, A. Al, Mou, Y. A., Evis, Z., & Koç, M. (2021). Bioprinting: A review of processes, materials and applications. *Bioprinting*.

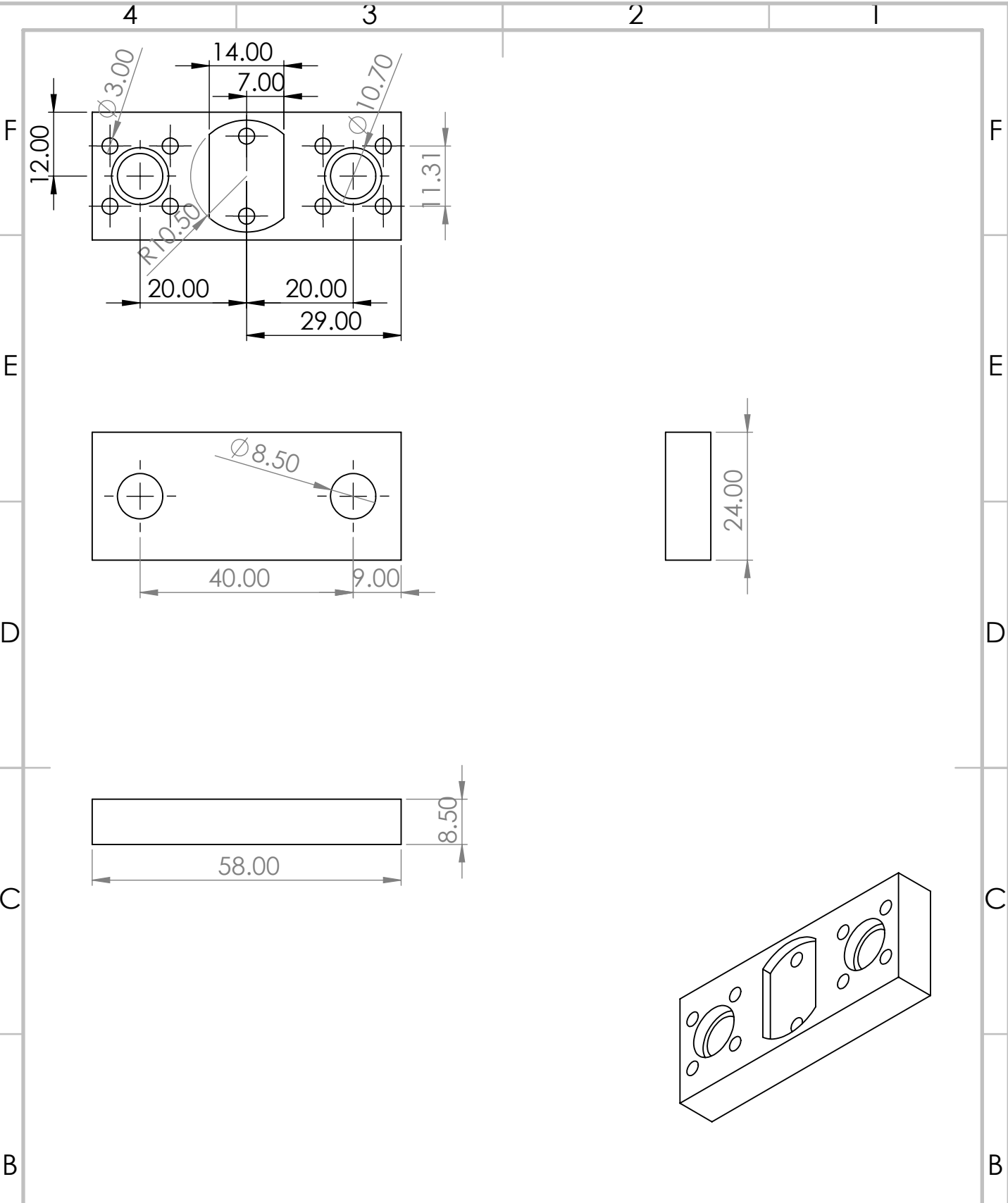
## Anexo 1

### Costos de fabricación

Artículo	Precio (MXN)
3 rollos de filamento PetG	690.00
2 motores paso a paso Nema 17 42X47 mm	670.53
2 motores de paso nema 17 de 42x40 mm con tornillo y tuerca trapezoidal	710.49
Correa de distribución GT2 de 10 m	266.93
2 varillas de acero inoxidable de 8 mm de diámetro y 250 mm de largo	558.44
Un juego de tornillos y tuercas M5x30 mm con arandelas	89.31
Tornillos hexagonales M3x10 mm	85.91
2 varillas de acero inoxidable de 8 mm de diámetro y 200 mm de largo	187.61
Motor de paso nema 17 de 42x33 mm	277.12
2 varillas de tornillo de plomo T8 de 8 mm de diámetro y 150 mm de largo con tuerca de cobre	326.07
6 interruptores de límite de parada de extremo de eje	268.13
4 controladores DRV8825	116.06
10 Rodamientos Rígidos de Bolas de acero de 8 mm x 16 mm x 5 mm	143.00
2 poleas de distribución GT2 de 8x20 dientes de aluminio	100.29
2 poleas con balero loca conducida GT2 20 dientes de 5 mm	63.67
Pantalla display LCD 2004a con controlador	229.44
Placa Arduino mega 2560 con cable usb	294.37
Tarjeta Shield Ramps 1.4	130
Lubricante de silicón de baja viscosidad	79.00
2 jeringas de 5 ml	20.00
<b>Total</b>	<b>5,306.37</b>

## Anexo 2

### Planos del modelo en SolidWorks



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

ACABADO:  
  
 REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN 01/11/2024

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

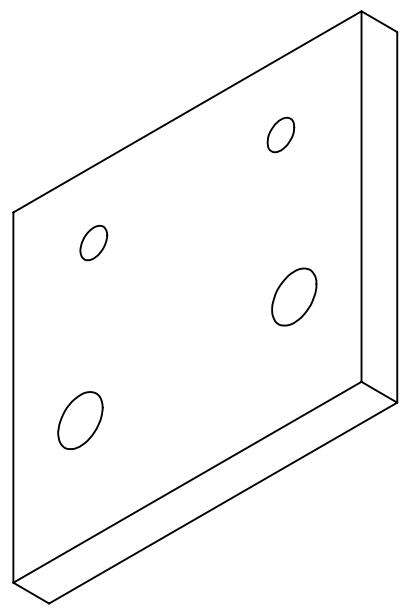
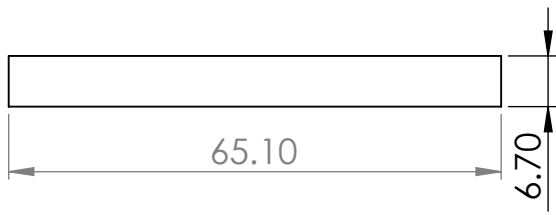
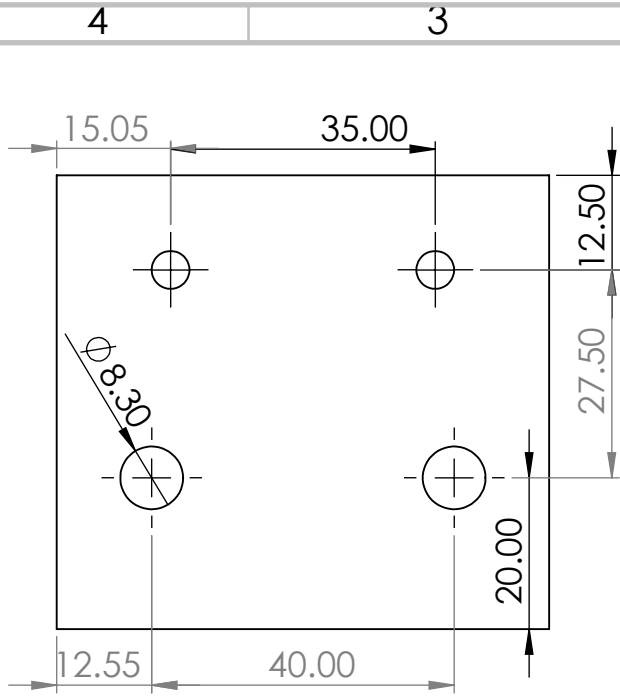
TÍTULO:  
**Bioimpresora**

N.º DE DIBUJO  
**accesorio 1**

A4

PESO:  
 ESCALA:1:1

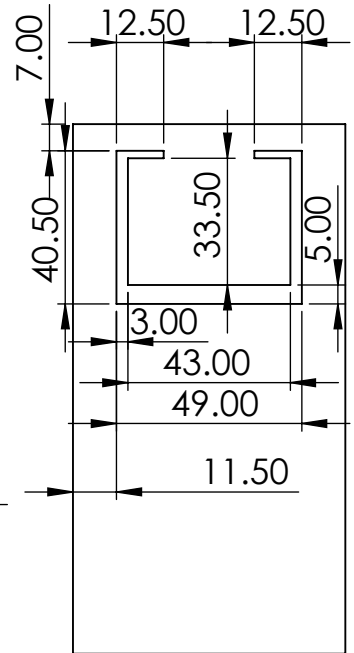
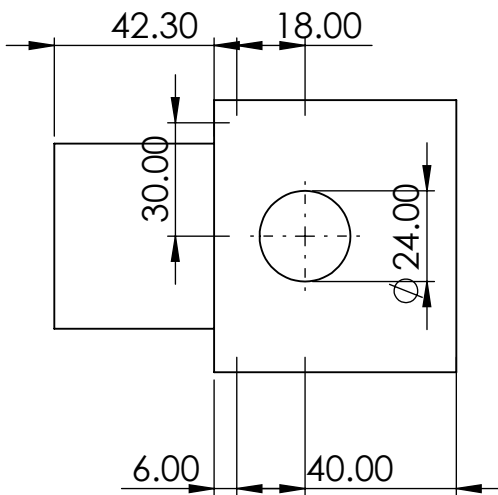
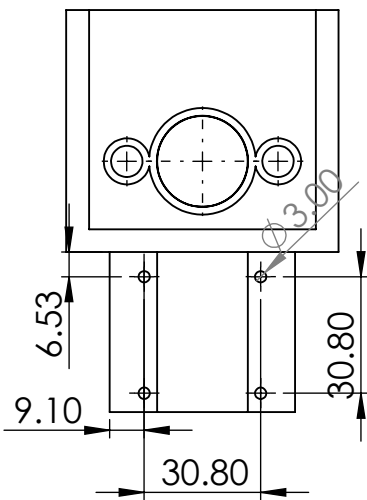
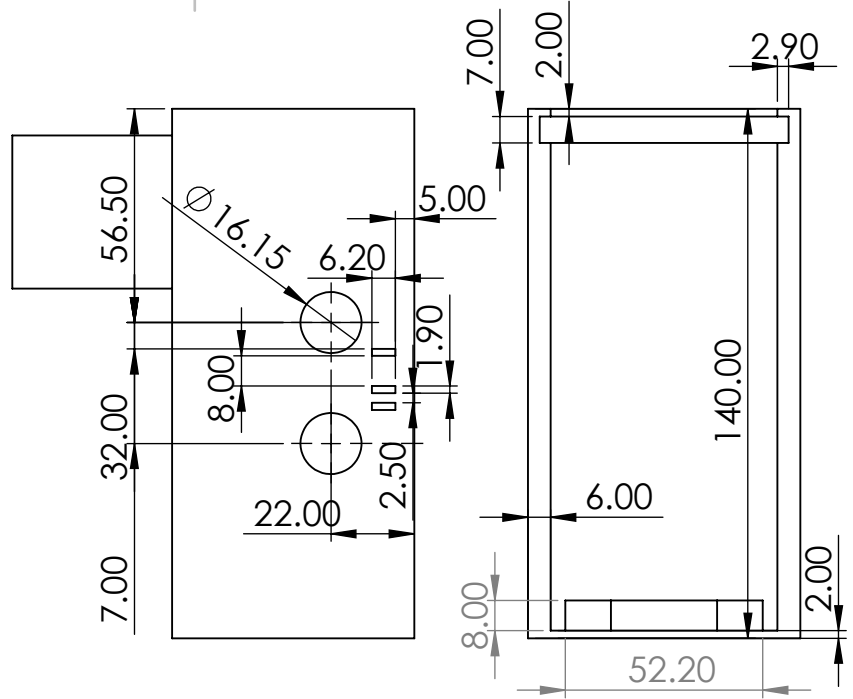
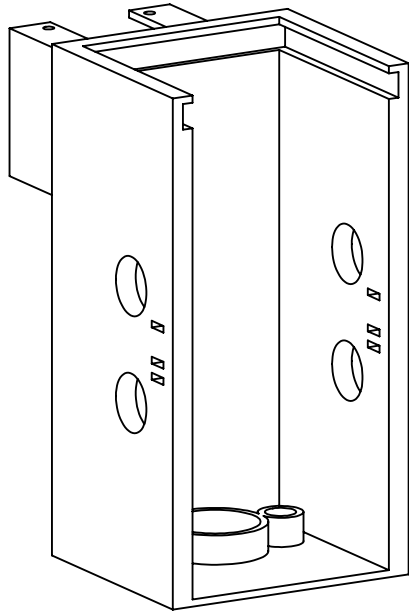
HOJA 1 DE 1 43



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: ACABADO: REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS NO CAMBIE LA ESCALA REVISIÓN 01/11/2024  
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM  
 ACABADO SUPERFICIAL:  
 TOLERANCIAS:  
 LINEAL:  
 ANGULAR:

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

TÍTULO:  
**Bioimpresora**  
 N.º DE DIBUJO  
**accesorio2**  
 A4  
 ESCALA:1:1  
 HOJA 1 DE 1 44



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

ACABADO:

REBARBAR Y  
ROMPER ARISTAS  
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN 01/11/2024

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

TÍTULO:

Bioimpresora

MATERIAL:

PetG

N.º DE DIBUJO

Caja jeringa

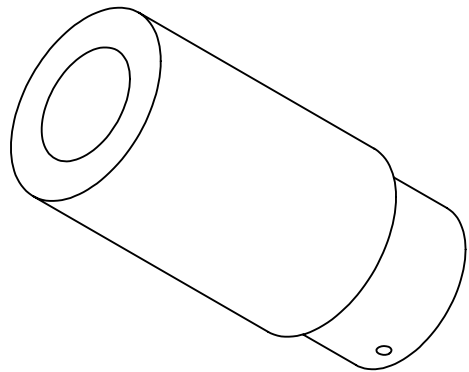
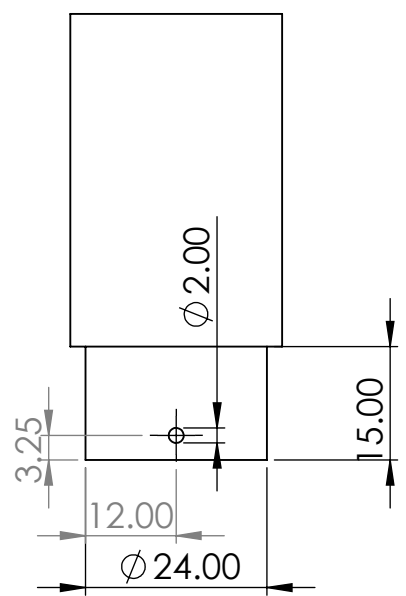
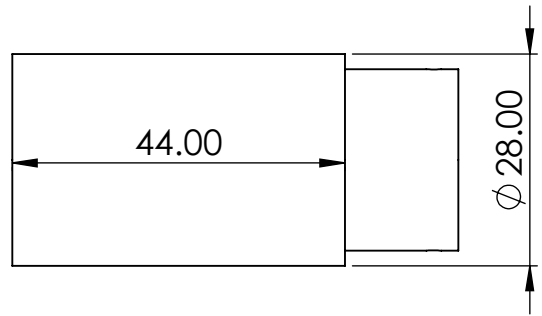
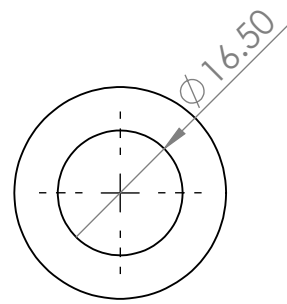
A4

PESO:

ESCALA:1:2

HOJA 1 DE 1

45



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM  
 ACABADO: ACABADO SUPERFICIAL:  
 TOLERANCIAS:  
 LINEAL:  
 ANGULAR:  
 REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS  
 NO CAMBIE LA ESCALA  
 REVISIÓN 01/11/2024

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

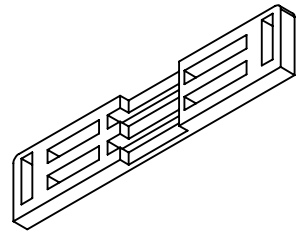
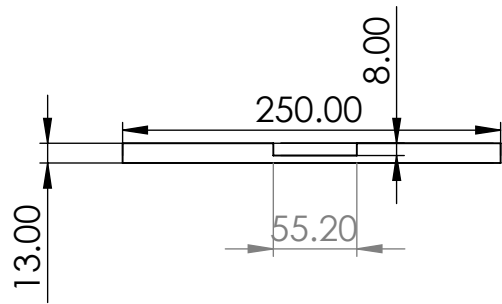
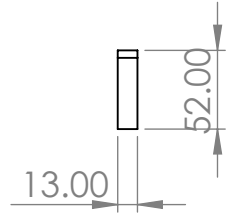
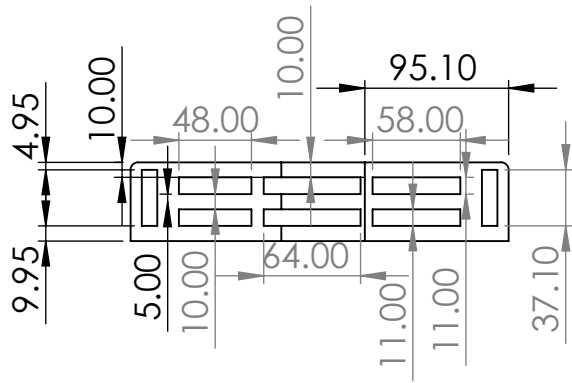
TÍTULO:  
**Bioimpresora**  
 MATERIAL: PetG  
 N.º DE DIBUJO  
**COPLER JERINGA tornillo**  
 ESCALA: 1:1  
 HOJA 1 DE 1 46

F  
E  
D  
C  
B  
A

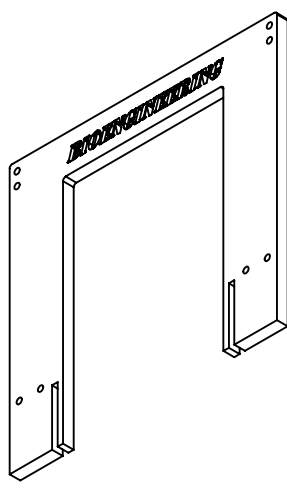
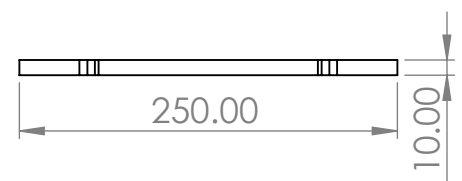
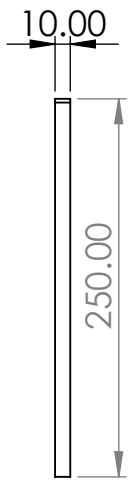
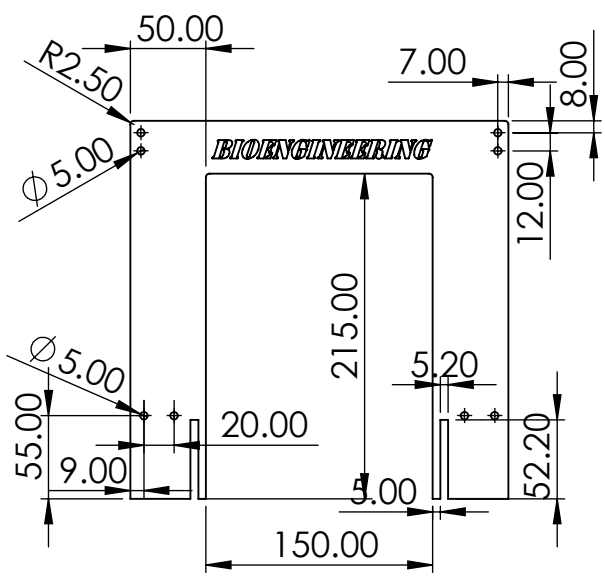
F  
E  
D  
C  
B  
A

4 3 2 1

4 3 2 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN 01/11/2024																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>NOMBRE</th> <th>FIRMA</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DIBUJ. Yocelin D.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>VERIF.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>APROB.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FABR.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CALID.</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			NOMBRE	FIRMA	FECHA	DIBUJ. Yocelin D.			VERIF.			APROB.			FABR.			CALID.			TÍTULO: <b>Bioimpresora</b>		
NOMBRE	FIRMA	FECHA																					
DIBUJ. Yocelin D.																							
VERIF.																							
APROB.																							
FABR.																							
CALID.																							
MATERIAL: <b>PetG</b>			N.º DE DIBUJO <b>NM.SoporteLateral</b>	A4																			
PESO:			ESCALA:1:5	HOJA 1 DE 1	47																		

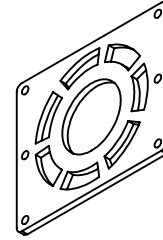
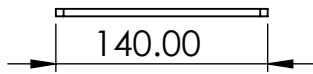
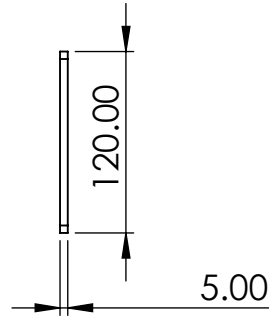
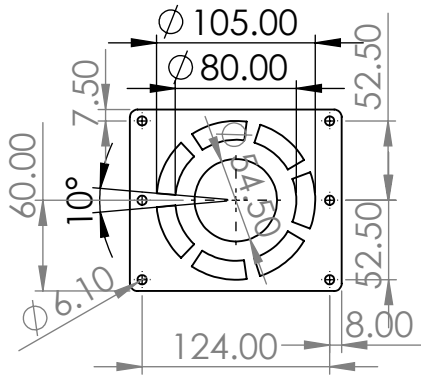


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN 01/11/2024

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

TÍTULO:	Bioimpresora
N.º DE DIBUJO	
MATERIAL:	PetG
ESCALA:1:5	HOJA 1 DE 1 48





4 3 2 1

F

E

D

C

B

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

ACABADO:

REBARBAR Y  
 ROMPER ARISTAS  
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN 01/11/2024

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

TÍTULO:  
**Bioimpresora**

N.º DE DIBUJO  
**Plato Superior**

A4

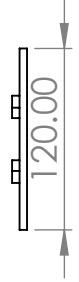
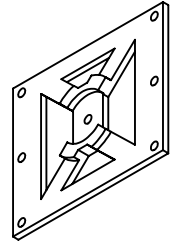
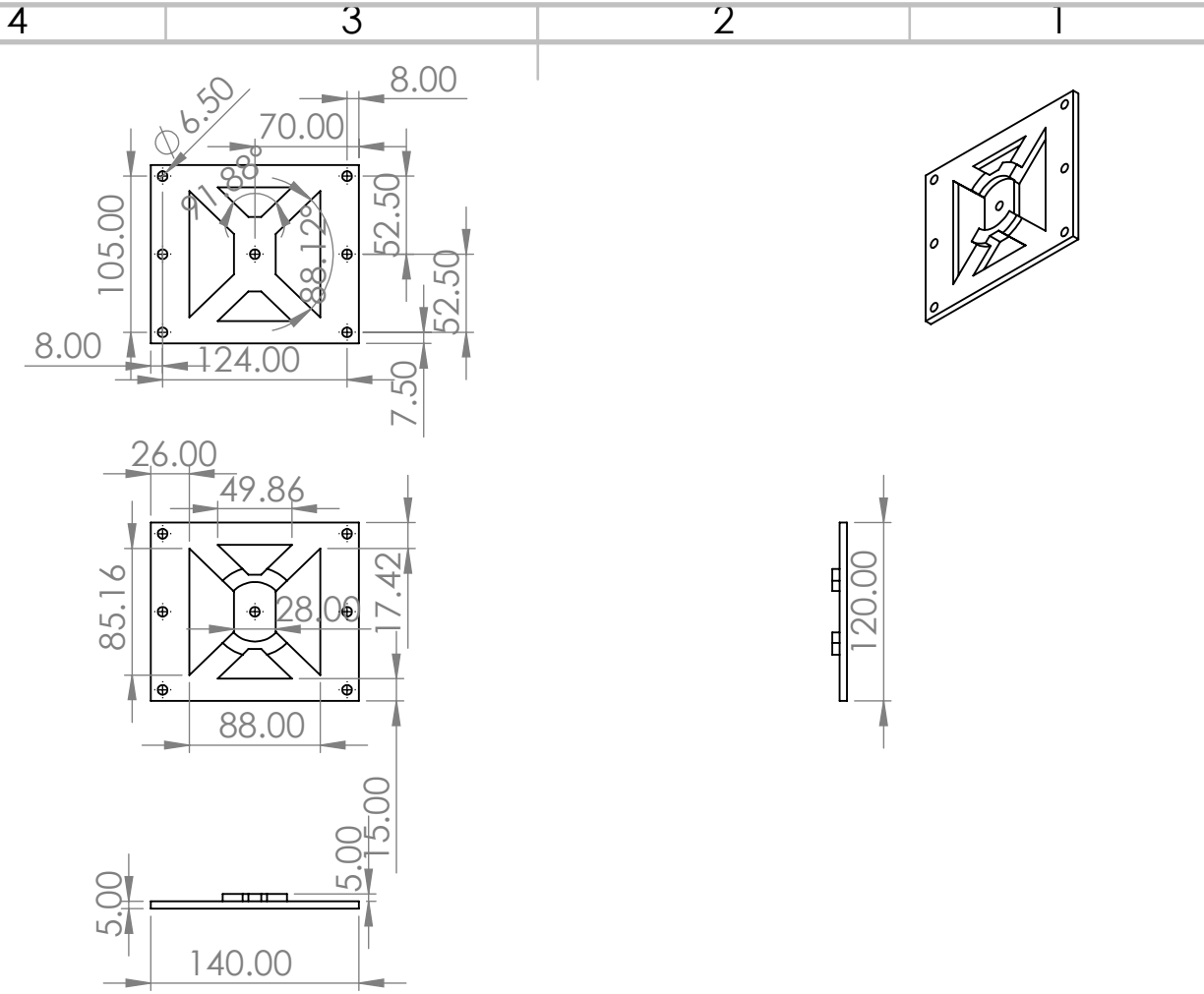
PESO:

ESCALA:1:5

HOJA 1 DE 1 49

A

4 3 2 1

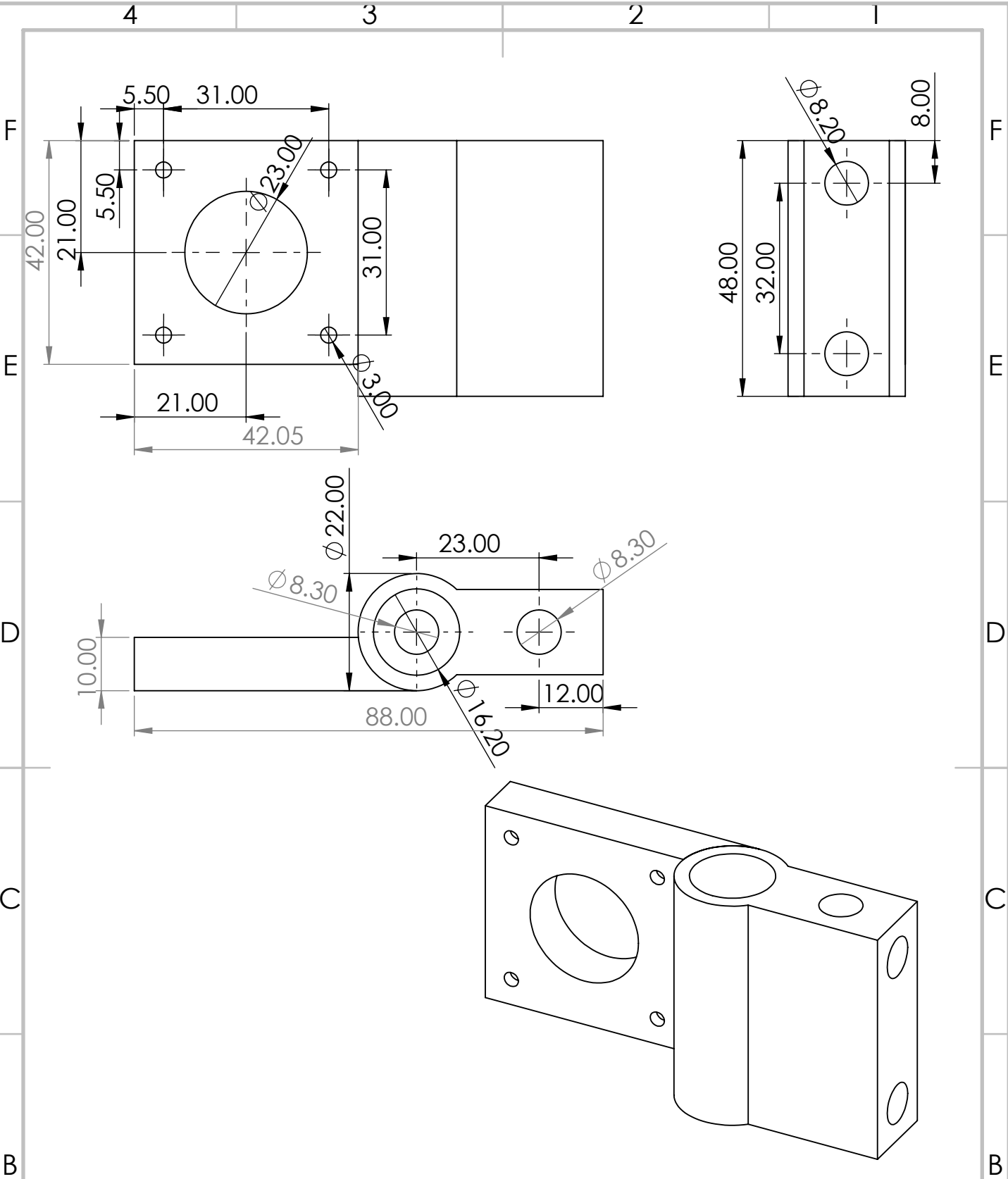


F  
E  
D  
C  
B  
A

F  
E  
D  
C  
B  
A

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN 01/11/2024																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>NOMBRE</th> <th>FIRMA</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DIBUJ. Yocelin D.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>VERIF.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>APROB.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FABR.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CALID.</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			NOMBRE	FIRMA	FECHA	DIBUJ. Yocelin D.			VERIF.			APROB.			FABR.			CALID.			TÍTULO: <b>Bioimpresora</b>		
NOMBRE	FIRMA	FECHA																					
DIBUJ. Yocelin D.																							
VERIF.																							
APROB.																							
FABR.																							
CALID.																							
MATERIAL: <b>PetG</b>			N.º DE DIBUJO <b>Plato_inferior</b>		<b>A4</b>																		
PESO:			ESCALA:1:5		HOJA 1 DE 1 50																		

4 3 2 1



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

ACABADO:

REBARBAR Y  
 ROMPER ARISTAS  
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN 01/11/2024

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

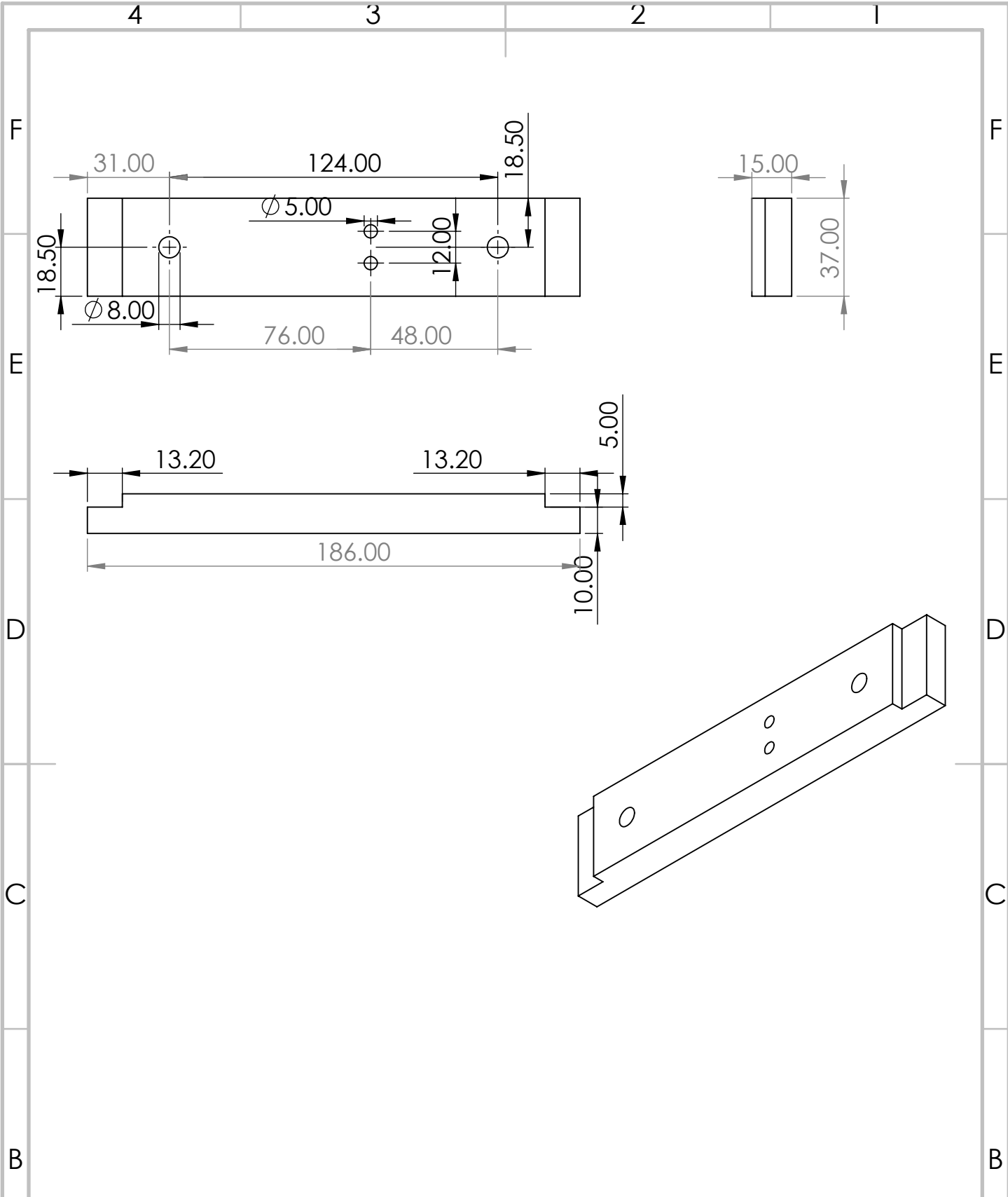
TÍTULO:  
**Bioimpresora**  
 N.º DE DIBUJO  
**Soporte de ejes**  
 A4

MATERIAL:  
**PetG**

PESO:

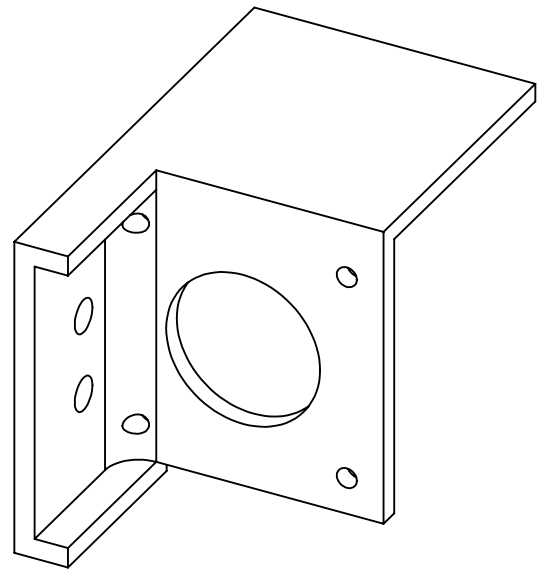
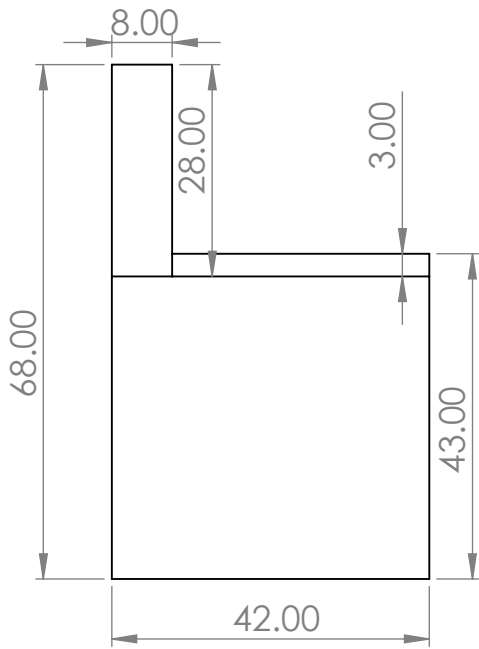
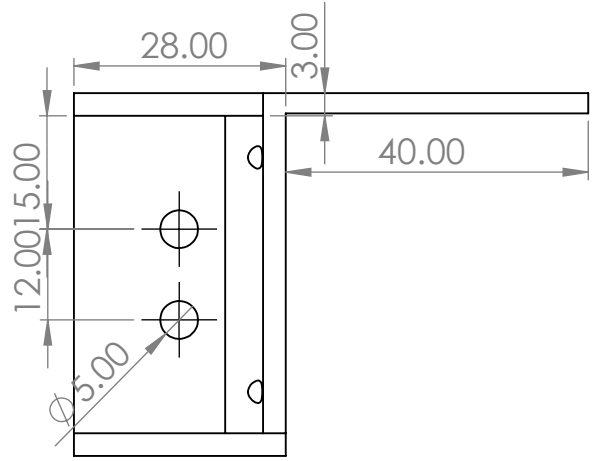
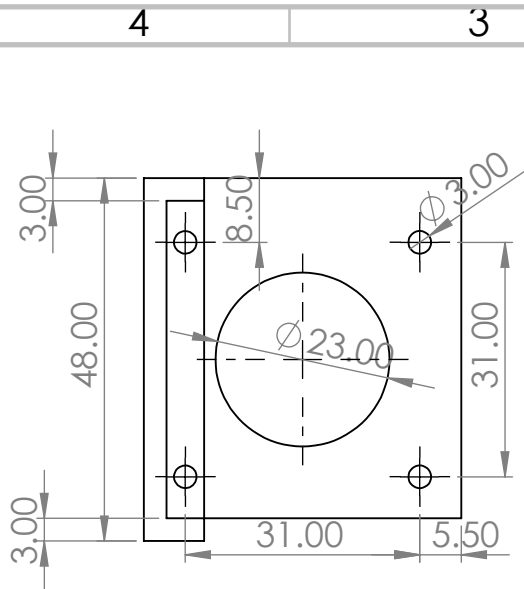
ESCALA:1:1

HOJA 1 DE 1 51



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN 01/11/2024
NOMBRE		FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJ.	Yocelin D.			Bioimpresora	
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.		MATERIAL:		N.º DE DIBUJO	
		PetG		Soporte frontal	
		PESO:		ESCALA:1:2	HOJA 1 DE 1
					52

A A



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

ACABADO:

REBARBAR Y  
 ROMPER ARISTAS  
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN 01/11/2024

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

TÍTULO:

Bioimpresora

MATERIAL:

PetG

N.º DE DIBUJO

Soporte lateral motor

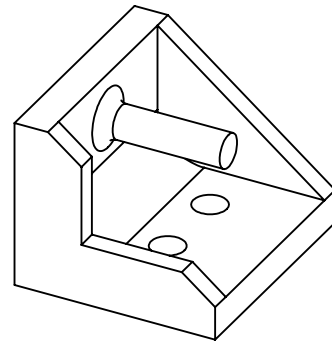
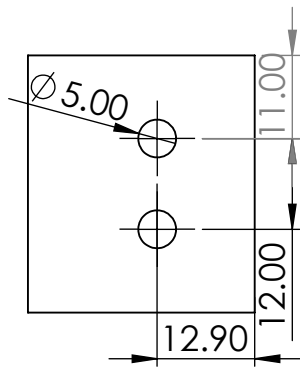
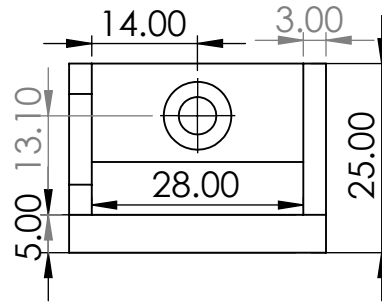
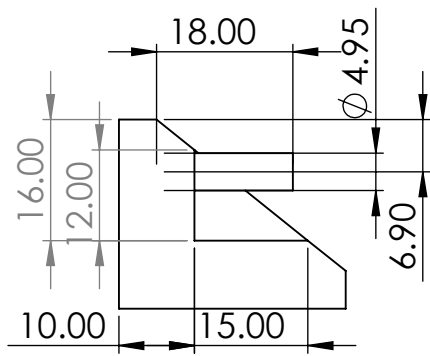
PESO:

ESCALA:1:1

HOJA 1 DE 1

53

A4



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

ACABADO:

REBARBAR Y  
ROMPER ARISTAS  
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN 01/11/2024

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

TÍTULO:

Bioimpresora

MATERIAL:

PetG

N.º DE DIBUJO

Soporte lateral poleas

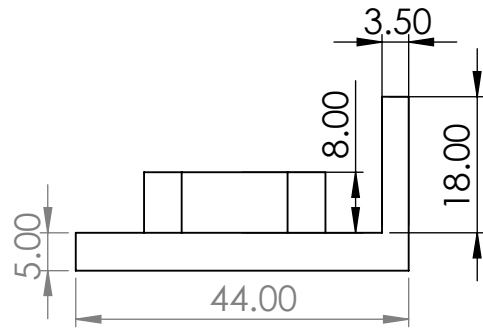
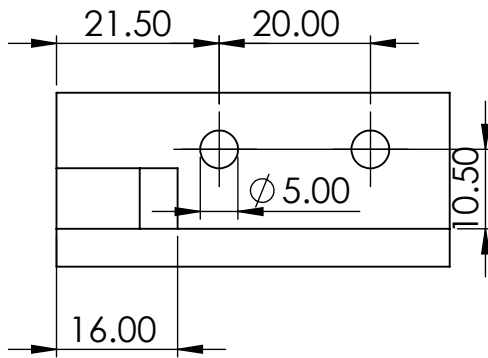
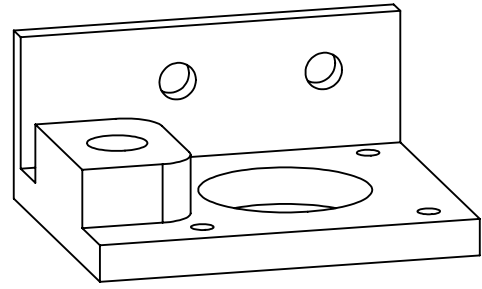
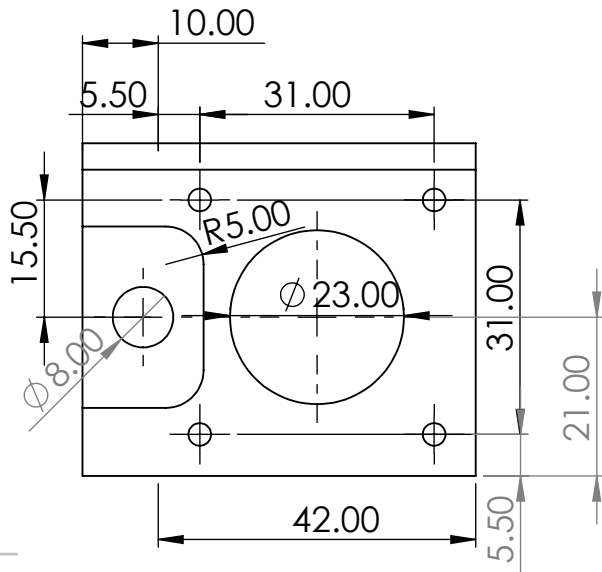
A4

PESO:

ESCALA:1:1

HOJA 1 DE 1

54



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

ACABADO:

REBARBAR Y  
ROMPER ARISTAS  
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN 01/11/2024

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

TÍTULO:

Bioimpresora

MATERIAL:

PetG

N.º DE DIBUJO

Soporte motor 2

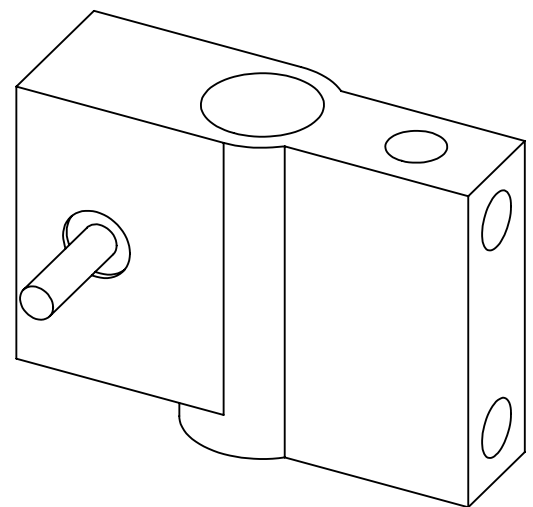
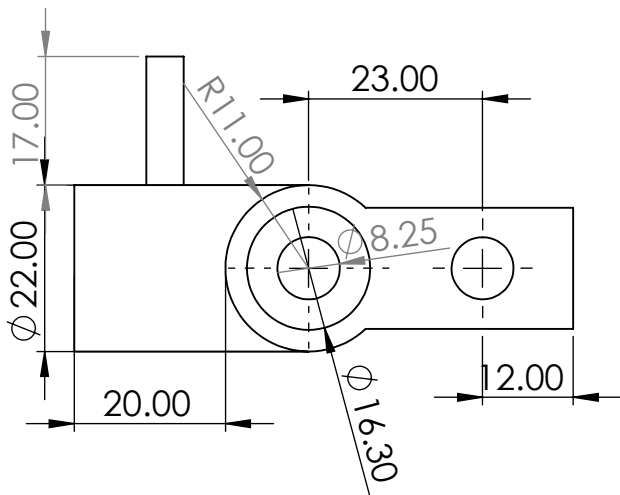
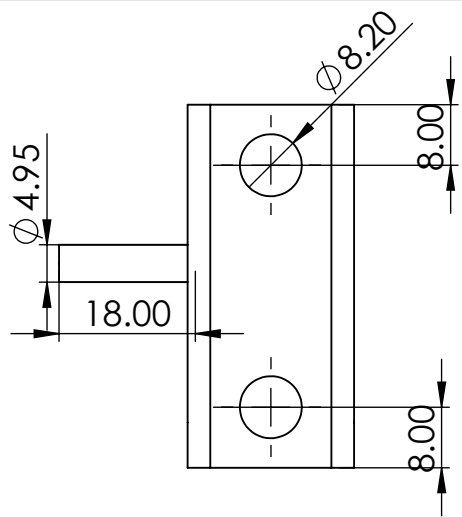
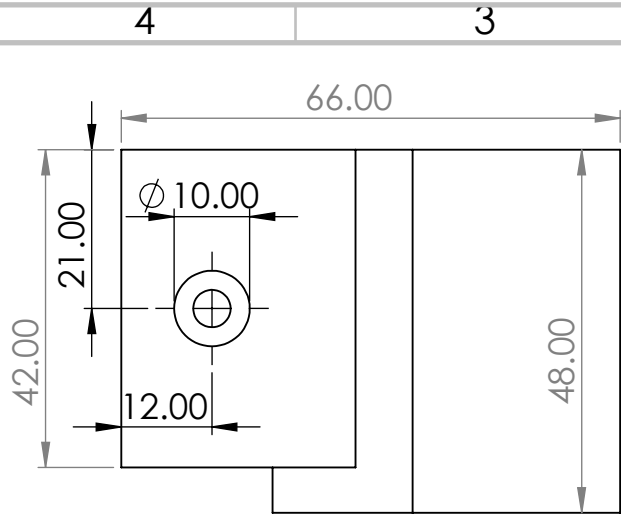
A4

PESO:

ESCALA:1:1

HOJA 1 DE 1

55



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN 01/11/2024
---	----------	---------------------------------------	---------------------	---------------------

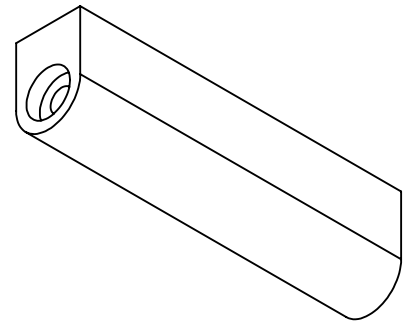
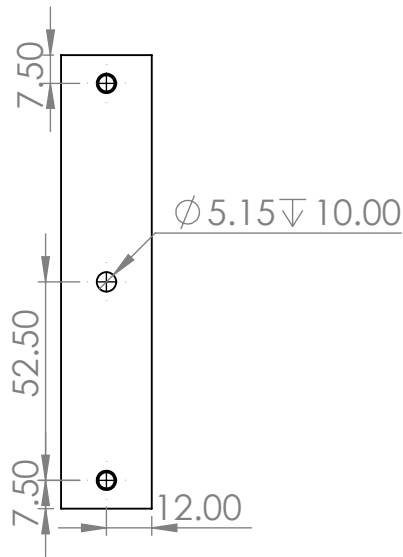
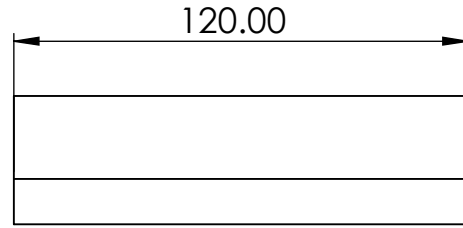
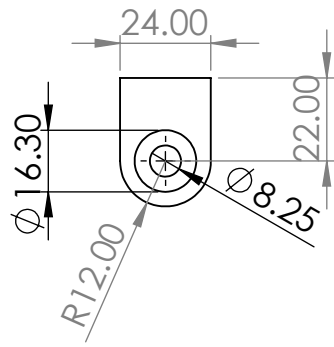
	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Yocelin D.		
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALID.			

TÍTULO:	<b>Bioimpresora</b>
N.º DE DIBUJO	
MATERIAL:	PetG
PESO:	
ESCALA: 1:1	HOJA 1 DE 1 56

**Soporte para polea**

A4





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

ACABADO:

REBARBAR Y  
ROMPER ARISTAS  
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN 01/11/2024

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

TÍTULO:

Bioimpresora

MATERIAL:

PetG

N.º DE DIBUJO

Soporte plato

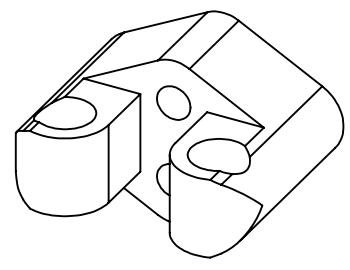
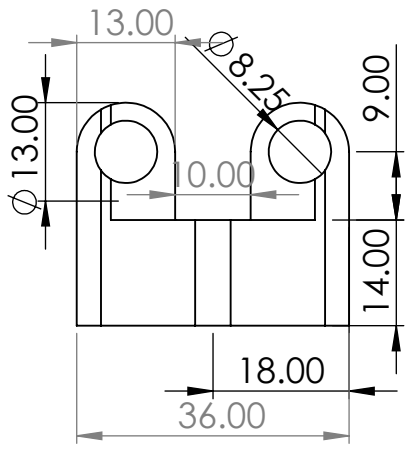
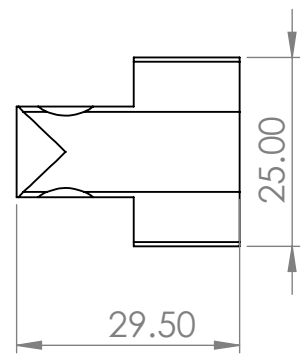
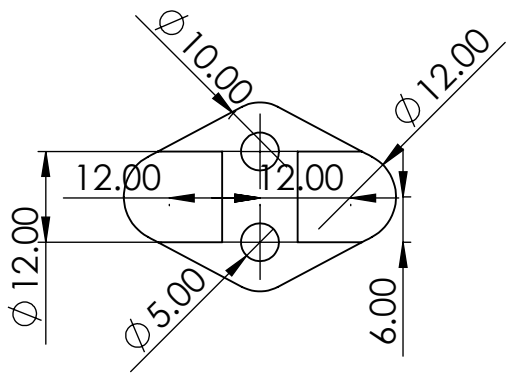
A4

PESO:

ESCALA:1:2

HOJA 1 DE 1

57



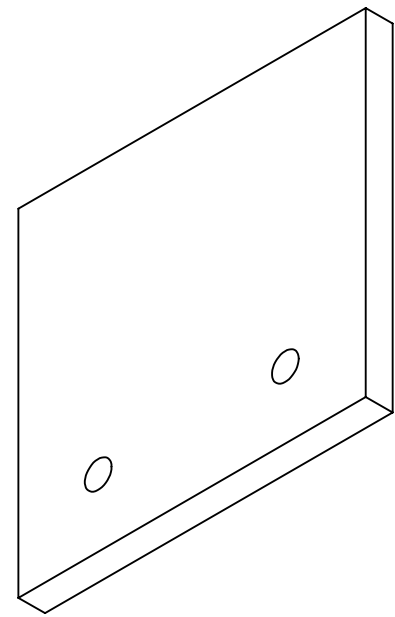
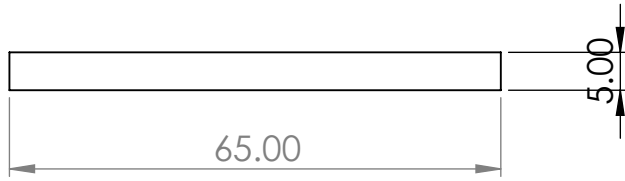
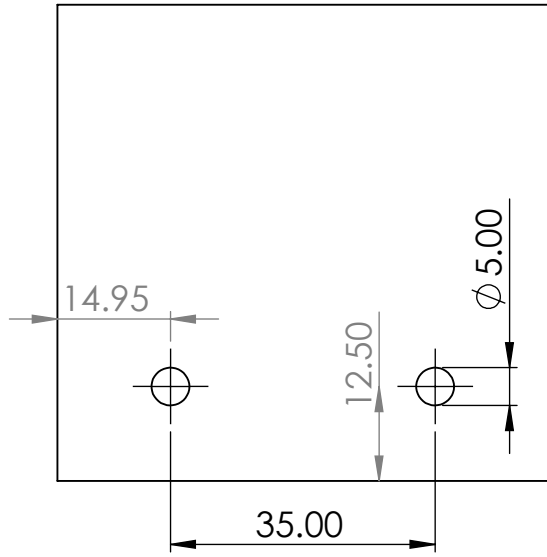
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN 01/11/2024
NOMBRE		FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJ.	Yocelin D.			Bioimpresora	
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.		MATERIAL:		N.º DE DIBUJO	
		PetG		Sujeccion	
		PESO:		ESCALA:1:1	HOJA 1 DE 1
					58

F  
E  
D  
C  
B  
A

F  
E  
D  
C  
B  
A

4 3 2 1

4 3 2 1



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

ACABADO:

REBARBAR Y  
 ROMPER ARISTAS  
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

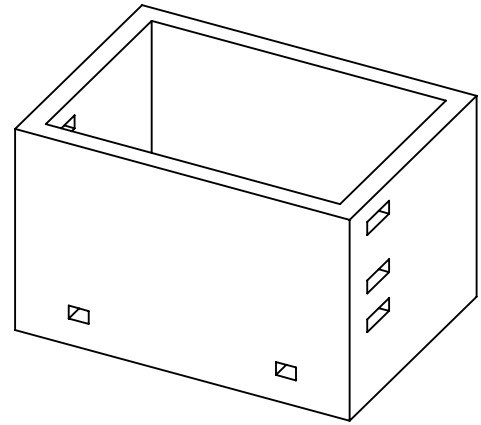
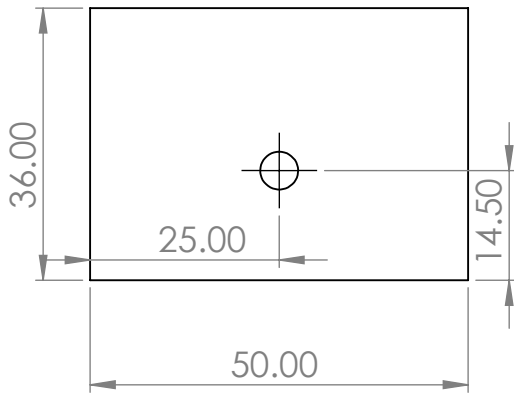
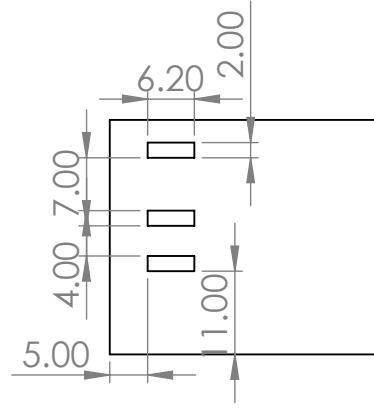
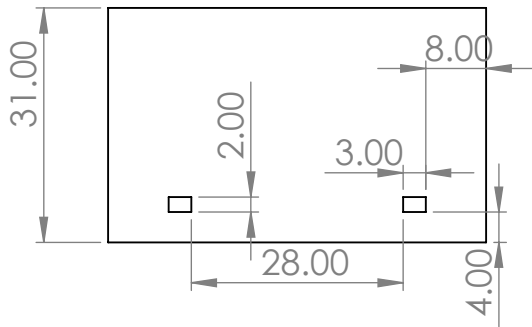
REVISIÓN 01/11/2024

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

TÍTULO:	
Bioimpresora	
N.º DE DIBUJO	A4
<b>TOPE TPRNILLOS</b>	
PESO:	ESCALA:1:1
HOJA 1 DE 1	59

A

A



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

ACABADO:

REBARBAR Y  
 ROMPER ARISTAS  
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN 01/11/2024

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

TÍTULO:	Bioimpressora	
N.º DE DIBUJO	Union	A4
PESO:	ESCALA:1:1	HOJA 1 DE 1 60

A

A

# Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado  
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



A quien corresponda,

Por este medio, quien abajo firma, bajo protesta de decir verdad, declara lo siguiente:

- Que presenta para revisión de originalidad el manuscrito cuyos detalles se especifican abajo.
- Que todas las fuentes consultadas para la elaboración del manuscrito están debidamente identificadas dentro del cuerpo del texto, e incluidas en la lista de referencias.
- Que, en caso de haber usado un sistema de inteligencia artificial, en cualquier etapa del desarrollo de su trabajo, lo ha especificado en la tabla que se encuentra en este documento.
- Que conoce la normativa de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en particular los Incisos IX y XII del artículo 85, y los artículos 88 y 101 del Estatuto Universitario de la UMSNH, además del transitorio tercero del Reglamento General para los Estudios de Posgrado de la UMSNH.

Datos del manuscrito que se presenta a revisión		
<b>Programa educativo</b>	MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA MECÁNICA	
<b>Título del trabajo</b>	"DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D PARA SER UTILIZADA EN INGENIERÍA TISULAR OSTEOCONDAL"	
	<b>Nombre</b>	<b>Correo electrónico</b>
<b>Autor/es</b>	YOCELIN DIAZ CUADROS	1548037c@umich.mx
<b>Director</b>	DR. MIGUEL VILLAGOMEZ GALINDOO	miguel.villagomez@umich.mx
<b>Codirector</b>	DR. JUAN FELIPE SORIANO PEÑA	juan.soriano@umich.mx
<b>Coordinador del programa</b>	DR. MIGUEL VILLAGOMEZ GALINDO	mae.cs.ingenieria.mecanica@umich.mx

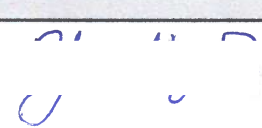
Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Asistencia en la redacción	NO	

# Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado  
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Traducción al español	SI	TRADUCTOR DE GOOGLE
Traducción a otra lengua	NO	
Revisión y corrección de estilo	NO	
Análisis de datos	NO	
Búsqueda y organización de información	NO	
Formateo de las referencias bibliográficas	NO	
Generación de contenido multimedia	NO	
Otro	NO	

Datos del solicitante	
Nombre y firma	YOCELIN DIAZ CUADROS 
Lugar y fecha	MORELIA, MICHOACAN 20/11/2024

# YOCELIN DIAZ CUADROS

## DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D PARA SER UTILIZADA EN INGENIERÍA TISULAR OSTEOCONDRALE.pdf

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:410479824

Fecha de entrega

29 nov 2024, 7:59 a.m. GMT-6

Fecha de descarga

29 nov 2024, 8:00 a.m. GMT-6

Nombre de archivo

DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D PARA SER UTILIZADA EN INGENIERÍA TISULAR OSTEOCONDRALE.pdf

Tamaño de archivo

3.1 MB

59 Páginas




7,461 Palabras

45,622 Caracteres

# 19% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

## Fuentes principales

- 18%  Fuentes de Internet
- 9%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Marcas de integridad

### N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.