# UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

## Colegio de Ciencias e Ingenierías

# Desarrollo e Implementación de un extrusor de materiales bio-compatibles para impresión 3D

**Carlos Andrés Cruz Sánchez**
**Martín Andrés Rueda Rodríguez**
**Daniel Alejandro Tenesaca Enríquez**
**Martín Sebastián López Ballesteros**

**Ingeniería Mecánica**

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de Ingeniero Mecánico

Quito, 20 de diciembre de 2024

# UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**Desarrollo e Implementación de un extrusor de materiales bio-compatibles para impresión 3D**


## Carlos Andrés Cruz Sánchez

## Martín Andrés Rueda Rodríguez

## Daniel Alejandro Tenesaca Enríquez

## Martín Sebastián López Ballesteros


**Nombre del profesor, Título académico** **Patricio Chiriboga, D.Sc.**

Quito, 20 de diciembre de 2024

# DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

| | |
|---|---|
| Nombres y apellidos: | Andrés Cruz; Martín Rueda; Martín López; Daniel Tenesaca |
| Código: | 00210494; 00132766; 00323230; 00212378 |
| Cédula de identidad: | 1803964319; 1725051278; 1726496746; 1752808491 |
| Lugar y fecha: | Quito, 20 diciembre de 2024 |

# ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

**Nota:** El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en http://bit.ly/COPETheses.

# UNPUBLISHED DOCUMENT

**Note:** The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on http://bit.ly/COPETheses.

## RESUMEN

Se ha diseñado e implementado un sistema de extrusión para la deposición de materiales biocompatibles utilizando una impresora 3D. El objetivo principal es crear un proceso óptimo y seguro para la deposición ordenada de sustancias cerámicas, crucial para fines médicos y de producción sofisticada. El sistema se basa en la extrusión por tornillo, donde un compresor ayuda a mantener una presión y un flujo constantes de la sustancia. Se mueve mediante un motor a 300 rotaciones por minuto Los cálculos del sistema indican una tasa de descarga volumétrica de 1069,2 $mm^3/s$ y una presión de extrusión de 7,38 psi, adecuada para la aplicación de recubrimientos uniformes. El depósito de alimentación tiene una capacidad de 0,07987 $m^3$, con un diseño que permite una fuerza máxima de 0.528 MPa y un factor de seguridad de 757.6, lo que garantiza la durabilidad durante el funcionamiento

La base de la extrusora y sus componentes se diseñaron para soportar las tensiones y oscilaciones de la maquinaria, asegurando una rigidez adecuada manteniendo una baja masa Los cálculos de la maquinaria sugieren un límite de tensión superior de 117,5 MPa con un índice de seguridad de 2, lo que valida la durabilidad de la estructura en medio de sus requisitos funcionales. El diseño del sistema asegura la estabilidad y precisión para la extrusión de materiales biocompatibles

Los hallazgos corroboran la viabilidad tecnológica del aparato y subrayan su aplicabilidad al bio-ensamblaje y la fabricación de piezas médicas. Esta iniciativa constituye un avance sustancial en el campo de las técnicas de impresión 3D que aplican compuestos biológicos, promoviendo un sistema robusto y versátil adecuado para aplicaciones de investigación y procesos de fabricación Se sugiere ajustar la configuración para reducir costes y ampliar su alcance de mercado en el futuro.

Palabras clave: Bio-impresión, Viabilidad, Sistema de Extrusión, Recubrimientos, Materiales Biocompatibles, Tecnología.

## ABSTRACT

An extrusion system for the deposition of biocompatible materials has been designed and implemented using a 3D printer. The main objective is to create an optimal and safe process for the orderly deposition of ceramic substances, crucial for medical and sophisticated production purposes. The system is based on screw extrusion, where a compressor helps to maintain a constant pressure and flow of the substance.

It is driven by a motor at 300 rotations per minute. The system calculations indicate a volumetric discharge rate of 1069.2 $mm^3/s$ and an extrusion pressure of 7.38 psi, suitable for the application of uniform coatings. The feed tank has a capacity of 0.07987 $m^3$, with a design that allows for a maximum force of 0.638 MPa and a safety factor of 627.4, ensuring durability during operation

The extruder base and its components were designed to withstand the stresses and oscillations of the machinery, ensuring adequate rigidity while maintaining low mass. Machinery calculations suggest an upper stress limit of 117.5 MPa with a safety index of 2, validating the durability of the structure amid its functional requirements. The system design ensures stability and precision for the extrusion of biocompatible materials

The findings corroborate the technological feasibility of the apparatus and underline its applicability to bio-assembly and the manufacturing of medical parts. This initiative represents a substantial advance in the field of 3D printing techniques that apply biological compounds, promoting a robust and versatile system suitable for research applications and manufacturing processes. It is suggested to adjust the configuration to reduce costs and expand its market reach in the future.

Keywords: Bio-printing, Feasibility, Extrusion System, Coatings, Biocompatible Materials, Technology.

# TABLA DE CONTENIDO

Executive Summary ..... 18

1. Introducción ..... 20

1.1 Planteamiento del problema y especificación del proyecto ..... 22

1.1.1 Revisión de la literatura. ..... 24

1.1.2 Biomateriales. ..... 25

Procesos. ..... 27

1.2 Concepto de diseño y selecciones ..... 30

Subsistema General 1 – Método de deposición. ..... 30

Evaluación de los resultados Subsistema General 1. ..... 33

Subsistema General 2 – Material a extruir. ..... 33

Evaluación de los resultados Subsistema General 2. ..... 35

Subsistema 1.1 – Tipo de extrusor. ..... 36

Evaluación de los resultados Subsistema 1.1. ..... 37

Subsistema 1.2 – Control de movimiento. ..... 38

Evaluación de los resultados Subsistema 1.2. ..... 40

Subsistema 1.3 – Sistema de alimentación. ..... 40

Evaluación de los resultados Subsistema 1.3. ..... 42

Reporte de diseño. ..... 42

1.2.1 Gestión de Proyectos. ..... 43

1.2.2 Estándares de ingeniería ..... 45

2. Materiales y métodos ..... 47

2.1 Selección de materiales y componentes ..... 47

2.1.1 Diagramas de Flujo. ..... 47

Tornillo Extrusor. ..... 47

Carcasa del Extrusor. ..... 48

Sistema de alimentación. ..... 50

Soporte de alimentador. ..... 51

2.2 Diseño para la fabricación ..... 53

Tornillo Extrusor. ..... 53

Extrusor. ..... 53

Tanque de alimentación. ..... 54

Soporte del tanque de alimentación. ..... 55

3. Resultados y Discusión ..... 56

3.1 Informe de diseño ..... 56

Tornillo extrusor. ..... 56

Carcaza del extrusor. ..... 56

Tanque alimentador y compresor. ..... 56

Soporte del tanque alimentador. ..... 57

Análisis de ingeniería (cálculos, simulaciones y experimentos) ..... 57

Cálculos..... 57

Simulaciones. ..... 82

Simulación estructural para el soporte del alimentador. ..... 82

Simulación estructural de deformación del extrusor ..... 83

Simulación estructural de deformación del tanque de almacenamiento ..... 84

Simulación de continuidad del flujo del fluido en el extrusor ..... 85

Simulación de la deformación dada la frecuencia en el extrusor..... 85

Experimentos. ..... 86

3.2 Plan de pruebas de prototipos ..... 87

Datos de impresión con variación de velocidad. ..... 87

Datos de impresión con variación de boquilla. ..... 89

Datos de impresión con diferentes geometrías planares. ..... 91

Pruebas de las 5 diferentes probetas ..... 93

Prueba de altura..... 96

Resultado del test de ¨Moais¨..... 99

3.3 Seguridad a través del diseño..... 102

Definición de los puntos realizados en el análisis de riesgos. ..... 102

Manual de Mantenimiento y Operación ..... 105

Resultados, Discusión y Conclusiones ..... 105

Resultados. ..... 105

Resultados de las pruebas realizadas. ..... 106

Pruebas de velocidad..... 106

Pruebas de variación de boquillas..... 108

Prueba de las 5 probetas..... 109

Test de alturas. .....111

Test de los ¨Moais¨..... 112

Discusión..... 114

Conclusión. ..... 115

3.4 Trabajo a Futuro..... 116

3.4.1 Nuevas pruebas de funcionamiento con otros materiales biocompatibles..... 116

3.4.2 Implementación de un sistema de aislamiento para la impresión..... 117

3.4.3 Adaptación del sistema de extrusión a otros tipos de impresoras..... 117

3.4.4 Desarrollo de un material biocompatible de fácil accesibilidad. ..... 117

Referencias..... 119

Apéndices..... 123

Apéndice – Planos..... 123

Apéndice – Hojas de procesos ..... 124

Apéndice – Manejo de Proyecto ..... 129

ANEXO 1. Cronograma de Actividades, Diagrama de Gantt. ..... 129

Appendix Binder..... 130

Manual de Mantenimiento y Operación ..... 130

Facturas & Materiales ..... 131

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Polymer scaffolds fabricated using 3D printing for use in tissue engineering. ..... 26

Tabla 2. Subsistema General 1 – Método de deposición ..... 32

Tabla 3. Subsistema General 2 – Material a extruir ..... 34

Tabla 4. Subsistema 1.1 – Tipo de extrusor ..... 36

Tabla 5. Subsistema 1.2- Control de movimiento ..... 39

Tabla 6. Subsistema 1.3-Sistema de alimentación ..... 41

Tabla 7. Data sheet Stepper Motor 17HS24-2104S ..... 60

Tabla 8. Valores iniciales para diseñar el tanque alimentador ..... 70

Tabla 9. Resultados de vibraciones en el sistema extrusor ..... 82

Tabla 10. Velocidad de deposición de 12 mm/s ..... 88

Tabla 11. Velocidad de deposición de 15 mm/s ..... 88

Tabla 12. Boquillas de 4 mm de diámetro ..... 89

Tabla 13. Boquilla de 2mm de diámetro ..... 89

Tabla 14. Impresión de geometría circular ..... 91

Tabla 15. Impresión de geometría cuadrada ..... 92

Tabla 16. Medidas de las 5 geometrías ..... 93

Tabla 17. Test de Alturas ..... 97

Tabla 18. Errores porcentuales en el test de alturas ..... 97

Tabla 19. Test de Moais ..... 99

Tabla 20. Errores presentados en los diferentes Moais ..... 100

Tabla 21. Configuración de impresiones ..... 100

Tabla 22. Análisis de los riesgos presentes del proyecto ..... 104

Tabla 23. Errores de impresión & velocidad de impresión ..... 107

Tabla 24. Errores de impression & diámetros de boquilla ..... 108

Tabla 25. Valores de Calidad & Estabilidad para las impresiones en el test de boquillas ..... 109

Tabla 26. Hoja de procesos para el tornillo extrusor ..... 124

Tabla 27. Hoja de procesos para el extrusor ..... 126

Tabla 28. Hoja de procesos para el tanque de alimentación ..... 127

Tabla 29. Hoja de procesos para el soporte del tanque de alimentación ..... 128

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de Extrusión de material ..... 30

Figura 2. Diagrama deposición por goteo ..... 31

Figura 3. Diagrama impresión asistida por láser ..... 31

Figura 4. Materiales para bio impresión ..... 34

Figura 5. Tipos de extrusores para bio impresión. a) Corresponde a un extrusor de pistón mientras que, b) Corresponde a un extrusor de tornillo ..... 36

Figura 6. Estructura de un motor Stepper y un Servo motor ..... 38

Figura 7. Diseño del Sistema de Extrusión ..... 43

Figura 8. Diagrama de flujo para el tornillo extrusor ..... 48

Figura 9. Diagrama de flujo para la carcasa del extrusor ..... 49

Figura 10. Diagrama de flujo para el sistema de alimentación ..... 51

Figura 11. Diagrama de flujo para el soporte de alimentación ..... 52

Figura 12. Sección del tornillo extrusor ..... 53

Figura 13. Extrusor ..... 54

Figura 14. Tanque de alimentación ..... 54

Figura 15. Soporte del tanque de alimentación ..... 55

Figura 16. Diagrama tornillo sin fin con dimensiones ..... 59

Figura 17. Tanque alimentador ..... 69

Figura 18. Mesa de soporte del alimentador ..... 72

Figura 19. Sistema de soporte del extrusor ..... 73

Figura 20. Imagen referencial de un extrusor..... 77

Figura 21. Simulación estructural del soporte usando Von Misses ..... 83

Figura 22. Deformación estructural del extrusor..... 83

Figura 23. Deformación estructural del tanque de almacenamiento ..... 84

Figura 24. Presión interna ejercida por el fluido en el extrusor ..... 85

Figura 25. Vibración máxima del sistema ..... 86

Figura 26. Prueba de velocidad a 15 mm/s ..... 87

Figura 27. Prueba de velocidad a 12 mm/s ..... 88

Figura 28. Impresión usando boquilla de 2 mm ..... 90

Figura 29. Impresión usando boquilla de 4mm ..... 91

Figura 30. Geometría Circular..... 92

Figura 31. Geometría cuadrada ..... 93

Figura 32. Probeta impresa número 1 ..... 94

Figura 33. Probeta impresa número 2 ..... 95

Figura 34. Probeta impresa número 3 ..... 95

Figura 35. Probeta impresa número 4 ..... 96

Figura 36. Probeta impresa número 5 ..... 96

Figura 37. Prueba de altura, cordón y diámetro ..... 99

Figura 38. Calidad estructural de los ¨Moais¨ ..... 101

Figura 39. Calidad superficial de los ¨Moais¨ ..... 101

Figura 40. Velocidad de impresión vs. Número de impresión ..... 107

Figura 41. Diámetro de boquilla vs. Número de impresión ..... 108

# EXECUTIVE SUMMARY


**Objetivo general:**

Desarrollar un sistema de extrusión eficiente y seguro, el cual se lo puede integrar a una impresora 3D convencional, debe tener la capacidad de procesar materiales biocompatibles como cerámicos para aplicaciones biomédicas y el desarrollo avanzado de procesos de fabricación.

**Metodología:**

El proyecto se basó en el diseño y análisis de un sistema de extrusión por tornillo sin fin, asistido por un compresor para garantizar un flujo constante de material. El tornillo, de 10 mm de diámetro, 150 mm de longitud y paso de 9 mm, es accionado por un motor paso a paso de 300 RPM. Los cálculos estructurales y funcionales fueron realizados para validar la operación segura y eficiente del sistema.

El tanque alimentador y el soporte del extrusor fueron diseñados considerando esfuerzos mecánicos, factores de seguridad y estabilidad. El tanque tiene un volumen de 0.07987 $m^3$, un espesor de 3 mm y un factor de seguridad de 627.4. El extrusor alcanzó un esfuerzo máximo de 117.5 MPa con un factor de seguridad de 2.

**Resultados de importancia:**

- Caudal volumétrico: 1069.2 $mm^3/s$.
- Presión de salida: 7.38 psi.
- Velocidad de flujo dentro del extrusor: 2.6 mm/s.
- Esfuerzo en la mesa del tanque alimentador: 0.638 MPa.
- Factor de seguridad del tanque alimentador: 627.4.

- Peso total del soporte del extrusor: 7.655 N.
- Factor de seguridad del extrusor: 2.

**Conclusiones:**

El diseño del sistema logra cumplir con los diferentes requerimientos de precisión, estabilidad y seguridad para la extrusión de materiales biocompatibles. Las dimensiones de los componentes dan a favor que su funcionamiento0 sea eficiente bajo las condiciones de operación previstas. Este sistema beneficia con una solución viable para aplicaciones en bio-impresión 3D, particularmente en los sectores de la investigación y biomedicina.

**Recomendaciones:**

- Es importante que se optimice el diseño para lograr una reducción de costos y peso sin que se comprometa la seguridad.
- Explorar la integración de distintos y nuevos materiales biocompatibles para ampliar las aplicaciones del sistema.
- Implementar pruebas experimentales para una validación del desempeño en condiciones reales.

# 1. INTRODUCCIÓN

En el año 2022 se logró imprimir un implante de oreja creado a partir de células humanas en Estados Unidos. Actualmente, los biomateriales y la bio-impresión 3D están teniendo un gran impacto en el ámbito de la biomedicina por su amplio campo de aplicaciones entre los cuales se encuentran las impresiones de órganos completos como tejidos para tratar enfermedades urológicas crónicas[1], vasos sanguíneos artificiales[2], andamios que permiten los crecimientos celulares óseos[3], entre otros. Estos son un aporte para resolver importantes problemas de salud y estética humana[4]. Algunos de los materiales generales para este tipo de impresiones son polímeros, cerámicos e incluso bio-tintas, los cuales usando diferentes métodos de bio-impresión pueden tener diferentes fines ya mencionados anteriormente.

Actualmente, se conoce que este tipo de procedimientos pueden tener limitaciones y dependencias que dificultan su desarrollo, es decir, al momento de realizar la bio-impresión de algún órgano o tejido, no se puede garantizar por completo su biocompatibilidad, así como su funcionamiento adecuado con respecto al huésped que lo requiere. Estas limitaciones se presentan debido al reciente desarrollo de la bio-impresiones 3D.

Al ser una tecnología relativamente nueva, la bio-impresión 3D es muy costosa y de difícil acceso para las personas. Este método de impresión presenta varias ventajas en el ámbito de la medicina tanto enfocada en humanos como en animales, por lo que su acceso masivo es algo urgente para la sociedad. En este proyecto se pretende realizar un sistema de bio-impresión

[1] The application of 3D bioprinting in urological diseases – Kailei Xu, et al.
[2] 3D Bioprinting Methods and Techniques: Applications on Artificial Blood Vessel Fabrication – Theodore G. Papaioannou, et al
[3] Biomaterials for bone tissue engineering – Molly M. Stevens
[4] Biomaterials for bone tissue engineering – Molly M. Stevens

asequible y replicable para poder facilitar el estudio de esta tecnología en la Universidad San Francisco de Quito, así como en la sociedad ecuatoriana.

Esto proporcionará un primer paso para varias mejoras al sistema de bio-impresión a lo largo de los años hasta llegar a un modelo optimizado y comercial debido a su bajo costo en comparación con otros modelos del mercado. Se tiene principalmente el enfoque en el sector de la salud para este proyecto ya que esta tecnología podría presentar muchas soluciones rápidas y de bajo costo a varios problemas relacionados con la medicina y mejorar el estilo de vida de personas y animales. Esto no quiere decir que no se pueda aplicar esta tecnología en otros ámbitos.

El enfoque de este proyecto es desarrollar un sistema de extrusión para biomateriales que se adapte a una impresora 3D convencional. Se aplicará un sistema de extrusión usando un tornillo sin fin como principal herramienta de empuje para el biomaterial, ya que esta opción presenta una eficiencia considerable en su funcionamiento, así como un costo relativamente bajo comparando con otras tecnologías similares en el mercado. Para la construcción del sistema de extrusión se va a emplear acero inoxidable ya que este material cumple con estándares de higiene para este tipo de aplicaciones. En el caso del material a imprimir se usará una composición de un bio-cerámico con partículas de calcio inerte el cual cuenta con características similares a los bio-materiales médicos usados actualmente para la impresión de tejidos óseos.

Se espera que al finalizar el proyecto se cuente con un sistema de extrusión económico, que sea capaz de trabajar eficientemente con biomateriales, que presente un método fácil para adaptar a diferentes impresoras y permita ser replicado para mejorarlo continuamente en futuros proyectos.

## 1.1 Planteamiento del problema y especificación del proyecto

La motivación detrás del desarrollo de este proyecto radica en la necesidad de mejorar los estudios celulares mediante la creación de un adaptador 3D que permita la impresión de andamios biocompatibles. Este avance facilitará el crecimiento celular controlado y contribuirá significativamente al estudio y análisis de tejidos. El problema radica en la necesidad de modificar una impresora 3D existente o desarrollar una nueva que sea capaz de trabajar con biomateriales específicamente diseñados o seleccionados para la producción de una prótesis. Estos biomateriales deben cumplir con los estándares médicos y de ingeniería para garantizar que las piezas producidas sean seguras, duraderas y adaptadas a las necesidades de cada paciente. Para poder solucionar estos problemas se va a identificar la siguiente lista de requerimientos los cuales va a cumplir el proyecto:

1. Biocompatibilidad del material.

El polímero utilizado debe ser biocompatible, cumpliendo con las normativas y regulaciones médicas para garantizar que las piezas impresas no causen reacciones adversas en contacto con el cuerpo humano, lo cual es verificable mediante ensayos biocompatibles estándar como ISO 10993.

2. Resistencia mecánica adecuada.

El material debe tener una resistencia mecánica que permita soportar las cargas y esfuerzos a los que serán sometidas las prótesis en condiciones de uso normal, verificable mediante pruebas de tracción, compresión y fatiga.

3. Compatibilidad con la tecnología de impresión 3D.

El polímero seleccionado debe ser compatible con la tecnología de extrusión o el método de impresión 3D que se va a utilizar, incluyendo la temperatura de fusión y la viscosidad adecuada para una extrusión uniforme, lo cual es verificable mediante pruebas de extrusión y fluidez del material en condiciones de operación estándar.

4. Precisión y repetibilidad en la impresión.

La impresora debe ser capaz de producir piezas con alta precisión dimensional y consistencia entre diferentes impresiones, asegurando que las prótesis encajen y funcionen correctamente, verificable mediante la medición de tolerancias y análisis de desviaciones en las piezas impresas utilizando herramientas de metrología.

5. Costo del material y proceso de impresión.

El costo tanto del polímero como del proceso de impresión debe ser razonable, considerando el balance entre calidad y accesibilidad económica para los pacientes, lo cual es verificable mediante la comparación de costos con materiales y procesos alternativos disponibles en el mercado.

6. Capacidad de flexibilidad a diferentes necesidades/ procesos.

La impresora debe permitir la personalización de las prótesis en términos de forma, tamaño y propiedades específicas del material, adaptándose a las necesidades individuales de cada paciente, verificable mediante pruebas de diseño personalizado y validación de la funcionalidad en diferentes modelos de prótesis.

### 1.1.1 Revisión de la literatura.

Los biomateriales y las técnicas de impresión en tres dimensiones (3D), son un campo en el cual la medicina y la ingeniería se fusionan para poder crear nuevas posibilidades e inventos como la medicina regenerativa, creación de tejido funcional, impresión de órganos enteros, entre otros (Saini et al., 2021). A continuación, se va a realizar el análisis de cuales son estos biomateriales, las aplicaciones y procesos para la impresión 3D y los biomateriales.

Las aplicaciones de la impresión 3D con biomateriales son diversas, incluyendo el crecimiento celular y la creación de tejidos y órganos. Según Molly M. Stevens, estos biomateriales pueden emplearse en el tratamiento de fracturas no consolidadas y la fusión espinal mediante andamios porosos de bio-cerámica y polímeros, que facilitan el crecimiento de células y tejidos óseos. Además, Stevens señala que la demanda de estos tratamientos y materiales, clasificados como "bio-inertes" y "bioactivos," está creciendo rápidamente debido a su alta eficacia (Stevens, 2008).

Otra de las aplicaciones de los biomateriales en las impresiones 3D es la impresión y trasplantación de órganos en enfermedades urológicas como el cáncer de vejiga, próstata y riñón, por ejemplo, en el caso del cáncer de riñón, cuando este se encuentra muy dañado, este tiene que ser trasplantado. El mayor problema cuando tiene que haber un trasplante de riñón, es cuando el donador del órgano no es compatible. Para abordar este problema, se utiliza un organoide impreso en 3D que emplea láminas de tejido renal con control de calidad, escala y estructura. Este organoide permite procesos in vitro e in vivo para crear tejido de riñón humano (Xu et al., 2022). Otro ejemplo se da cuando una persona presenta cáncer de uretra, en el cual una forma de solucionar esta enfermedad es aplicando la ingeniería de tejidos para poder crear células uroteliales

de la vejiga, específicamente de la capa interna de la capa externa las cuales están recubiertas de células de músculo liso (Xu et al., 2022).

### 1.1.2 Biomateriales.

Los biomateriales son esenciales para el desarrollo del proyecto, ya que deben cumplir ciertos requisitos para garantizar su eficacia. Un concepto clave es el de "bio-tintas," que se refiere a los materiales utilizados en la impresión 3D (Valenzuela-Villela et al., 2020). La literatura identifica dos desafíos principales en la ingeniería de tejidos con bio-tintas: el desarrollo de nuevos materiales específicos para distintos tipos de tejidos o una bio-tinta universal, y los aspectos regulatorios para su uso (Jammalamadaka & Tappa, 2018). La bio-tinta universal ideal debe combinar biomateriales que favorezcan la viabilidad del tejido, incluyan factores químicos para la angiogénesis y ofrezcan canales para la inervación nerviosa (Jammalamadaka & Tappa, 2018). Además, estos materiales deben poder procesarse a temperatura ambiente, permitir el control de la microestructura y ser imprimibles en bordes definidos (Valenzuela Villela et al., 2020).

Los materiales más importantes para la impresión de biotintas incluyen polímeros naturales como agarosa, alginato, colágeno, ácido hialurónico, fibrina, celulosa y seda, así como polímeros sintéticos (Valenzuela-Villela et al., 2020). Estos materiales son seleccionados por su capacidad para imitar la matriz extracelular y proporcionar bioactividad adecuada, además, los polímeros sintéticos mejoran la integridad mecánica y eliminan limitaciones en la bio-impresión (Loo Gil, 2022).

Para que estos materiales puedan utilizarse en el proceso de Modelado por Deposición Fundida (FDM), que se abordará en el siguiente apartado, deben ser termoplásticos. Estos materiales adquieren una forma semilíquida a temperaturas superiores a 120°C, lo cual permite

que se procesen fácilmente mediante una extrusora (Escalona-Contreras et al., 2021). Gracias a esta tecnología de impresión se pueden usar materiales termoplásticos comunes como: PLA (ácido poliláctico), ABS (acrilonitrilo butadieno estireno), HDPE (polietileno de alta densidad), metales sintéticos e incluso materiales comestibles o farmacéuticos (Escalona-Contreras et al., 2021).

A continuación, se presenta una tabla que cuenta con un amplio listado de materiales que pueden ser utilizados también para impresión de varios tipos de aplicaciones:

*Tabla 1. Polymer scaffolds fabricated using 3D printing for use in tissue engineering.*

Recuperado de: https://doi.org/10.3390/jfb9010022

| Scaffold Composition | 3D Printing Method | Target Tissue |
|---|---|---|
| Pluronics, gelatin methacrylate | Pressure extrusion | Vascular |
| PEGDA, polydiacetylene nanoparticles | Stereolithography | Liver |
| PCL, chitosan | FDM | Bone |
| PCL, castor oil | FDM | Bone |
| Vinylester, vinylcarbonate | DLP | Bone |
| Alginate | Pressure extrusion | Liver |
| Alginate, PEGDA, CS | Extrusion | Kidney |
| Alginate | Extrusion | Microphysiologic studies |
| Alginate, gelatin | Extrusion | Mutlicellular tissue |
| Gelatin methacrylate, alginate, poly ethylene glycol tetra acrylate | Extrusion | Vascular |
| Agarose, collagen | Extrusion | Kidney |
| Gelatin | Extrusion | Ovary |
| Cellulose nanocrystal | DIW | Multicellular tissue |
| Nanofibrillated cellulose (NFC), alginate | Pressure extrusion | Cartilage |
| Collagen, chitosan | Extrusion | Neural |
| Alginate, gelatin | Extrusion | Tumor microenvironment |
| Alginate, collagen, agarose | Extrusion | Cartilage |
| Collagen | Pressure extrusion | Skin |
| PVA, phytagel | Extrusion | Soft connective tissue |
| Gelatin, silk fibroin | Extrusion | Skin |
| Hyaluronic acide, gelatin | Extrusion | Cardiac |
| PLGA | Inkjet | Liver |
| Matrigel, agarose | Extrusion | Intestinal |
| Methacrylated hyaluronic acid (Me-HA), metharylated gelatin | Extrusion | Cardica valve |
| Me-HA | Extrusion | Bone |
| Agarose, single wall carbon nanotubes | Extrusion | Biosensors, various tissues |
| NFC, alginate, hyaluronic acid | Pressure extrusion | Cartilage |
| Nanocrystalline HA, PLGA | Stereolithography | Bone |
| Poly (L-lactide-*co*-ε-caprolactone) | FDM | Tubular, muscle |
| PCL | FDM | Bone |
| PCL, PLGA, collagen, gelatin | FDM, extrusion | Bone |
| PLA, PLGA, collagen | FDM | Tendon-bone |
| PLA, collagen | FDM | Bone |
| PLA | FDM | Osteochondral |
| PLA, acrylonitrile butadiene styrene | FDM | Osteochondral |
| PLA | FDM | Bone |

***Procesos.***

En la actualidad la impresión 3D es muy famosa en la industria ya que puede materializar objetos a partir de un modelo digital en 3D. La tecnología más conocida y de fácil acceso se llama FMD (Modelado por Deposición Fundida) la cual consiste en fundir el material para depositarlo mediante una boquilla sobre una cama de impresión. Uno de los tantos ámbitos en los que esta tecnología ha tomado fuerza es en la medicina, adoptando el nombre de bioimpresión 3D y enfocando su desarrollo a la capacidad de poder imprimir prótesis biocompatibles, tejidos y hasta órganos. (Lee J M, Sing S L, Zhou M, et al. 2018) divide en tres categorías a los procesos de bioimpresión 3D, estos son material jetting, material extrusión y vat polimerization.

El material jetting consiste en la deposición de gotas evitando el contacto directo de la "boquilla" con la superficie de impresión lo que permite mantener determinadas funciones biológicas y un control en la densidad celular deseada ya que se puede regular el número de gotas que se suministran en la impresión. Esta tecnología también presenta algunas variaciones como utilizar bio-tintas para la impresión, la transferencia inducida por láser (LIFT), que se basa en válvulas y en la acústica (Wei Long Ng & Shkolnikov, 2024).

El método de material extrusión utiliza fuerzas mecánicas para extruir el biomaterial o la bio-tinta y depositarlo controladamente en la cama de impresión, esto se puede lograr obteniendo las fuerzas mecánicas de tres maneras distintas, por neumática, por un pistón o por un tornillo (X.B.Chen, et al. 2023).

Actualmente, los avances tecnológicos en materiales y técnicas permiten desarrollar órganos, tejidos y células para reemplazar aquellos que se han perdido o deteriorado por enfermedades. La impresión 3D, también conocida como estereolitografía, ha impulsado en la

última década innovaciones en la ingeniería de tejidos y fabricación de órganos. Esta técnica busca identificar los diferentes equipos utilizados, facilitando el progreso de sus aplicaciones médicas y fomentando nuevas investigaciones en bioingeniería (Gómez Mesa & Castañeda Roncancio, 2021).

La bioimpresión 3D basada en la luz, es uno de los procesos más utilizados en el campo de la biomedicina se usa la SLA como un proceso el cual, hace una fabricación aditiva utilizando una resina liquida fotosensible que se solidifica cuando se expone a luz ultravioleta. Cuando se realiza el modelo digital, se pasa al archivo de carga de la impresora SLA donde está la resina fotosensible. Esta impresora utiliza un láser que de manera selectiva apunta y solidifica en capas sucesivas. Esto hace que la curación de las capas sea más rápida y se realiza de manera simultánea. (Eraso, L. A., & Rodríguez, Y. D. 2020).

Otro de los procesos de bioimpresión 3D más utilizados es la micro extrusión, el chorro de tinta y asistida por láser. La de micro extrusión, usa biotinta almacenada en el cartucho la cual es extruida por presión mediante un dispensador de manera continua. En los procesos de importancia que realiza es la fabricación de tejidos u órganos que tienen tamaños clínicamente importantes, aunque para este caso tiene como desventaja la velocidad y resolución. La impresión con chorro de tinta, la biotinta del cartucho se la deposita por gotas, que tanto el tamaño y la velocidad de deposición se llega a tener un control con software y da lugar al tejido. La asistida por láser, se da en un sustrato absorbente que genera una burbuja por presión que hace al material biológico depositarse en la superficie de contacto. Este proceso de impresión es el de mayor precisión y su desarrollo es constante ya que sigue aumentando la velocidad y resolución. (Guáitara Martínez, S. D. 2022).

Otro de los procesos de bioimpresion en 3D de mayor utilidad en la actualidad es la de ondas acústicas, con este proceso se utiliza las ondas acústicas para tener el manejo y un

posicionamiento exacto de las células vivas encontradas en el biogel, sin generar ningún tipo de daño intrusivo, también este proceso genera una amplia gama de materiales utilizando células madre, biopolímeros, resinas ópticas y miel. La fuerza que se ejerce en el proceso hace que se dé una gota que cae de la boquilla al momento de tener un tamaño especifico y está en una placa de vidrio entre 800 a 65 micras. Esto se lora ya que, las ondas de sonido tienen una amplitud mayor al tamaño de las gotas sin tomar en cuenta las propiedades químicas del fluido. (Gutiérrez, N. N. P. 2023).

Esta revisión literaria, se enfoca en tres temas principales. Las aplicaciones, los procesos de la bio-impresión 3D y los biomateriales aplicables a estos procesos. De los cuales se destacan de varios artículos, revistas y bibliografías científicas principalmente la bio-impresión 3D es muy versátil y aplicable en el campo médico. Como el uso de andamios para aplicar procesos regenerativos en tejidos, impresión de órganos, entre otros. Se puede decir que de todas las fuentes utilizadas fueron de gran utilidad en esta revisión literaria, ya que se tiene una buena noción de cuáles son los campos aplicables que tiene la bio-impresión que en este caso es el campo de la medicina y la ingeniería en tejidos.

## 1.2 Concepto de diseño y selecciones

A continuación, se presentarán las matrices de selección implementadas en la toma de decisiones para la elaboración de este proyecto, así como una breve explicación de cada criterio ingenieril que se utilizó para evaluar la conveniencia de cada opción contemplada.

Como aclaración para el siguiente análisis el criterio ingenieril "*Costo*" se aplica de igual manera para todas las matrices de selección presentadas en este documento, esto se refiere a cuánto sería el valor económico de la construcción de acuerdo con la opción que se esté evaluando.

**Subsistema General 1 – Método de deposición.**

El método de deposición se refiere a los procesos de impresión 3D que existen. Al ser varios procesos se va a realizar un análisis de criterios de cada proceso para seleccionar uno en específico. Se utilizaron 3 tipos de procedimientos de deposición de material los cuales son Extrusión de material, deposición por goteo y finalmente, por láser.

El método de extrusión de material es un proceso de fabricación aditiva en el que el material se fuerza a través de una boquilla en un flujo continuo, depositándose capa por capa para crear un objeto tridimensional.

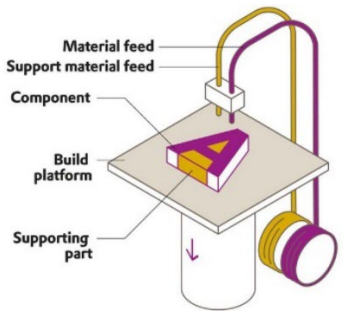



*Figura 1. Diagrama de Extrusión de material*

El método de deposición por goteo es un método sin contacto que consiste en arrojar gotas de líquido sobre un sustrato utilizando fuerzas térmicas, electrostáticas o piezoeléctricas.

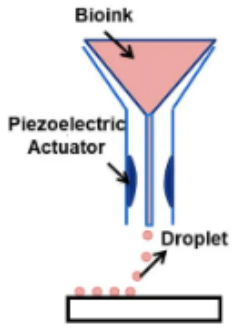



*Figura 2. Diagrama deposición por goteo*

El método de bioimpresión asistida por láser consiste en depositar biomateriales sobre una superficie utilizando un rayo láser pulsado como fuente de energía. Su principio se basa en el uso de un láser para inducir la transferencia de biomateriales a una superficie sólida, donde el biomaterial líquido se evapora y se deposita sobre el sustrato en forma de gotas.

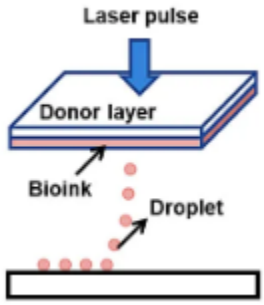



*Figura 3. Diagrama impresión asistida por láser*

A continuación, se presenta una tabla con el análisis de selección para estos tres procesos seleccionados.

*Tabla 2. Subsistema General 1 – Método de deposición*

| Criterios Ingenieriles | | Extrusión de material | | Deposición por goteo | | Láser | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Costo | 25% | 3 | 0.75 | 3 | 0.75 | 2 | 0.5 |
| Facilidad de manufactura | 25% | 3 | 0.75 | 4 | 1 | 2 | 0.5 |
| Tamaño | 10% | 4 | 0.4 | 4 | 0.4 | 4 | 0.4 |
| Adaptabilidad | 15% | 4 | 0.6 | 1 | 0.15 | 3 | 0.45 |
| Adquisición de materiales | 25% | 5 | 1.25 | 3 | 0.75 | 3 | 0.75 |
| | 100% | | 3.75 | | 3.05 | | 2.6 |

Facilidad de manufactura: Este criterio se refiere a la facilidad de manufactura que presentará el sistema escogido para el método de deposición deseado entre las opciones presentes, teniendo en cuenta su complejidad al momento de maquinarlo. Se optó por un sistema de extrusión ya que actualmente es el más conocido, así como el más económico tanto en componentes como en fabricación.

Tamaño: Este criterio hace referencia al tamaño del sistema que realizará el método de deposición deseado, ya que cada método presenta un sistema físico diferente. En este criterio las tres opciones presentan la misma calificación ya que poseen tamaños muy similares.

Adaptabilidad: Este criterio se refiere a qué tan fácil será adaptar el nuevo sistema de deposición de material a la impresora ya existente, tratando de aprovechar lo que más se pueda las piezas y programación con la que ya cuenta la máquina de manera predeterminada. Se escogió el sistema de extrusión ya que requiere la menor cantidad de modificaciones a la impresora para su correcto funcionamiento.

Adquisición del material: Este criterio contempla la facilidad de adquisición del material para el maquinado de los componentes del sistema, teniendo en cuenta la disponibilidad de este en el país. Se optó por la opción del extrusor de material ya que este sistema presenta componentes de costos relativamente bajos tanto en la adquisición de material como en la fabricación de sus piezas.

***Evaluación de los resultados Subsistema General 1.***

En la evaluación del método de deposición, se seleccionó “Extrusión de material” como la mejor alternativa, obteniendo una puntuación total de 3,75, superando a “Deposición por goteo” (3,05) y Láser (2,6). La extrusión de material destaca especialmente en los criterios ingenieriles de adaptabilidad y adquisición de materiales, donde obtuvo las puntuaciones más altas (1,25 y 0,75, respectivamente), lo que indica que esta opción permite una mayor facilidad al momento de su instalación, así como de disponibilidad de insumos. Aspectos clave para el desarrollo de este proyecto.

Además, la extrusión de material muestra un buen rendimiento en términos de costo y facilidad de manufactura, con puntuaciones de 0,75 en cada criterio, lo que sugiere que es una opción económica y relativamente fácil de fabricar sus componentes, que en su mayoría están realizados en acero inoxidable 304. Aunque el tamaño y otros factores pueden ser similares entre las alternativas, la combinación de adaptabilidad, facilidad de adquisición y costos accesibles hace que la extrusión de material sea la opción más adecuada para asegurar un proceso de deposición eficiente para el fin de este proyecto.

**Subsistema General 2 – Material a extruir.**

El material por extruir se refiere al tipo de material que va a ser impreso con nuestra impresora. Se consideró 3 opciones de materiales comúnmente utilizados en la industria y se analizaron sus criterios más importantes para realizar la selección de una opción en específica.

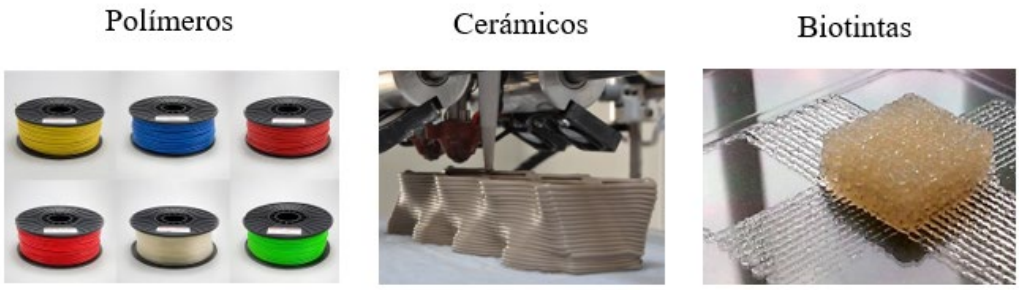



*Figura 4. Materiales para bio impresión*

A continuación, se muestra la tabla de selección para los materiales mencionados.

*Tabla 3. Subsistema General 2 – Material a extruir*

| Criterios Ingenieriles | | Polímeros | | Cerámicos | | Biotintas | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Presición en la impresión | 25% | 3 | 0.75 | 4 | 1 | 3 | 0.75 |
| Biocompatibilidad | 15% | 3 | 0.45 | 4 | 0.6 | 5 | 0.75 |
| Resistencia mecánica | 20% | 4 | 0.8 | 3 | 0.6 | 2 | 0.4 |
| Estabilidad dimensional | 15% | 3 | 0.45 | 5 | 0.75 | 2 | 0.3 |
| Costo | 20% | 4 | 0.8 | 3 | 0.6 | 2 | 0.4 |
| Facilidad de procesamiento | 5% | 4 | 0.2 | 3 | 0.15 | 3 | 0.15 |
| | 100% | | 3.45 | | 3.7 | | 2.75 |

Precisión en la impresión: Este criterio se refiere a qué tan bien un material puede reproducir detalles finos y formas complejas durante la impresión 3D.

Biocompatibilidad: Este criterio se refiere a qué tan seguro es un material para su uso en contacto con el cuerpo humano. Los materiales con alta biocompatibilidad son ideales para dispositivos médicos o implantes.

Resistencia mecánica: En este criterio se evalúa la capacidad del material para soportar fuerzas físicas como presión, tensión o impacto.

Estabilidad dimensional: Este establece qué tan bien se mantiene un material su forma durante y después de la impresión.

Costo: Este criterio analiza el precio del material en relación con otros materiales disponibles.

Facilidad de procesamiento: Este criterio se refiere a qué tan fácil es preparar y extruir el material en una impresora 3D. Algunos materiales requieren de sistemas de impresión especializados, temperaturas controladas, entre otros procesos adicionales, lo que puede llegar a complicar un proceso.

***Evaluación de los resultados Subsistema General 2.***

En la evaluación del material a extruir, se seleccionó “Cerámicos” como la mejor opción, ya que obtuvo una puntuación total de 3,7, superando a Polímeros (3,45) y Biotintas (2,75). La mayor ventaja de los materiales cerámicos se observó en los criterios de precisión en la impresión y resistencia mecánica, con puntuaciones de 1 y 0,6 respectivamente, ambos factores clave para aplicaciones que requieren alta precisión y durabilidad en las piezas impresas. Esta combinación de precisión y resistencia convierte a los materiales cerámicos en una opción ideal para obtener estructuras detalladas y con buena integridad mecánica.

En cuanto a la biocompatibilidad y estabilidad dimensional, los materiales cerámicos también mostraron un desempeño razonable con puntuaciones de 0,6 y 0,75 respectivamente, aunque los polímeros y biotintas ofrecen ventajas adicionales en biocompatibilidad. Sin embargo, el costo y la facilidad de procesamiento de los cerámicos son aspectos en los que tienen un rendimiento más bajo en comparación con otros materiales, debido a los requerimientos específicos para su manipulación y procesamiento. A pesar de estos desafíos, los beneficios en precisión y resistencia justifican la selección de los cerámicos como el material más adecuado para el sistema de extrusión planteado.

***Subsistema 1.1 – Tipo de extrusor.***

El tipo de extrusor se refiere al proceso de funcionamiento que va a tener el sistema de impresión. En este caso hay dos principios de funcionamiento que es extrusor de pistón el cual empuja el material con un émbolo y el extrusor de tornillo el cual dispone de un tornillo sin fin que va a mover el material y empujarlo hacia una boquilla para la impresión.

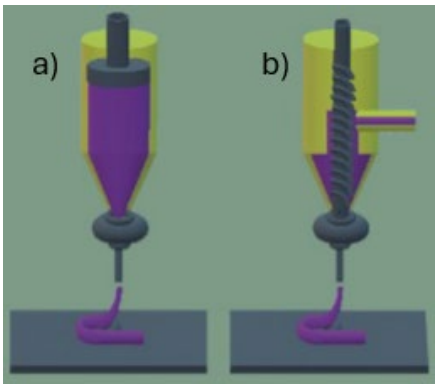



*Figura 5. Tipos de extrusores para bio impresión. a) Corresponde a un extrusor de pistón mientras que, b) Corresponde a un extrusor de tornillo*

De ambos tipos de extrusor, se presenta la tabla de análisis para la selección de uno de los dos analizando los criterios ingenieriles correspondientes.

*Tabla 4. Subsistema 1.1 – Tipo de extrusor*

| Criterios Ingenieriles | | Extrusor de pistón | | Extrusor de tornillo | |
|---|---|---|---|---|---|
| Presición en la impresión | 25% | 3 | 0.75 | 4 | 1 |
| Compatibilidad con materiales | 20% | 3 | 0.6 | 3 | 0.6 |
| Tamaño | 15% | 4 | 0.6 | 3 | 0.45 |
| Adaptabilidad | 15% | 3 | 0.45 | 3 | 0.45 |
| Costo | 10% | 4 | 0.4 | 4 | 0.4 |
| Facilidad de mantenimiento | 15% | 4 | 0.6 | 4 | 0.6 |
| | 100% | | 3.4 | | 3.5 |

Precisión en la Impresión: Este criterio mide la capacidad del extrusor para depositar el material con exactitud, afectando la calidad y detalle de la impresión. En este caso el pistón puede tener

una menor precisión debido a variaciones en la presión mientras que el tornillo puede ser mejor debido a que se puede controlar de manera más uniforme el flujo del material.

Compatibilidad con Materiales: Este criterio evalúa que tipo de materiales pueden ser procesador por el extrusor. Cuando analizamos el pistón sabemos que los materiales tendrían cierta limitación a materiales que sean más fluidos, mientras que el tornillo tiene mayor compatibilidad con materiales que pueden tener diversos tipos de viscosidades.

Tamaño: Este criterio se refiere a las dimensiones físicas del extrusor y de sus componentes. En este caso un extrusor de pistón necesita de menor espacio debido al número de componentes de este, siendo más compacto que un extrusor de tornillo.

Adaptabilidad: En este criterio se evalúa cuán fácilmente el extrusor se puede ajustar a una impresora 3D. En ambos casos la adaptabilidad es bastante complicada debido a que se van a requerir de ciertas modificaciones para poder adaptar este tipo de extrusores en las impresoras, debido a eso su puntaje es el mismo.

Costo: Se refiere al costo de fabricación del tipo de extrusor. En ambos casos los costos serían similares debido a los materiales que se necesitan para la construcción de cada uno.

Facilidad de Mantenimiento: Este criterio se refiere a la facilidad que se tendría al momento de reparar, limpiar o dar mantenimiento a los componentes del extrusor.

***Evaluación de los resultados Subsistema 1.1.***

En la comparación de alternativas para el tipo de extrusor, el "Extrusor de tornillo" resultó ser la mejor opción debido a su puntuación general más alta en comparación con otras opciones propuestas. Este tipo de extrusor destaca en criterios ingenieriles de suma importancia como la

precisión de extrusión y la consistencia en el flujo de material, los cuales son fundamentales para aplicaciones que requieren un control detallado de la cantidad de material que se deposita. Su diseño permite manejar materiales con alta viscosidad de manera eficiente, asegurando una extrusión constante y reduciendo posibles interrupciones en el flujo.

Además, el extrusor de tornillo obtuvo buenas puntuaciones en los criterios de tamaño del sistema, así como la facilidad para adaptarlo a la impresora, lo que lo convierte en una opción versátil y adecuada para el sistema de extrusión. A pesar de que podría ocupar un poco más de espacio, los beneficios en precisión lo justifican. Por estas razones, el "Extrusor de tornillo" fue seleccionado como la mejor opción para asegurar un proceso de extrusión controlado y eficiente en la aplicación planteada.

***Subsistema 1.2 – Control de movimiento.***

El control de movimiento se relaciona con la herramienta que se va a utilizar para mover el Subsistema 1.1. Al haber obtenido como resultado extrusor de tornillo se consideran dos opciones de control de movimiento para mover el tornillo como lo es un servomotor y un motor paso a paso de los cuales se van a analizar los criterios correspondientes para una correcta opción.

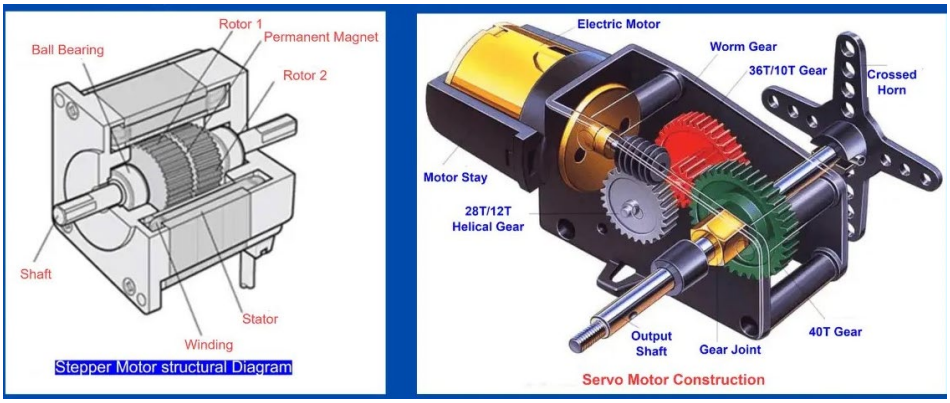



*Figura 6. Estructura de un motor Stepper y un Servo motor*

*Tabla 5. Subsistema 1.2- Control de movimiento*

| Criterios Ingenieriles | | Motor paso a paso | | Servomotor | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Precisión de movimiento** | 50% | 4 | 2 | 2 | 1 |
| **Costo** | 15% | 4 | 0,6 | 3 | 0,45 |
| **Peso** | 15% | 4 | 0,6 | 2 | 0,3 |
| **Facilidad de adquisición** | 10% | 3 | 0,3 | 3 | 0,3 |
| **Facilidad de implementación** | 5% | 4 | 0,2 | 2 | 0,1 |
| **Facilidad de mantenimiento** | 5% | 4 | 0,2 | 4 | 0,2 |
| | 100% | | 3,9 | | 2,35 |

Precisión de movimiento: Este criterio se refiere a la precisión con la que se moverá el sistema de extrusión, este es un factor muy importante ya que determina el éxito de una buena impresión en 3D. Se escogió el motor paso a paso ya que este tipo de motores presentan una mayor exactitud para movimientos como los que hará el extrusor de la impresora.

Peso: Este criterio evalúa el peso total del motor que se empleará en el sistema de extrusión, sin sacrificar la precisión del este. Se escogió el motor paso a paso ya que éste posee un menor peso en comparación al servomotor.

Facilidad de adquisición: Este criterio se refiere a qué tan fácil es conseguir estos motores en el mercado ecuatoriano para poder integrarlos al proyecto. Cualquier motor puede obtenerse con la misma facilidad.

Facilidad de implementación: Este criterio evalúa la facilidad con la que se podrá implementar esta opción al sistema de impresión 3D que presenta la máquina otorgada. Se optó por el motor paso a paso ya que es el mismo tipo de motores que utiliza la impresora que se adaptará para bioimpresión.

Facilidad de mantenimiento: Este criterio hace referencia a qué tan fácil será darle mantenimiento al sistema elegido. Se escogió el motor paso a paso ya que es más fácil desmontarlo del sistema de impresión y poder darle mantenimiento.

***Evaluación de los resultados Subsistema 1.2.***

En el sistema de control de movimiento, la alternativa "Motor paso a paso" obtuvo una puntuación total de 3,9, superando al "Servomotor" que alcanzó solo 2,35. La principal ventaja del motor paso a paso radica en su precisión de movimiento, el criterio más importante para el desarrollo de este proyecto con un peso del 50%, en el que alcanzó una puntuación de 2 frente a 1 del servomotor. Esto indica que el motor paso a paso permite un control más preciso, algo que se busca para un excelente desempeño de la máquina. Además, en los criterios de costo y peso (ambos con un peso del 15%), el motor paso a paso también superó al servomotor, logrando puntuaciones de 0,6 en cada uno, lo que implica que es una opción más liviana y económica.

En cuanto a la facilidad de adquisición y mantenimiento, ambos sistemas obtuvieron resultados similares, mientras que, en la facilidad de implementación, el motor paso a paso se destacó con una puntuación de 0,2 frente a 0,1 del servomotor. Esto indica que su instalación en la impresora es relativamente más sencilla. En conjunto, estos factores hacen que el motor paso a paso sea la alternativa preferida.

***Subsistema 1.3 – Sistema de alimentación.***

El sistema de alimentación se refiere a cómo va a ser movilizado el material desde un tanque de almacenamiento hasta el extrusor que se va a utilizar. Existen dos opciones viables las cuales son que el material se mueva por gravedad o que sea asistido por un compresor. Para escoger el ideal se van a analizar varios criterios definidos a continuación para poder realizar una correcta elección.

*Tabla 6. Subsistema 1.3-Sistema de alimentación*

| Criterios Ingenieriles | | Por gravedad | | Asistido por compresor | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Velocidad de fluidez** | 45% | 2 | 0,9 | 4 | 1,8 |
| **Costo** | 15% | 3 | 0,45 | 3 | 0,45 |
| **Facilidad de implementación** | 20% | 2 | 0,4 | 4 | 0,8 |
| **Facilidad de maquinado** | 10% | 3 | 0,3 | 3 | 0,3 |
| **Facilidad de mantenimiento** | 10% | 4 | 0,4 | 4 | 0,4 |
| | 100% | | 2,45 | | 3,75 |

Velocidad de fluidez: Este parámetro de evaluación es el más importante ya que determina la velocidad con la que fluirá el biomaterial hasta llegar al extrusor. Se escogió la opción de asistido por compresor ya que esto permite regular la velocidad de flujo, así como tener un mejor control sobre la misma. Esto es crucial para poder desarrollar un perfil de impresión óptimo.

Facilidad de implementación: Este criterio hace referencia a qué tan fácil será implementar este sistema de alimentación a la impresora. Se escogió el sistema asistido por compresor ya que al ser un sistema externo no requiere modificar la estructura de la impresora para que funcione de manera adecuada.

Facilidad de maquinado: Este criterio evalúa la facilidad con la que se podrá maquinar los componentes del sistema. Se escogió el sistema asistido por compresor ya que presenta componentes con geometrías relativamente sencillas que no presentarán dificultades al momento de fabricarlas.

Facilidad de mantenimiento: Este parámetro hace referencia con qué facilidad se podrá dar mantenimiento al sistema de alimentación. Se escogió el sistema asistido por compresor ya que permite separar totalmente el sistema de alimentación de la máquina para poder trabajar aparte y facilitar su desarmado.

***Evaluación de los resultados Subsistema 1.3.***

El sistema de alimentación "Asistido por compresor" resultó ser la mejor alternativa con una puntuación total de 3,75, superando al sistema "Por gravedad" que obtuvo 2,45. La mayor ventaja del sistema asistido por compresor se presenta en la velocidad de fluidez, criterio de mayor peso en la evaluación, donde obtuvo una puntuación de 1,8 frente a 0,9 del sistema por gravedad, lo que permite un flujo más rápido y controlado. Además, en cuanto a la facilidad de implementación en la impresora, el sistema asistido por compresor también superó al sistema por gravedad, con una puntuación de 0,8 frente a 0,4, indicando que su instalación es más sencilla y eficiente debido al uso del compresor.

Otros aspectos como el costo y la facilidad de mantenimiento no presentan diferencias significativas entre las alternativas, mientras que la facilidad de maquinado en sus componentes es ligeramente mayor en el sistema asistido. En conjunto, estos resultados justifican la elección del sistema asistido por compresor, esta opción ofrece un mejor rendimiento general, haciendo que sea adecuada para lo que se busca en el desarrollo de este proyecto.

***Reporte de diseño.***

Se eligió el extrusor con un tornillo sin fin con una carcasa cilíndrica, a cuál va a tener una entrada de material por la parte superior. Este extrusor el tornillo sin fin, van a estar hechos de acero quirúrgico 303 o 304, ya que se tiene que mantener un cierto grado de esterilidad e higiene.

Para el sistema de alimentación y soporte, este va a ser asistido por un compresor para mantener el flujo del material y presión constante. Para control de movimiento se definió un control de movimiento por paso a paso, por su facilidad de implementación, bajo peso y otras ventajas frente a la opción de implementar un servomotor.

Para el biomaterial a extruir, se prefirió la opción de los cerámicos, en específico la opción de imprimir arcilla la cual es una variante de los cerámicos con partículas de calcio. Se definió esta opción como la más viable ya que la arcilla con partículas de calcio permite imprimir una estructura similar a los en densidad, resistencia mecánica y apariencia a los huesos humanos reales.

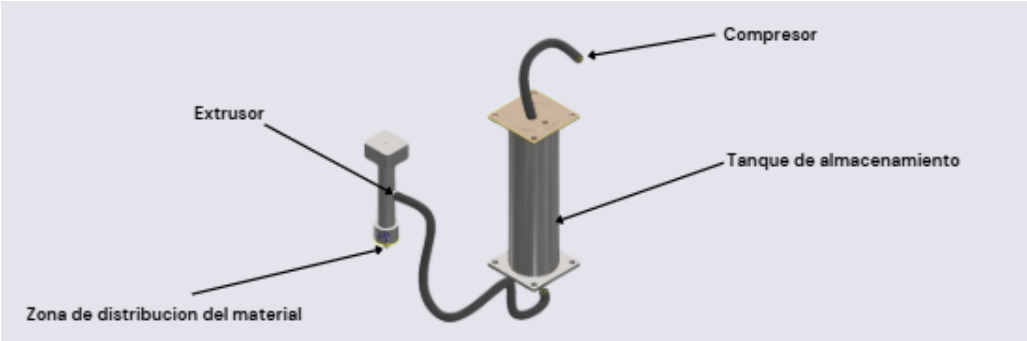



*Figura 7. Diseño del Sistema de Extrusión*

### 1.2.1 Gestión de Proyectos

En el ANEXO 1. se encuentra un cronograma explicativo dividido por semanas y por actividades a realizar. A continuación, se van a definir las actividades propuestas de lo que conlleva este proyecto de titulación. A continuación, se definen las actividades descritas dentro del anexo para su correcta comprensión en caso de ser necesario.

**Definición de problema:** Se refiere al análisis de los problemas que se pueden encontrar en el entorno ingenieril para lograr encontrar una solución con el proyecto.

**Revisión de la literatura:** Es el análisis de diferentes documentos académicos que ayuden al desarrollo del proyecto con la información de los datos del material, características de los sistemas de extrusión, del sistema de acoplamiento, del compresor y del sistema de alimentación.

**Matrices de selección:** El análisis de las matrices de selección es para lograr encontrar la mejor alternativa para realizar el proceso de la construcción del sistema general.

**Tesis:** Es el documento escrito que se realiza a través del tiempo y con cada uno de los pasos que se realizar en los cálculos, simulaciones y desarrollo del tema.

**Cálculos:** Son los valores que se deben obtener para que el sistema de la bio-impresora 3D logre cumplir con las normas y no llegue a fallar, así como, de los tamaños necesarios que se deben de tener para que no entre en problemas estructurales.

**Simulaciones:** Una vez que se realizaron los cálculos, se realiza las simulaciones necesarias para lograr comprobar los valores obtenidos y ver de manera digital el funcionamiento y desarrollo de los sistemas.

**Planos:** Cuando se realizan los archivos de modelado 3D, se crean los planos para observar los tamaños y manejar así la construcción del sistema.

**Plan de manufactura:** Es el cómo se va a ir construyendo el proyecto y también el bio-material a utilizar.

**Construcción:** Se divide en cada una de las etapas que se debe de ir construyendo el sistema, realizándolo desde la parte más pequeña hasta la más grande.

**Pruebas:** Cada vez que una parte del sistema está construida o el material, se realizan pruebas para ver su comportamiento y funcionamiento, para obtener los resultados óptimos.

**Manual de operación y mantenimiento:** El manual es el escrito que tiene como fin el mostrar cómo funciona el sistema una vez terminado y como se lo debe de dar el mantenimiento para tenerlo funcionando de manera correcta y que no llegue a fallar.

**Presentaciones:** Es la parte final del diagrama de Gantt, menciona el momento en el que se debe de presentar el proyecto ya completo, el documento finalizado y la defensa oral que se realiza al final del semestre.

### 1.2.2 Estándares de ingeniería

Las normas en las cuales se van a basar para realizar este proyecto van a ser las siguientes:

ISO 10993-1: Esta norma sirve para evaluar la biocompatibilidad de materiales que van a estar en contacto con el cuerpo humano. Permite evaluar riesgos biológicos y asegurar que ciertos materiales no causen reacciones adversas, en este caso los biomateriales.

ISO 6892: Esta norma sirve para realizar ensayos de tracción en materiales metálicos, en este caso se prevé que varias partes del sistema de extrusión sean de acero inoxidable.

ISO 527-2: Esta norma hace referencia a como establecer el procedimiento para realizar ensayos de tracción en plásticos. Este ensayo es fundamental para determinar las propiedades mecánicas de los materiales plásticos, como su resistencia a la tracción, alargamiento y módulo de elasticidad.

NOM-068-SSA1-1993: Esta norma da los requisitos y las especificaciones sanitarias para materiales metálicos fabricados con acero inoxidable. Esta se apoya en la ASTM F 1089 – 87 que trata sobre la prueba de corrosión de instrumentos quirúrgicos.

Para poder usar las especificaciones se va a usar la siguiente norma:

ISO 2768: Esta norma hace referencia a las tolerancias generales al momento del maquinado en CNC, se requiere para poder asegurar la calidad de las piezas del sistema.

Para poder realizar las clasificaciones en el proyecto se va a usar la siguiente norma:

ISO/ASTM 52900: Esta norma sirve para tener las directrices generales para la fabricación aditiva que es la que utilizaremos en el proyecto al tener un sistema de extrusión de material.

Adicionalmente indica los términos que se deben utilizar para poder tener coherencia y comprensión en el ámbito industrial.

Al momento de la práctica se va a usar las siguientes normas:

ISO 14971: Esta norma contempla los requisitos para la gestión de riesgos en el marco de los dispositivos médicos, por lo que se debería utilizar en las fases tanto de diseño como de fabricación de las piezas del sistema de extrusión por su enfoque a futuro, así como en las pruebas para los biomateriales.

ISO 10303: Esta norma tiene como finalidad que se pueda tener la misma facilidad de operación entre los sistemas CAD, CAM Y CAE. Lo que se busca con esto es que el diseño que se realice del sistema de extrusión pueda funcionar de manera óptima entre diferentes plataformas digitales. También se la conoce como STEP.

Con la siguiente norma se va a usar como guía para el proceso de pruebas.

ISO 10993-1: Esta norma hace de guía para poder realizar pruebas de biocompatibilidad de los biomateriales que se utilizarán para imprimir y poder gestionar el riesgo biológico en dispositivos médicos.

Para usar la terminología en el proyecto se va a usar la siguiente norma:

ASTM F2792: Esta estándar tiene el propósito de emplear de manera correcta la terminología estándar que se utiliza en la fabricación aditiva dentro de la impresión 3D, con esto nos podemos asegurar que los términos utilizados en la documentación final del trabajo sean consistentes con la que se utiliza en la industria.

# 2. MATERIALES Y MÉTODOS

## 2.1 Selección de materiales y componentes

### 2.1.1 Diagramas de Flujo.

A continuación, se van a presentar los diagramas de flujos los cuales contienen los procesos de manufactura de los componentes más importantes para desarrollar este proyecto.

***Tornillo Extrusor.***

En la siguiente imagen, se puede observar el diagrama de flujo para el tornillo extrusor, el cual comienza con la compra del material, luego pasa por el proceso de corte con sierra de la sección necesaria. Verificando, si es que la medida es la correcta se toma la decisión de descartar el espécimen o de continuar con el proceso. En el caso de continuar con el proceso de manufactura del tornillo extrusor, se ubica en el torno el centro del eje, si es que al momento de verificar su posición es la correcta, se aprueba el proceso y se comienza a tornear el eje, caso contrario se repite el proceso hasta que se pueda centrar completamente el eje. Luego de haber torneado el eje, se verifica el proceso de torneado y se realiza la respectiva verificación, si es que es la medida correcta, se procede al almacenaje de la pieza, caso contrario se tiene que volver a comprar el material y repetir nuevamente el proceso.

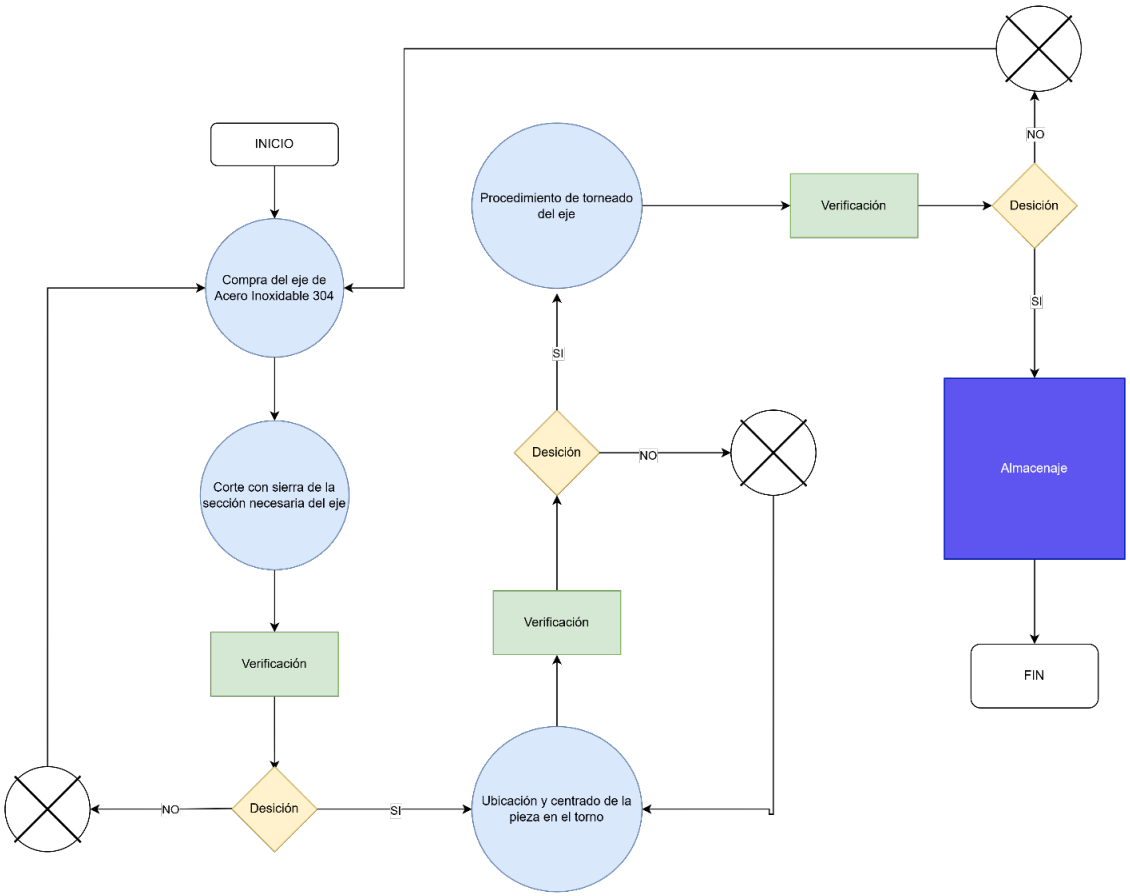



*Figura 8. Diagrama de flujo para el tornillo extrusor*

***Carcasa del Extrusor.***

El proceso de manufactura de la carcasa o protector del extrusor empieza por la compra del material y se procede directamente con el torneado en CNC del eje. Posterior a este proceso se verifica las medidas, y si estas son las correctas se procede al siguiente paso, caso contrario se tiene que volver a comprar el material. Luego se tiene que tornear el diámetro interno usando un torno CNC, un taladrado de un hueco pasante usando una fresadora y finalmente un hueco parcial con la misma máquina. Se realiza posterior a estos tres procesos la verificación de las medidas y tomando la decisión si es que son las medidas correctas se procede con el siguiente paso, caso contrario se vuelve a comprar nuevo material para empezar el proceso de nuevo. En un torno CNC,

se procede a hacer el roscado frontal y posterior a este proceso el roscado en la zona de la entrada del material. Se verifica la medida de la rosca, si es que el proceso es satisfactorio, se procede al almacenaje de la pieza, caso contrario se descarta y se tiene que volver a comprar el material para empezar el proceso de nuevo.

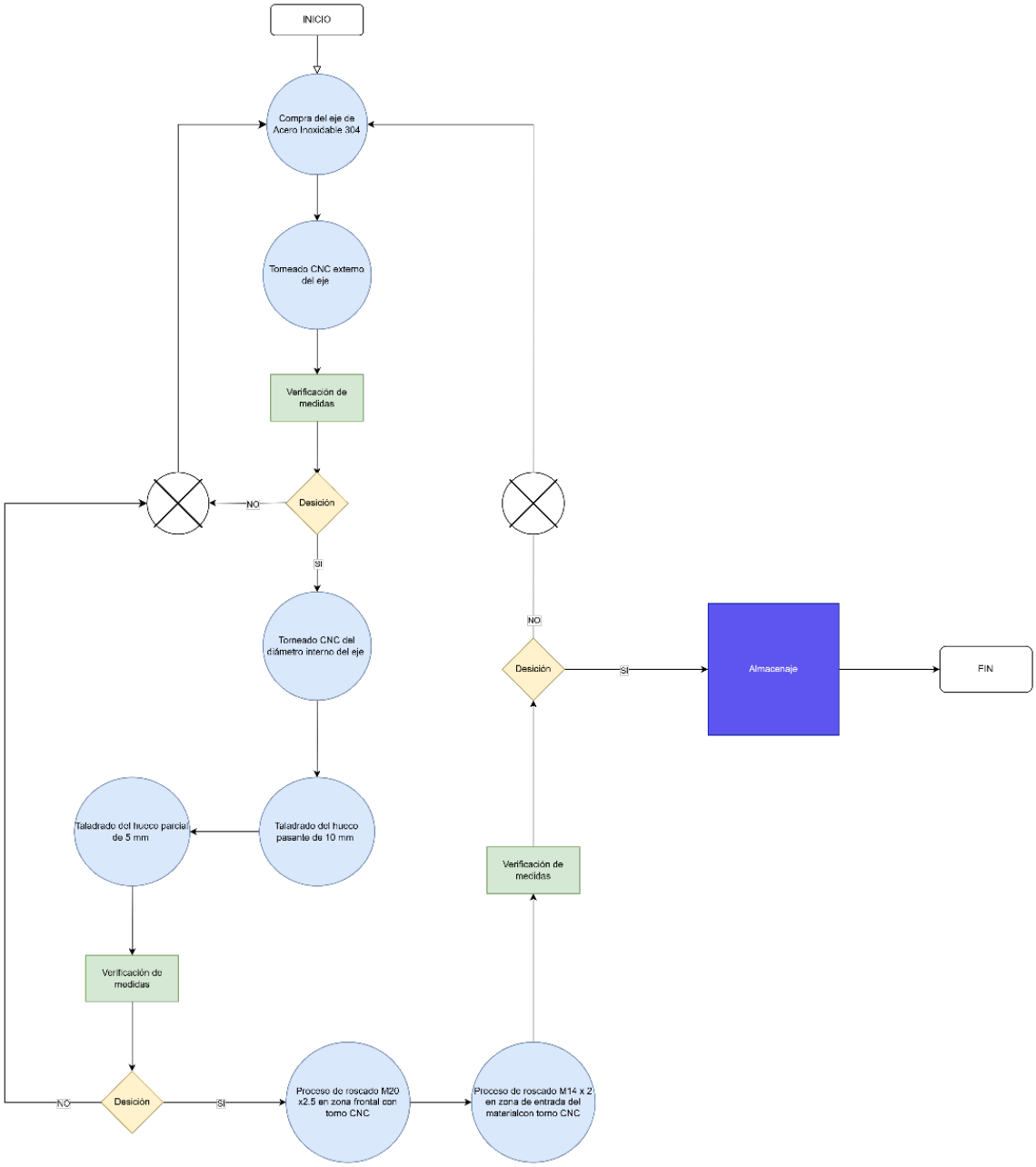



*Figura 9. Diagrama de flujo para la carcasa del extrusor*

***Sistema de alimentación.***

El proceso comienza, con las compras de las planchas del material y se procede a cortar las planchas con láser, se realiza la verificación de medidas, si es que es la correcta se procede con el siguiente paso, caso contrario se descarta y se comienza nuevamente con el paso comprando las planchas de acero. Si es que el proceso es el correcto se procede con el plegado de las láminas de acero y la verificación de medidas, si es que las medidas no son las correctas, se descartan los especímenes y se comienza el proceso de nuevo, si es que no se descartan se realiza un biselado donde se realizaran las soldaduras y posteriormente el proceso de soldadura mediante TIG en las caras requeridas. Verificando las soldaduras mediante procedimientos WPS, si es que no califica la soldadura se comienza el proceso de nuevo, si es que el WPS es satisfactorio se procede al almacenaje de la pieza.

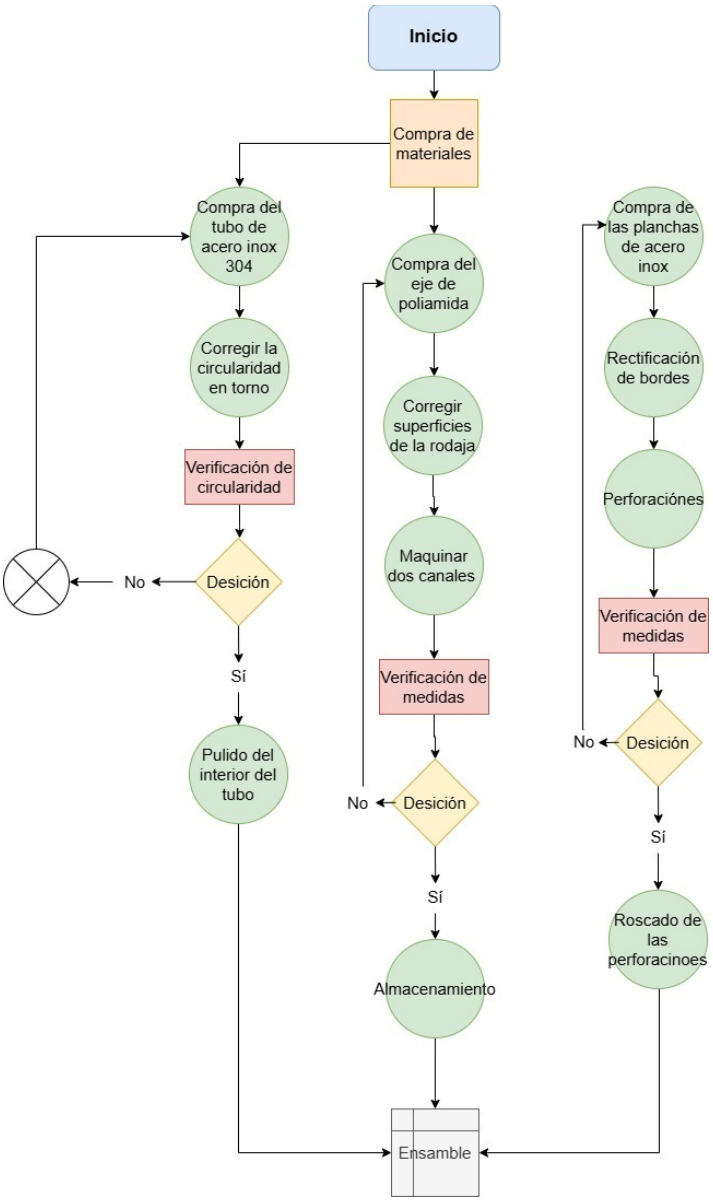



*Figura 10. Diagrama de flujo para el sistema de alimentación*

***Soporte de alimentador.***

El proceso comienza con la compra de planchas de acero estructural y se procede con el corte de las planchas de acero, realizando la verificación de las medidas si es que no son las medidas correctas, se descartan y se compran nuevamente, si es que son las correctas se procede al formado de las patas, la preparación y soldadura de las patas, se realiza una verificación de las

soldaduras utilizando un WPS y si es que la soldadura es la correcta se procede con el acabado superficial, si es que no se procede al formado de las patas nuevamente. Al momento de realizar un acabado superficial, se realiza un control de calidad, se decide si es que el acabado es el correcto, si es que no lo es se realiza de nuevo, si es que es el correcto se procede al ensamblaje y almacenamiento.

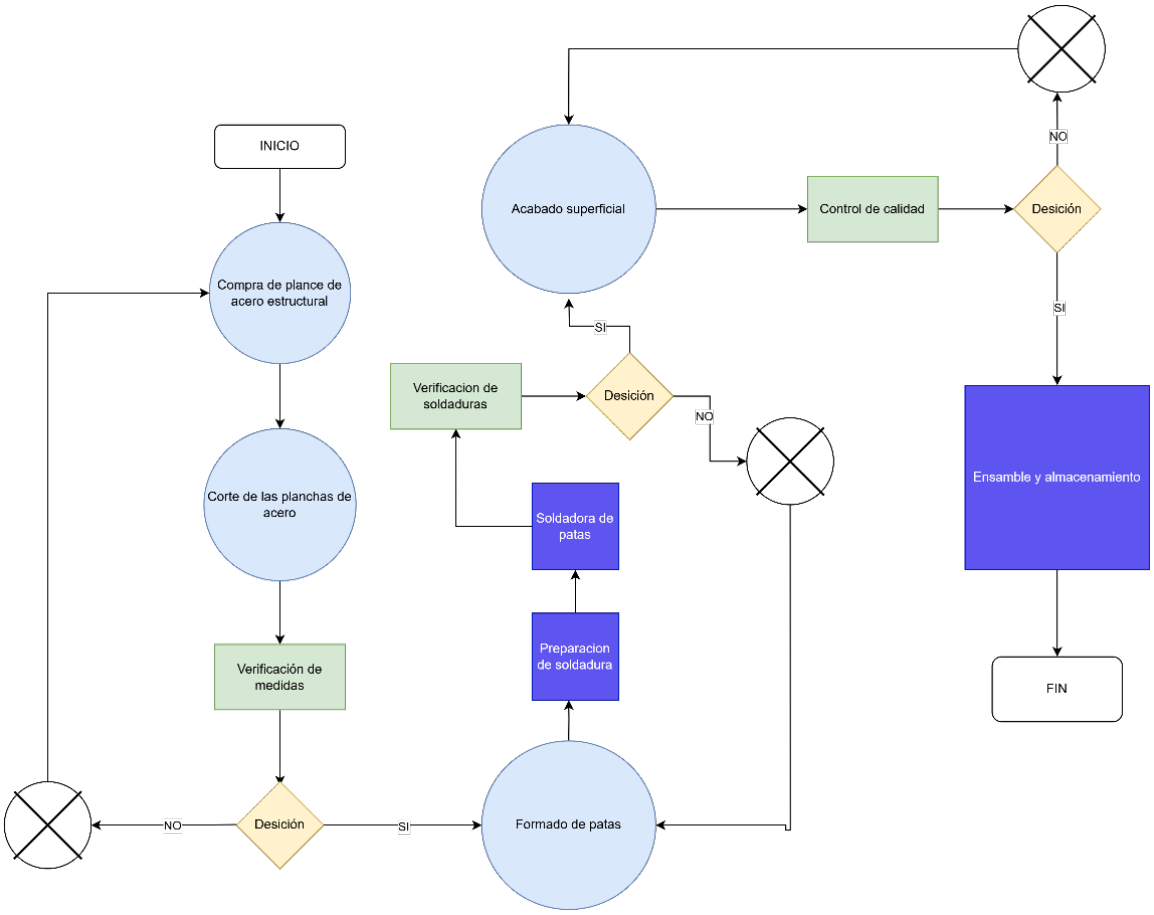



*Figura 11. Diagrama de flujo para el soporte de alimentación*

## 2.2 Diseño para la fabricación

A continuación, se va a describir mediante hojas de procesos, los diferentes procesos para la fabricación de los subsistemas del sistema general:

**Tornillo Extrusor.**

| Departamento de Ingeniería Mecánica | | | |
|---|---|---|---|
| Responsable: | Andrés Cruz | Revisado por: | Dr. Patricio Chiriboga |
| Tema: | Tornillo sin fin | Fecha Realizado: | 20/10/2024 |
| | | Fecha Presentación: | 24/10/2024 |
| Material: | Acero AISI 304 | Ítem: 1 | Cantidad: 1 |

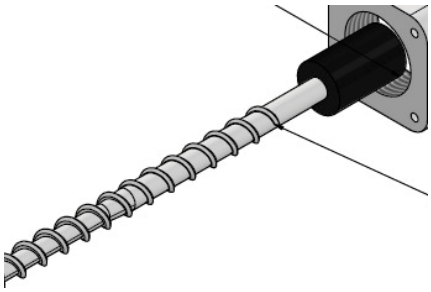


*Figura 12. Sección del tornillo extrusor*

**Extrusor.**

| Departamento de Ingeniería Mecánica | | | |
|---|---|---|---|
| Responsable: | Martín Rueda | Revisado por: | Dr. Patricio Chiriboga |
| Tema: | Tanque de almacenamiento y acoples | Fecha Realizado: | 20/10/2024 |
| | | Fecha Presentación: | 24/10/2024 |

*Figura 13. Extrusor*

**Tanque de alimentación.**

| Departamento de Ingeniería Mecánica | | | |
|---|---|---|---|
| Responsable: | Martín Rueda | Revisado por: | Dr. Patricio Chiriboga |
| Tema: | Tanque de almacenamiento y acoples | Fecha Realizado: | 20/10/2024 |
| | | Fecha Presentación: | 24/10/2024 |

*Figura 14. Tanque de alimentación*

**Soporte del tanque de alimentación.**

| Departamento de Ingeniería Mecánica | | | |
|---|---|---|---|
| Responsable: | Daniel Tenesaca | Revisado por: | Dr. Patricio Chiriboga |
| Tema: | Soporte del alimentador | Fecha Realizado: | 20/10/2024 |
| | | Fecha Presentación: | 24/10/2024 |

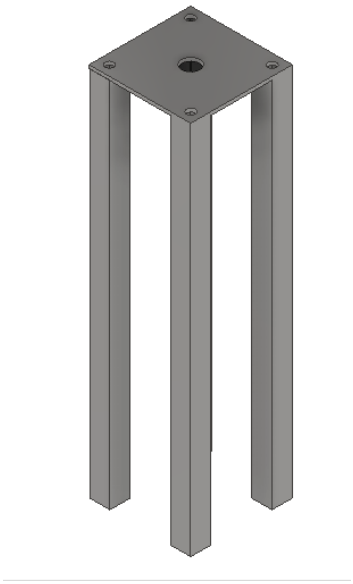


*Figura 15. Soporte del tanque de alimentación*

# 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## 3.1 Informe de diseño

### Tornillo extrusor.

Para el diseño del tornillo extrusor, se basó en la literatura para inspirar el proceso de diseño. A partir de la descripción de los cambios en la sección del área del vástago del tornillo, se concluyó que el tornillo extrusor debía tener un área que impidiera el retroceso del material hacia el motor stepper. Por lo tanto, se decidió que el tornillo extrusor tendría una zona con mayor área y otra con menor área, más cercana a la punta del tornillo.

### Carcaza del extrusor.

Para el diseño del extrusor, se tomó como modelo base los extrusores existentes en el mercado, y conociendo las dimensiones generales de la impresora 3D que se iba a utilizar, se comenzó con un diseño preliminar fácil de maquinar y con la longitud ideal para cubrir todo el tornillo sin fin. Luego, se realizaron cálculos estructurales y de fluidos para evaluar si el extrusor presentara algún problema al transportar el fluido. Posteriormente, se rediseñó la parte posterior del extrusor para que pudiera ser sujetada al motor stepper. Finalmente, se diseñaron las roscas y los huecos para la entrada del material y la sujeción de la punta de acero.

### Tanque alimentador y compresor.

Para el diseño del tanque alimentador, primero se consideró la altura deseada para determinar las alturas de entrada y salida del material. Luego, se seleccionaron preliminarmente el espesor del tanque y sus dimensiones. Posteriormente, se calculó el espesor necesario utilizando las normas API y se realizaron cálculos de esfuerzo y factor de seguridad. En cuanto a la elección del compresor, se llevó a cabo un cálculo inverso, considerando la velocidad de deposición del

material como dato inicial. Así, se determinó la presión necesaria para mantenerla constante a lo largo del extrusor y el tanque. Finalmente, basándose en la geometría seleccionada para el tanque, se calcularon la presión de entrada y los parámetros correspondientes.

**Soporte del tanque alimentador.**

Para el diseño del soporte del alimentador, se seleccionaron vigas huecas cuadradas. Se realizaron cálculos estructurales, enfocándose principalmente en los factores de seguridad para asegurar que la mesa pudiera soportar el peso del tanque.

## Análisis de ingeniería (cálculos, simulaciones y experimentos)

En la siguiente sección se van a demostrar los cálculos realizados para llevar a cabo la construcción del proyecto.

**Cálculos.**

Dentro de los cálculos para el sistema de extrusión, es fundamental, inicialmente, determinar las dimensiones generales que tendrá el tornillo sin fin. Esto permitirá calcular la velocidad de avance del tornillo extrusor, la velocidad de deposición del material, las revoluciones por minuto que debe generar el motor, y las presiones generadas.

Es importante mencionar que cada valor de longitud y diámetro se expresa en milímetros (mm), las velocidades en milímetros por segundo (mm/s) y las áreas en milímetros cuadrados ($mm^2$).

**Tornillo sin fin**: Para los cálculos del tornillo sin fin, se toma en cuenta la siguiente ecuación obtenida de *Fundamentals of Plastic Extrusions* (Rauwendaal, pg. 18). En este texto, se menciona que el diámetro externo del tornillo debe ser equivalente a cinco veces el diámetro de la boquilla, para obtener un valor de diámetro de tornillo ideal:

$$D_{tornillo} = 5 * D_{boquilla}$$

En la página 14 de su texto, el autor menciona una proporción alternativa para establecer la longitud del tornillo. Él indica que la longitud debe tener una relación de longitud sobre diámetro multiplicado por el diámetro externo del tornillo, y que esta relación debe encontrarse en un rango de 15 a 30 unidades. Finalmente proporciona una fórmula para calcular el paso del tornillo, que es la multiplicación del diámetro del tornillo por un factor que varía entre 0.8 y 1. Las expresiones correspondientes se encuentran a continuación:

$$L_{tornillo} = \frac{L}{D} * D_{tornillo}$$

$$p = (0{,}8\ a\ 1) * D_{tornillo}$$

Donde,

$D_{tornillo}$ es el diámetro del tornillo.

$D_{boquilla}$ es el diámetro de la boquilla.

$L_{tornillo}$ es la longitud del tornillo.

$p$ es el paso (mm).

Para la resolución de estas ecuaciones, se consideró lo siguiente:

Para la relación L/D, se utilizó un valor de 15. Esta relación permite una correcta compresión del material sin que el tornillo sea demasiado largo. Un tornillo más largo podría causar problemas de compresión del material, así como dificultades en su maquinado.

Para la relación utilizada en la expresión para determinar el paso del tornillo, se escogió un valor medio de 0,9. Este valor proporciona un buen equilibrio entre generar la presión suficiente y

mantener la velocidad de extrusión adecuada del sistema. Por esta razón, se optó por un valor intermedio entre 0,8 y 1.

Con estas relaciones definidas, a continuación, se presentan los cálculos realizados para obtener los valores que se utilizarán para el tornillo.

$$D_{tornillo} = 5 * 2 = 10\ mm$$

$$L_{tornillo} = 15 * 10 = 150\ mm$$

$$p = 0.9 * 10 = 9\ mm$$

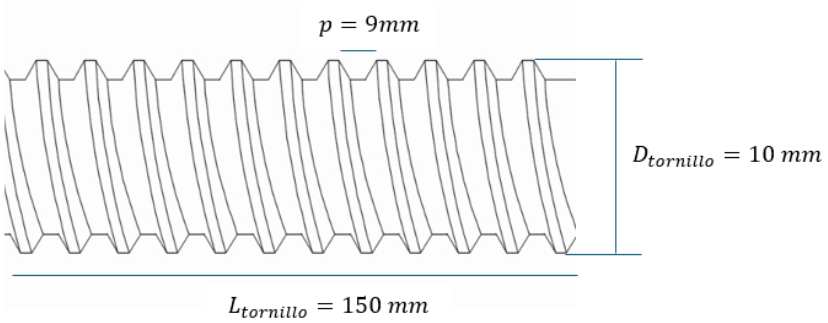



*Figura 16. Diagrama tornillo sin fin con dimensiones*

**Cálculo de las RPM máximas del motor:** Uno de los cálculos importantes para el proyecto es determinar ciertos valores del motor que moverá el tornillo sin fin del extrusor, necesarios para calcular la velocidad de avance del tornillo y la velocidad de deposición del material. En esta sección se presenta el cálculo de las RPM máximas que proporciona un motor paso a paso 17HS24-2104S, un componente fácilmente disponible y ya utilizado en algunas impresoras 3D.

El primer paso para determinar las RPM máximas del motor es encontrar el número de pasos por revolución que realiza este motor. Para ello, es necesario consultar ciertas características de la ficha técnica del proveedor, mostrada a continuación:

| SPECIFICATION / CONNECTION | BIPOLAR |
|---|---|
| AMPS/PHASE | 2.10 |
| RESISTANCE/PHASE(Ohms)@25°C | 1.60±10% |
| INDUCTANCE/PHASE(mH)@1KHz | 3.00±20% |
| HOLDING TORQUE(Nm)[lb-in] | 0.65[5.75] |
| STEP ANGLE(°) | 1.80 |
| STEP ACCURACY(NON-ACCUM) | ±5.00% |
| ROTOR INERTIA(g-cm²) | 148.00 |
| WEIGHT(Kg)[lb] | —— |
| TEMPERATURE RISE:MAX.80°C（MOTOR STANDSTILL;FOR 2PHASE ENERGIZED） | |
| AMBIENT TEMPERATURE -10°C~50°C[14°F~122°F] | |
| INSULATION RESISTANCE 100 Mohm（UNDER NORMAL TEMPERATURE AND HUMIDITY） | |
| INSULATION CLASS B 130°C[266°F] | |
| DIELECTRIC STRENGTH 500VAC FOR 1MIN.(BETWEEN THE MOTOR COILS AND THE MOTOR CASE) | |
| AMBIENT HUMIDITY MAX.85%(NO CONDENSATION) | |

*Tabla 7. Data sheet Stepper Motor 17HS24-2104S*

Recuperado de STEPPERONLINE https://www.omc-stepperonline.com/download/17HS24-2104S.pdf?srsltid=AfmBOoptGsSXipZTBcnFDCiHPQhTE27ojj3-TzLvbjvCx18pZEgOBIYo

Con esta data, se va a tomar en cuenta el STEP ANGLE del motor para encontrar el número de pasos por revolución con la siguiente expresión

$$N_{step} = \frac{360°}{STEP\ ANGLE}$$

Con los datos obtenidos en la *Tabla 1* se reemplaza en la ecuación:

$$N_{step} = \frac{360°}{1.8°} = 200\ \frac{pasos}{rev}$$

Donde,

$N_{step}$ es el número de pasos por revolución.

Con este valor, ahora es posible calcular las RPM máximas del motor. Para ello, se considera el valor de la frecuencia proporcionada por el proveedor en la Tabla 1, donde el valor máximo de frecuencia del motor es de 1000 Hz. Además, se utiliza un factor de conversión de 60 para transformar segundos a minutos. La expresión utilizada para el cálculo de las RPM es:

$$N_{max} = \frac{Frecuencia}{N_{step}}$$

Donde,

$N_{max}$ son las revoluciones por minuto del motor.

Reemplazando datos obtenemos lo siguiente:

$$N_{max} = \frac{1000\ Hz}{200} * 60 = 300\ RPM$$

El valor presentado corresponde a las revoluciones máximas a las que trabajaría el motor paso a paso (stepper) a su máxima capacidad. Con este valor, se podrá comparar las RPM requeridas por la velocidad de deposición con las RPM máximas del motor utilizado, para verificar que el stepper funcionará sin complicaciones.

**Velocidad de avance del tornillo:** El tornillo sin fin gira y produce un desplazamiento lineal del material a lo largo de su longitud. Esto depende de la velocidad angular del motor, previamente calculada en RPM, y del paso del tornillo pp, que es la distancia que avanza el material en una vuelta completa. Se debe tener en cuenta que el motor utilizado es de tipo stepper, estos motores trabajan en pasos por revolución, por lo que es muy útil conocer la velocidad angular en

revoluciones por minuto. Para calcular la velocidad de avance, se multiplican las revoluciones por minuto por el valor del paso, y este producto se divide entre 60, que es el factor de conversión de minutos a segundos, con el fin de obtener la medida adecuada para el avance del tornillo.

$$v_{avance} = \frac{N_{max} * p}{60} = \frac{300 * (9 * 10^{-3})}{60} = 45 \frac{mm}{s}$$

Donde,

$v_{avance}$ es la velocidad de avance del tornillo

**Área sección transversal tornillo:** El área de la sección transversal del tornillo define el espacio disponible para el flujo del material dentro del sistema de extrusión. Este dato permite calcular el volumen de material que puede avanzar por el tornillo en un tiempo dado. El tornillo está contenido en una carcasa cilíndrica, lo que garantiza que el material fluya en una dirección lineal y constante. Para calcular el área transversal, se utiliza la fórmula del área de un círculo:

$$A_{tornillo} = \frac{\pi * D_{tornillo}^2}{4} = \frac{\pi * (9.8 - 4.3)^2}{4} = 23.76\ mm^2$$

Donde,

$D_{tornillo}$ es el diámetro del tornillo

**Caudal volumétrico:** El caudal volumétrico se refiere al volumen de material que pasa por el sistema por unidad de tiempo. Este cálculo permite determinar la relación entre el desplazamiento del tornillo y la cantidad de material transportado. Con los valores y datos obtenidos previamente, se puede calcular el caudal volumétrico necesario para el correcto funcionamiento del sistema, realizando las multiplicaciones correspondientes y obteniendo los siguientes resultados:

$$Q = A_{tornillo} * v_{avance} = 45 * 23.76 = 1069.2 \frac{mm^3}{s}$$

Donde,

$Q$ es el caudal $[\frac{mm^3}{s}]$

$A_{tornillo}$ es el área sección transversal tornillo

$v_{tornillo}$ es la velocidad del tornillo

**Área de la boquilla del extrusor:** Para calcular el área de la boquilla del extrusor, se utiliza la fórmula del área de un círculo, basada en su diámetro. Este es un parámetro crucial, ya que al reducir el diámetro se produce un aumento en la velocidad de salida del material:

$$A_{boquilla} = \frac{\pi * D_{boquilla}^2}{4} = \frac{\pi * (2)^2}{4} = 3.14\ mm^2$$

$A_{boquilla}$ es el área de la boquilla

$D_{boquilla}$ es el diámetro de la boquilla

**Velocidad de deposición:** Para calcular la velocidad de deposición del material, se deben considerar las áreas del tornillo y de la boquilla, así como la velocidad de avance. Para ello, se aplica la ecuación de continuidad. Esta ecuación establece que, en un sistema cerrado, el caudal volumétrico es constante en todas las secciones del sistema. Por lo tanto, si hay una reducción de área (como en el caso de la boquilla), la velocidad de salida aumenta para mantener el caudal constante.

$$A_1 * v_1 = A_2 * v_2$$

En este caso se tendría la ecuación de la siguiente manera:

$$A_{tornillo} * v_{avance} = A_{boquilla} * v_{boquilla}$$

$$v_{boquilla} = \frac{A_{tornillo} * v_{avance}}{A_{boquilla}} = \frac{1069.2}{3.14} = 340\frac{mm}{s}$$

Donde,

$A_{boquilla}$ es el área de la boquilla

$A_{tornillo}$ es el área sección transversal tornillo

$v_{avance}$ es la velocidad del tornillo

$v_{boquilla}$ es la velocidad de salida del material

**Datos investigados:**

En la literatura, se encuentran diferentes rangos de valores recomendados, los cuales se pueden comparar y discutir con los calculados, las revoluciones por minutos, la presión del alimentador, la velocidad de salida y el diámetro necesario de la boquilla.

$N_{teórico}$ = 15 RPM

$P_{alimentador} = 8\,psi$ es la presión del alimentador

$v_{boquilla} = 20\frac{mm}{s}$ es la velocidad de salida

$D_{boquilla} = 2mm$

Estos datos fueron obtenidos del artículo ”3D printing of clay for decorative architectural applications: Effect of solids volume fraction on rheology and printability” y del artículo

"Rheological analysis of bio-ink for 3D bio-printing processes", escritos por los autores Shareen S.L. Chan et al. Y por el autor Ahasan Habib et al. Respectivamente.

**Cálculo de RPM partiendo de velocidad de salida**

Para calcular las revoluciones por minuto requeridas, se partió de la velocidad de deposición necesaria, basándose en los valores referenciales de la literatura. Se utiliza el valor de la velocidad de avance, multiplicado por el factor de conversión de minutos a segundos (60), dividiéndolo por el paso necesario para el funcionamiento del sistema:

$$v_{boquilla} = \frac{A_{tornillo} * v_{avance}}{A_{boquilla}}$$

$$v_{avance} = \frac{20 * \pi \left(\frac{2^2}{4}\right)}{23.76} = 2.64 \frac{mm}{s}$$

$$v_{avance} = \frac{N * P}{60}$$

$$N_{calculado} = \frac{v_{tor} * 60}{P} = \frac{2.64 * 60}{9} = 17.63\ RPM$$

Donde,

$A_{boquilla}$ es el área de la boquilla

$A_{tornillo}$ es el área sección transversal tornillo

$v_{avance}$ es la velocidad del tornillo

$v_{boquilla}$ es la velocidad de salida del material

$N_{calculado}$ es el número de revoluciones por minuto

$p$ es el paso [mm]

**Cálculo de presiones del tanque y el sistema de alimentador**

Donde,

A es el área de las entradas de los tubos [$mm^2$]

v es la velocidad del fluido [m/s]

ρ es la densidad del fluido [$kg/m^3$]

$\dot{m}_1$es el flujo masico [kg/s]

P es la presión ejercida por el fluido [kPa o psi]

L es la longitud de la manguera que transporta el fluido [m]

r es el radio de la tubería por donde se transporta el fluido [m]

μ es la viscosidad del fluido [Pa – s]

$\gamma$ es el peso específico del fluido [$N/m^3$]

El primer cálculo se basa en utilizar el principio de un tubo Venturi. Debido a que hay una reducción de área desde la sección 2 a la sección 3, se calculó la velocidad de entrada en el sistema para poder definir cuál será la velocidad del flujo en la sección del tornillo extrusor.

$$A_2 v_2 = A_3 v_3$$

$$v_2 = \frac{A_3 * v_3}{A_2}$$

$$v_2 = \frac{(\pi(1 * 10^{-3})^2) * (0.02)}{(\pi(5 * 10^{-3})^2)}$$

$$v_2 = 2.6\, mm/s$$

Esta velocidad se refiere a la velocidad del fluido dentro del extrusor. Se asume que la velocidad en el punto 1 será igual a la velocidad en el punto 2. Con esta velocidad, se calculará el flujo másico utilizando la velocidad, el área de la tubería y la densidad del fluido.

$$v_2 = v_1$$

$$v_1 = \frac{\dot{m}_1}{A_1 \rho}$$

$$\dot{m}_1 = v_1 A_1 \rho$$

$$\dot{m}_1 = (2.6 * 10^{-3})(\pi(1 * 10^{-3})^2)(1089)$$

$$\dot{m}_1 = 8.895 * 10^{-6} kg/s$$

Con el valor de flujo masico calculado, se utiliza la expresión de Hagen Poiseuille para obtener el valor de la presión a la salida del tanque.

$$\dot{m}_1 = \frac{\pi P r^4}{8 \mu L}$$

$$P = \frac{8 \dot{m}_1 \mu L}{\pi r^4}$$

$$P = \frac{8(8.9 * 10^{-6})(10)(0.85)}{\pi(1.5 * 10^{-3})^4}$$

$$P_2 = 38.031\, KPa$$

Con el valor de la presión a la salida del tanque, es posible calcular la presión de entrada del tanque para el cual usando la siguiente expresión. Es posible calcular la presión de entrada del tanque utilizando también el peso específico del fluido.

$$P_2 = P_1 - \gamma h$$

$$P_1 = P_2 + \gamma h$$

$$P_1 = 38.031 + (10683.1 * 1.2)$$

$$P_1 = 38.031 + 12.819$$

$$P_1 = 50.85\ KPa = 7.38\ Psi$$

Como se indicó anteriormente, se recomienda una presión de 8 psi. Para este sistema en particular, la presión recomendada de uso es de 7.38 psi. Todas las fórmulas utilizadas anteriormente para el cálculo de las presiones fueron obtenidas del libro *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications*, escrito por Yunus A. Çengel.

A partir de los valores obtenidos en los cálculos y en la literatura, se puede observar que los valores manejados son muy cercanos. Esto es correcto, ya que indica que el manejo y la operación del sistema se encontrarán en un óptimo funcionamiento. La literatura muestra que el valor de las revoluciones por minuto es de 25, y en los cálculos, el valor obtenido es de 17.63. El diámetro para utilizar en la boquilla es de 2 mm, la velocidad de salida del material es de 12 mm/s y la presión del compresor necesaria para el sistema de alimentación es de 8 psi.
Por lo tanto, la ecuación gobernante del sistema resultaría de la siguiente forma:

$$P_{comp} = \gamma h_{tanque} + \rho \left\{ f \frac{L}{D} \frac{v_2}{2} - \left[ \left( (v_2)^2 \left( \frac{d_2^2}{d_1^2} \right) \right) - \gamma (h_{1,y} - h_{2,y}) \right] \right\}$$

$$v_2 = \frac{d_2^2}{(d_e - d_i)^2}\left[v_4 \frac{d_4^2}{(d_e - d_i)^2} - w(r_e - r_i)\right]$$

**Diseño del tanque para el sistema alimentador y soporte del tanque**

Para el diseño del tanque para el sistema de alimentador, se va a asumir inicialmente un espesor del tanque para realizar el cálculo iterativo, el cual va a dar un espesor real en función del valor del esfuerzo de fluencia del material.

*Figura 17. Tanque alimentador*

Donde,

t es el espesor que van a tener las paredes del tanque [mm].

$d_e$ y $d_i$ son los diametros interno y externo del tanque [mm].

$d'_e$ y $d'_i$ son las diametros recalculados interno y externo del tanque [mm].

Siendo las medidas iniciales:

*Tabla 8. Valores iniciales para diseñar el tanque alimentador*

| Variable | Valor |
|---|---|
| $d_e$ | 114.3 mm |
| $d_i$ | 101.6 mm |
| $d_e'$ | 120 mm |
| $d_i'$ | 100 mm |
| t | 3 mm |

$$td = \frac{0.0005 * D * (H - 30.48G)}{Sd} + C\ [mm]$$

$$td = 0.23\ mm$$

Diseño de espesor del tanque para tanques de almacenamiento según la norma API 650, en la expresión anterior D representa el diámetro nominal del tanque, pero debido a que el tanque es de forma rectangular se utilizó una suposición con una corrección de diámetro. H representa la altura de diseño del tanque la cual representa la altura máxima a la cual el fluido va a estar dentro del tanque. G es la densidad relativa del fluido, Sd es el esfuerzo permisible por condición de prueba hidrostática, la cual por condiciones de diseño tiene que ser un 90% del esfuerzo de fluencia del material del tanque y C representa la corrosión permisible del material.

$$G = \frac{\rho_{fluido}[kg/m^3]}{\rho_{H2O}[kg/m^3]}$$

$$D = \frac{a}{2}\ [mm]$$

Para poder calcular cual es la fuerza ejercida por el tanque vacío y el fluido, es necesario calcular los volúmenes tanto del tanque vacío como del volumen que va a ocupar el fluido.

$$V_e = \pi * (r_e - r_i) * h[m^3]$$

$$V_f = \pi * r_i * h\ [m^3]$$

Estos son los volúmenes necesarios para poder calcular la fuerza resultante ejercida por ambos cuerpos.

$$\rho = \frac{m\ [kg]}{V\ \ [m^3]}$$

$$V = \frac{m\ [kg]}{\rho\ \ [kg/m^3]}$$

Usando la fórmula de la densidad, es posible calcular cual es la masa correspondiente de cada cuerpo y así para poder calcular la fuerza ejercida en el soporte del tanque de almacenamiento. El cual está indicado en el siguiente diagrama de cuerpo libre.

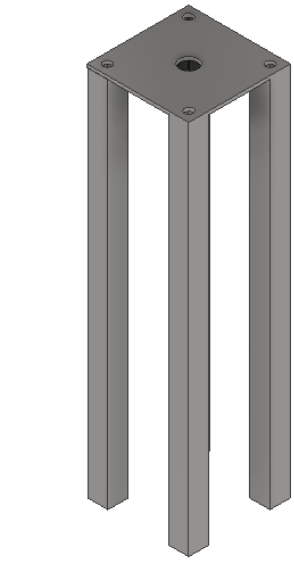


*Figura 18. Mesa de soporte del alimentador*

$$m_e = \rho_{aluminio}[\pi * (r_e - r_i) * h] \ [kg]$$

$$m_f = \rho_{fluido}[\ \pi * r_i * h]\ [kg]$$

$$w = g * m_t\ [N]$$

$$w_t = 9.81 * \left(m_e + m_f\right)\ [N]$$

$$w_t = 9.81\left[\left(\rho_{acero}[\pi * (r_e - r_i) * h]\right) + \left(\rho_{fluido}[\pi * r_i * h]\right)\right]\ [kN]$$

$$M_t = w_t * \delta\ [kN - mm]$$

$$\sigma = \frac{M_t * y}{I}\ [MPa]$$

$$\sigma = \frac{(w_t * \delta) * y}{\frac{1}{12} b_I * \left({h_I}^3\right)}$$

$$\sigma = 0.528\ MPa$$

Esta expresión, es el esfuerzo aplicado por el momento flector. En esta expresión y es la distancia del eje neutro y I es la inercia polar.

$$FS = \frac{Sy}{\sigma}$$

$$FS = \frac{400\ MPa}{0.528\ MPa}$$

$$FS = 757.6$$

Este valor de 757.6 que se obtiene para el factor de seguridad nos quiere decir que el diseño es más que seguro. Por lo que no se corre riesgo alguno de que la mesa de soporte colapse o falle, incluso con el tanque lleno de biomaterial, ya que está diseñada para poder soportar aún más peso. Por otro lado, se podría trabajar en una segunda iteración bajando el número obtenido en el factor de seguridad.

**Diseño del soporte del extrusor**

Para diseñar el sistema del extrusor, se va a usar la siguiente geometría como base:

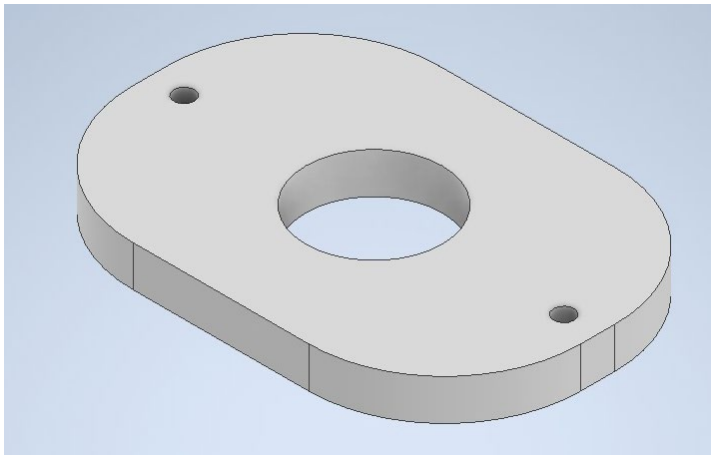


*Figura 19. Sistema de soporte del extrusor*

$$L_T = 2d + 6\ [mm]$$

Donde según el autor,

$$L \leq 125; d \leq 48.$$

Donde, ld es la longitud de la porción sin el hilo dentro que está siendo aplicada por el material.

$$l_d = L - L_T\ [mm]$$

$$l_d = 12\ mm - 9.2\ mm$$

$$l_d = 2.8\ mm$$

Donde lt es la longitud de la porción con el hilo en la porción del agarre.

$$l_t = l - l_d\ [mm]$$

$$l_t = 6\ mm - 2.8mm$$

$$l_t = 3.2\ mm$$

Donde Ad es el área de la porción sin hilo y At es el área de la porción con el hilo.

$$A_d = \frac{\pi d^2}{4}[mm^2]$$

$$A_d = \frac{\pi(1.6\ mm)^2}{4}[mm^2]$$

$$A_d = 2.01\ mm^2$$

$$A_t = 1.27\ mm^2$$

$$k_b = \frac{A_d * A_t * E}{A_d l_t + A_t l_d} \ [kN/mm]$$

$$k_b = 0.4345 \ kN/mm$$

$$k_m = \frac{0.5774\pi * E * d}{2 * \ln\left(5 * \frac{0.5774l * 0.5d}{0.5774l + 2.5d}\right)} [kN/mm]$$

$$k_m = 2.35 \ kN/mm$$

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m}$$

$$C = 0.15607$$

Para poder calcular el valor de la fuerza ejercida en el sistema hacia los pernos de sujeción. Este valor se puede calcular de la siguiente manera:

$$P_{Total} = w * g \ [N]$$

$$P_{Total} = 49.05 \ N$$

Ya que se está usando el valor del peso del extrusor multiplicado por el valor de la gravedad para tener cual es la fuerza ejercida por el extrusor.

$$P = P_{Total}/N$$

$$P = 49.05 \ [N]/ \ 4$$

$$P = 7.655 \ N$$

Siendo P el valor de la porción de la fuerza parcial que es tomada por cada perno, ahora se va a calcular la fracción de la fuerza externa P que afecta a cada perno. En este caso, para calcular

el valor de la precarga que se le puede aplicar al perno, se lo tiene que calcular utilizando la siguiente expresión:

$$F_i = k * P_{proof}$$

Donde, $P_{proof}$ es la carga máxima que puede soportar el perno sin sufrir una defromacion permanente, este valor se encuentra entre el 85 % al 90 % del esfuerzo de fluencia, en este caso se va a utilizar el 90% del esfuerzo de fluencia. Por ende, se lo puede calcular de la siguiente manera:

$$P_{proof} = (0.85 \leq 0.9)Sy$$

Por ende, el valor de $P_{proof}$ es de 184.5 Mpa, por lo tanto, se puede calcular el valor de la precarga calculandolo con el valor de k, el cual es un factor de seguridad critico asumido, el cual típicamente se encuentra entre 0.6 y 0.8. En este caso se va a utilizar un valor de 0.6, finalmente se puede encontrar que el valor de la precarga es de 110.7 N.  Por lo tanto, se pude calcular de la siguiente manera el factor de seguridad de la junta enpernada:

$$P_b = \frac{k_b * P}{k_b + k_m} = C * P$$

$$P_b = 0.15607 * 7.6555\ N$$

$$P_b = 1.195\ N$$

$$\eta_P = \frac{S_P * A_t}{CP + F_i}$$

$$\eta_P = \frac{225\ Mpa * 1.26\ mm^2}{(0.15697 * 7.65\ KN) + 0.1107\ \ KN}$$

$$\eta_P = 216.2$$

Se obtiene factor de seguridad de 216.2, por lo que se puede tener total seguridad en que, si el soporte del extrusor opera a su máxima capacidad, no fallará. Como consecuencia se puede utilizar esta pieza repetidas veces casi sin preocuparse porque se dañe e incluso no requiere un mantenimiento exhaustivo.

**Diseño del extrusor**

*Figura 20. Imagen referencial de un extrusor*

Para el diseño del sistema del extrusor que va a contener el tornillo sin fin, se va a inicialmente suponer un factor de seguridad de 2, el cual al momento de usar la ecuación del factor de seguridad usando la siguiente ecuación:

$$FS = \frac{Sy}{\sigma}$$

$$\sigma = \frac{Sy}{FS}$$

$$\sigma = \frac{235\ MPa}{2}$$

$$\sigma = 117.5\ MPa$$

Dado el esfuerzo tangencial que se tiene que aplicar en el extrusor, este se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Donde este esfuerzo está dado por la fuerza tangencial ejercida por el fluido divida por el área transversal de la estructura. Esta fuerza, está dada por la siguiente expresión:

$$F = \dot{m} * a_t$$

Y la aceleración tangencial está dada por la siguiente expresión:

$$a_t = \omega^2 * r$$

Donde omega es la velocidad tangencial y r es el radio por el cual el fluido está circulando, reemplazando las anteriores expresiones en la ecuación original de la fuerza tangencial, el esfuerzo está dado por la siguiente expresión:

$$\sigma = \frac{\dot{m} * (\omega^2 * r)}{A}$$

Para poder calcular el área transversal se puede usar la siguiente expresión:

$$A = \pi(r_{ext} - r_{int})^2$$

La cual la expresión final tendría la siguiente forma:

$$\sigma = \frac{\dot{m} * (\omega^2 * r_{int})}{\pi(r_{ext} - r_{int})^2}$$

Asumiendo inicialmente un radio interno de 10 mm y que la diferencia entre el radio exterior e interior es igual al espesor del extrusor, se puede reemplazar los valores previamente calculados para obtener el valor para el espesor del extrusor.

$$\sigma = \frac{\dot{m} * (\omega^2 * r_{int})}{\pi(t)^2}$$

$$117.5\ MPa = \frac{(2.5 * 10^{-5} kg/s) * ((1.834\ rad/s)^2 * (10\ mm))}{\pi(t)^2}$$

Resolviendo para t, el valor del espesor mínimo requerido para el extrusor sería de aproximadamente, 1.509x10$^{-3}$ mm. Ya que es físicamente imposible maquinar un espesor de esa magnitud, se va a tomar un mínimo espesor de 3 mm, para poder calcular el factor de seguridad del extrusor. Lo cual resultaría de la siguiente manera:

$$\sigma = \frac{(2.5 * 10^{-5} kg/s) * ((1.834\ rad/s)^2 * (10\ mm))}{\pi(3\ mm)^2}$$

$$\sigma = 2.97 * 10^{-5} MPa$$

$$FS = \frac{Sy}{\sigma}$$

$$FS = \frac{235\ MPa}{2.97 * 10^{-5} MPa}$$

$$FS = 7901718$$

Este resultado del cálculo para el factor de seguridad indica que el extrusor puede operar sin riesgo alguno a fallar, esto gracias a su diseño estructural con el fin de tener un diseño seguro y confiable. Por lo que la presión utilizada en el proyecto no presentará un problema al momento de su funcionamiento.

**Ecuación gobernante del sistema, compresor – velocidad de salida**

Para determinar una función general de estado, que relacione la presión de entrada y la velocidad de salida del extrusor, se va a dividir el sistema en diferentes subsistemas para poder realizar los diferentes cálculos. Primeramente, se va a calcular la presión de salida del tanque de alimentación en función de la presión hidrostática y la presión ejercida por el compresor el cual va a tener la siguiente forma:

$$P_{compresor} = P_{salida,tanque} - \gamma h_{tanque}$$

A continuación, se va a utilizar la ecuación de Bernoulli para identificar la velocidad de salida del tanque, considerando perdidas de presión por fricción la cual tiene como resultado de la siguiente manera:

$$P_{sal,tanque} + \frac{1}{2}\rho(v_1^2 - v_2^2) + \gamma\left(h_{1,y} - h_{2,y}\right) = P_{Friccion}$$

Posterior a esto, se considera desde la entrada del extrusor, es decir desde la salida de la manguera hasta antes del cambio de sección de área, para poder calcular el cambio de velocidad con los cambios de área se considera la ecuación de continuidad:

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_3$$

Finalmente, para calcular los cambios de área y de sección se puede utilizar las siguientes expresiones para flujo másico y de área.

$$A_3 = \frac{\pi(d_e - d_i)^2}{4}$$

$$\dot{m}_3 = v_3^2 * A_3 * \rho$$

Por lo tanto, la ecuación gobernante del sistema resultaría de la siguiente forma:

$$P_{comp} = \gamma h_{tanque} + \rho\left\{f\frac{L}{D}\frac{v_2}{2} - \left[\left((v_2)^2\left(\frac{d_2^2}{d_1^2}\right)\right) - \gamma\left(h_{1,y} - h_{2,y}\right)\right]\right\}$$

$$v_2 = \frac{d_2^2}{(d_e - d_i)^2}\left[v_4\frac{d_4^2}{(d_e - d_i)^2} - w(r_e - r_i)\right]$$

En donde se define que $P_{comp}$, es la presión de entrada del compresor como la incógnita a buscar, y $v_4$ es la variable conocida de 12 mm/s. Dado los radios y diámetros conocidos, alturas de mangueras y finalmente los factores de rugosidad de la manguera, densidad del material y frecuencia del motor stepper, se determinó que es necesaria una presión de compresor de 7.38 psi.

**Vibración del extrusor**

Para identificar las vibraciones que potencialmente pueden afectar al sistema, es necesario conocer la frecuencia natural del sistema. Para identificar la frecuencia del sistema se va a asumir como un sistema masa resorte. El cual se puede calcular utilizando la siguiente expresión:

$$frecuencia\ natural = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Donde m es la masa del sistema extrusor. Para calcular k o el módulo de rigidez a flexión del sistema es necesario calcular cual es la ecuación necesaria según su geometría. Para esto es necesario utilizar la ecuación del módulo de rigidez a flexión para geometrías cilíndricas de la siguiente manera:

$$k = \frac{3EI}{l^3}$$

Para calcular cual es el momento de inercia se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$I = \frac{\pi}{64}(D_{ext}^4 - D_{int}^4)$$

Lo que finalmente resulta en la siguiente tabla de valores:

*Tabla 9. Resultados de vibraciones en el sistema extrusor*

| Variable | Valores |
|---|---|
| I | $\frac{9375}{4}\pi\ mm^4$ |
| k | $46034.44\ N/m$ |
| w | $239.9\ Hz$ |
| $f_{resonancia}$ | $540\ Hz$ |

En la tabla adjunta se puede identificar que la frecuencia natural del sistema no es la misma que la frecuencia en resonancia, lo que por ende se puede concluir que el sistema no se encuentra a resonancia.

**Simulaciones.**

***Simulación estructural para el soporte del alimentador.***

Esta simulación permite visualizar los esfuerzos de Von Misses, los cuales son esfuerzos teóricos calculados los cuales se pueden visualizar que son más críticos en las secciones donde existe una mayor deformación.

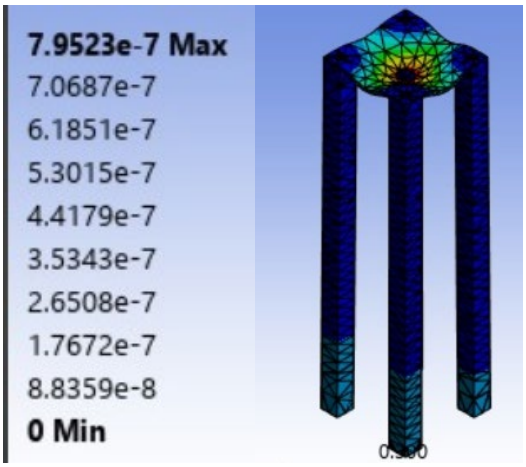



*Figura 21. Simulación estructural del soporte usando Von Misses*

Esta simulación permite visualizar los valores de factor de seguridad, la cual permite visualizar en que secciones del soporte del alimentador tiene una mayor probabilidad de fallar, en este caso no es probable que el sistema falle por la carga que se le está aplicando.

***Simulación estructural de deformación del extrusor***

Esta simulación permite la visualización de la deformación del extrusor, se puede observar las diferentes deformaciones que sufre el extrusor, producido por la presión interna tangencial del material.

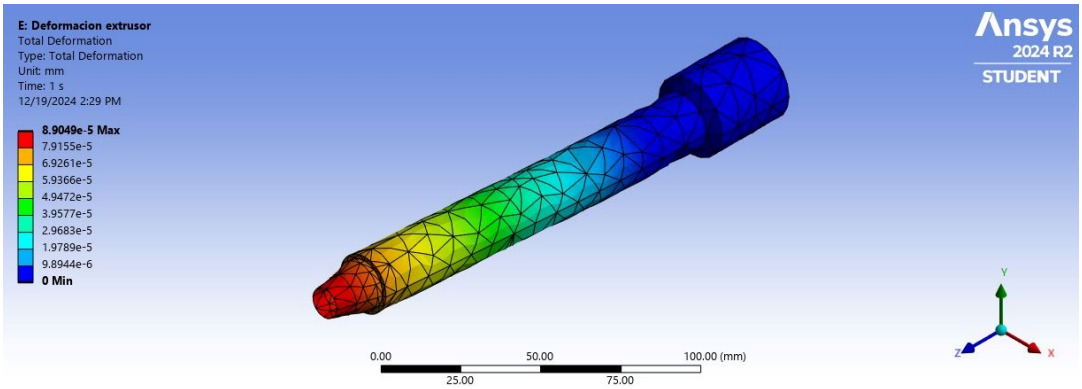



*Figura 22. Deformación estructural del extrusor*

La simulaciónn demuestra que los valores de deformación se encuentran entre los rangos de 0 mm hasta los 0.000089049 mm, lo que nos indica que dado a las bajas presiones del fluido y su baja velocidad rotacional se puede ver que el extrusor no sufre una deformación considerable. Es importante notar que la zona en donde el extrusor sufre una mayor deformación es en la zona superior, es decir donde se ubica la boquilla para la impresión, debido a que el extrusor tiene un diseño el cual en su punta tiene un menor espesor.

***Simulación estructural de deformación del tanque de almacenamiento***

En esta simulación se va a identificar cuáles son las deformaciones estructurales que sufre el tanque de almacenamiento debido a la fuerza que ejerce el fluido. Con las presiones hidrostáticas consideradas y adicional a esto con la presión de entrada del compresor de igual manera considerada. Por lo que resulto en la siguiente simulación:

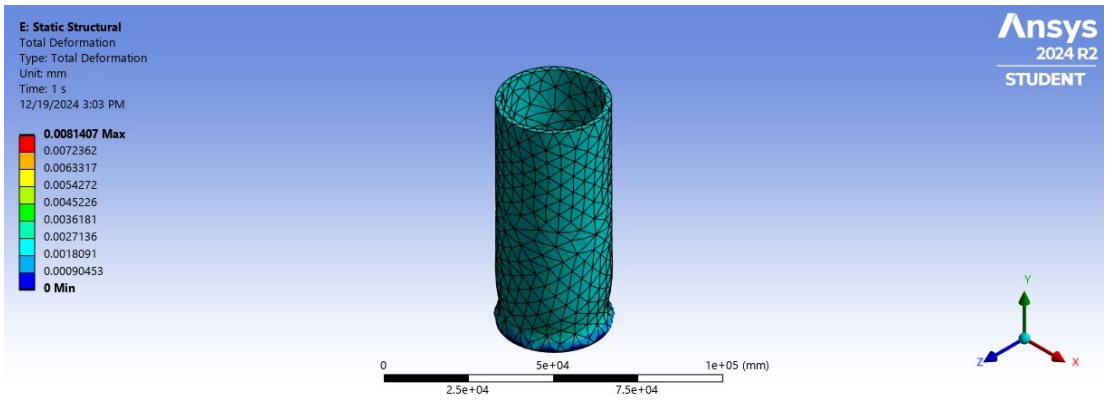



*Figura 23. Deformación estructural del tanque de almacenamiento*

Se puede observar que la mínima deformación que puede llegar a tener el tanque es de 0 mm y la máxima deformación es de 0.0081407 mm, esto quiere decir que a la presión de operación del sistema el tanque no va a sufrir una deformación considerable.

***Simulación de continuidad del flujo del fluido en el extrusor***

En la simulación que se encuentra a continuación, se puede observar cual es la presión tangencial del fluido. Se considera como la entrada del flujo, la entrada del material donde se ubica el racor conectado a la manguera que conecta a la salida y la salida del fluido como la punta que tiene el extrusor donde se ubica las boquillas. Por lo que se obtuvo el siguiente resultado:

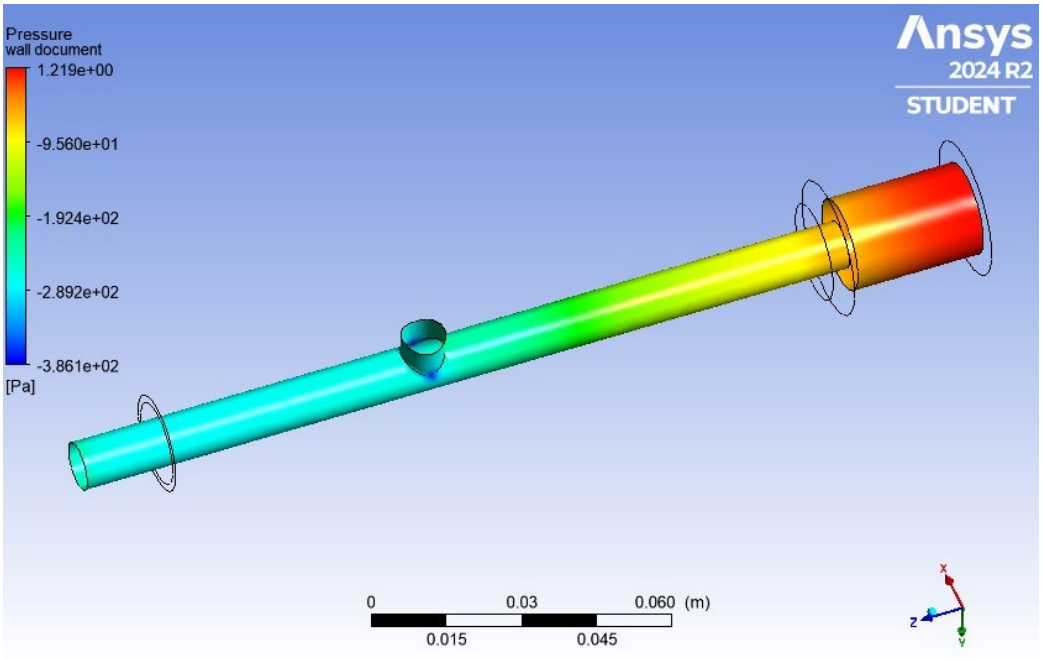



*Figura 24. Presión interna ejercida por el fluido en el extrusor*

Se observa que en el tanque extrusor la mayor presión que puede sufrir es de 1.219 Pascales, este valor de presión se ubica en la parte posterior del extrusor debido a que ya que el tornillo sin fin se encuentra en la parte interior del extrusor. El tornillo sin fin tiene cambios de sección del diámetro interno de este. Hacia la punta este tornillo sin fin tiene un diámetro menor y hacia la base del tornillo sin fin, el diámetro aumenta considerablemente, por lo que genera una mayor presión en el tanque.

***Simulación de la deformación dada la frecuencia en el extrusor***

Finalmente, la última simulación realizada fue una simulación de vibraciones. Los cuales se utilizaron “user defined solutions” para determinar la deformación dada la frecuencia natural del sistema. En la siguiente imagen se puede observar la deformación máxima que podría sufrir el extrusor dado un movimiento brusco inesperado.

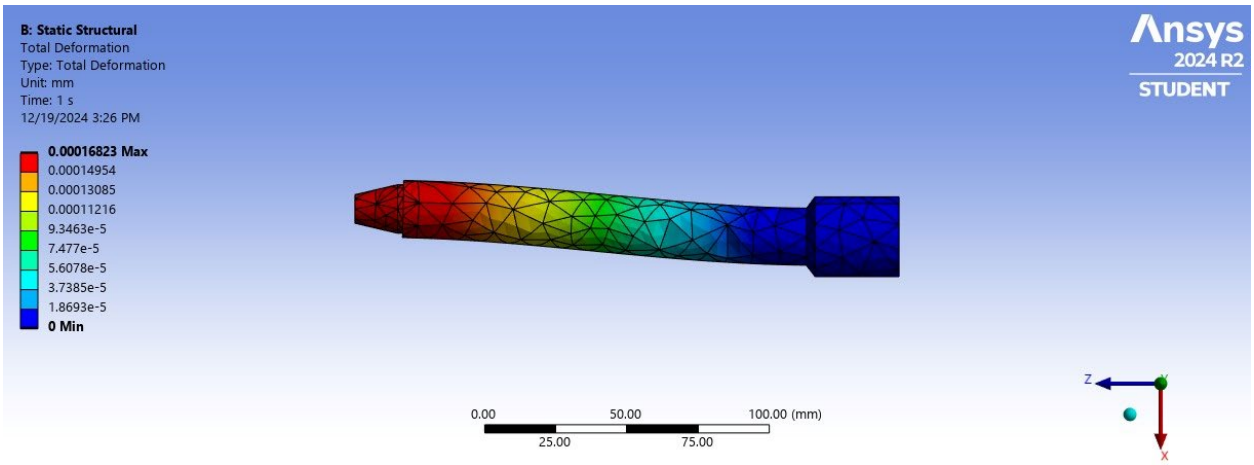



*Figura 25. Vibración máxima del sistema*

Se puede interpretar de esta simulación que los movimientos dados por el movimiento de la impresora y las bajas velocidades de impresión de este, el extrusor no presentaría vibraciones considerables.

**Experimentos.**

Los diferentes experimentos que se realizaron para este proyecto fueron enfocados con el objetivo de determinar la configuración ideal de impresión evaluando cual es la velocidad de deposición de material con la relación de boquilla ideal utilizada. Para esto se comparó con los valores teóricos obtenidos y encontrados. En este caso a partir de la teoría se determinó una velocidad recomendada de 12 mm/s, se calculó con un diámetro de boquilla de 2 mm y con una velocidad de deposición de 12 mm/s utilizando una presión de compresor de 7 psi como entrada. Se determinaron realizar pruebas comparando diferentes boquillas a una velocidad constante,

diferentes velocidades de impresión utilizando diferentes boquillas y diferentes impresiones con geometrías diferentes como círculos y cuadrados. De igual manera se realizaron 4 pruebas de una misma geometría base de impresión. Finalmente, se realizaron pruebas para determinar los diferentes valores de altura en una impresión a partir de una geometría cilíndrica base.

## 3.2 Plan de pruebas de prototipos

### Datos de impresión con variación de velocidad.

En la siguiente tabla, se considera las diferentes mediciones para la prueba de variación de velocidad, utilizando una velocidad de impresión de 15 mm/s y de 12 mm/s.

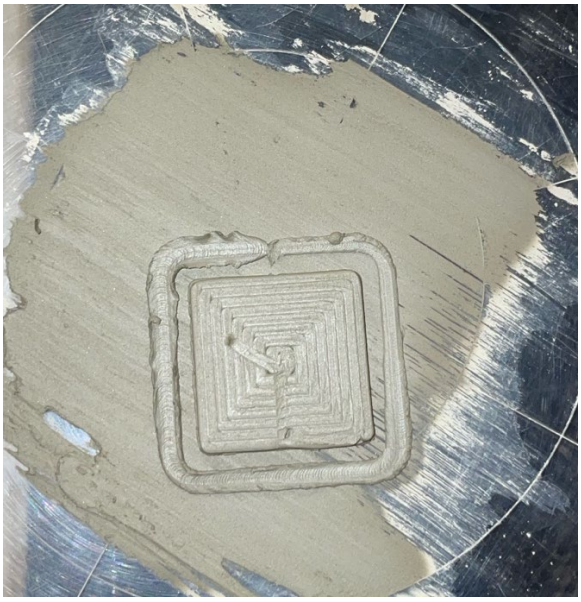


*Figura 26. Prueba de velocidad a 15 mm/s*

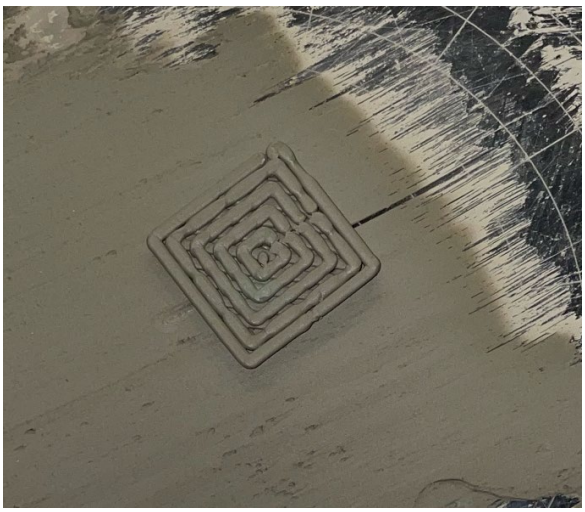


*Figura 27. Prueba de velocidad a 12 mm/s*

Por lo tanto, al momento de realizar las pruebas se obtuvieron los siguientes resultados:

*Tabla 10. Velocidad de deposición de 12 mm/s*

| **Velocidad 12 mm/s** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Intento** | **Medida [mm]** | **Calidad (0-10)** | **Estabilidad (0-10)** | **Espesor mm** |
| 1 | 36,2 | 8 | 9 | 5,42 |
| 2 | 35,81 | 7 | 8 | 5,6 |
| 3 | 35,03 | 6 | 9 | 5,24 |
| 4 | 36,21 | 8 | 7 | 5 |
| 5 | 35,45 | 8 | 8 | 4,65 |
| 6 | 35,05 | 9 | 9 | 5,22 |
| 7 | 36,22 | 5 | 6 | 4,44 |
| 8 | 34,37 | 5 | 6 | 4,82 |
| 9 | 34,1 | 7 | 8 | 4,07 |
| Original | 35 | 10 | 10 | 4 |

*Tabla 11. Velocidad de deposición de 15 mm/s*

| **Velocidad 15 mm/s** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Intento** | **Medida [mm]** | **Calidad (0-10)** | **Estabilidad (0-10)** | **Espesor mm** |
| 1 | 31,33 | 6 | 4 | 3,13 |
| 2 | 29,14 | 5 | 1 | 3,82 |
| 3 | 29,91 | 6 | 3 | 3,71 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 4 | 30,45 | 4 | 6 | 3,52 |
| 5 | 29,91 | 7 | 7 | 3,37 |
| 6 | 31,2 | 6 | 5 | 3,15 |
| 7 | 30,43 | 5 | 7 | 3,95 |
| 8 | 31,05 | 4 | 6 | 3 |
| 9 | 30,5 | 3 | 5 | 3,31 |
| Original | 35 | 10 | 10 | 4 |

En las tablas se muestra cómo se realizaron diferentes mediciones utilizando un calibrador y exámenes visuales de calidad y estabilidad, posterior a esto se realizaron mediciones de diámetro del cordón.

**Datos de impresión con variación de boquilla.**

En las tablas a continuación, se encuentra los diferentes valores medidos utilizando una misma velocidad de impresión con diferentes boquillas, para esta medición se utilizaron dos boquillas de 4 mm y de 2 mm, considerando una velocidad de impresión de 12 mm/s. Por lo tanto, se obtuvo diferentes tablas con los valores medidos de diámetro de cordón de la impresión:

*Tabla 12. Boquillas de 4 mm de diámetro*

| **Boquilla 4 mm** | | | |
|---|---|---|---|
| **Intento** | **Medida [mm]** | **Calidad (0-10)** | **Estabilidad (0-10)** |
| 1 | 3,63 | 6 | 7 |
| 2 | 3,17 | 7 | 8 |
| 3 | 3,26 | 8 | 9 |
| 4 | 3,14 | 9 | 7 |
| 5 | 4,32 | 4 | 5 |
| 6 | 4,18 | 3 | 6 |
| 7 | 4,12 | 2 | 5 |
| 8 | 3,25 | 6 | 6 |
| 9 | 3,31 | 5 | 5 |
| Original | 4 | 10 | 10 |

*Tabla 13. Boquilla de 2mm de diámetro*

| Boquilla 2 mm | | | |
|---|---|---|---|
| **Intento** | **Medida [mm]** | **Calidad (0-10)** | **Estabilidad (0-10)** |
| 1 | 2,55 | 8 | 8 |
| 2 | 2,31 | 8 | 7 |
| 3 | 2,14 | 6 | 7 |
| 4 | 2,83 | 5 | 7 |
| 5 | 2,24 | 8 | 5 |
| 6 | 2,23 | 9 | 8 |
| 7 | 2,14 | 9 | 8 |
| 8 | 2,8 | 6 | 7 |
| 9 | 2,56 | 6 | 7 |
| Original | 2 | 10 | 10 |

En las tablas se observa los diferentes valores medidos en los cordones de la impresión y de igual manera se realizaron exámenes visuales de calidad y estabilidad del cordón.

En este caso, algunos de los intentos que se imprimeron resultaron de la siguiente manera:

*Figura 28. Impresión usando boquilla de 2 mm*

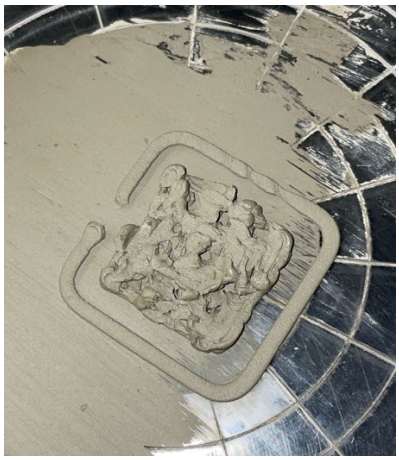


*Figura 29. Impresión usando boquilla de 4mm*

En las imágenes anteriores se puede apreciar que la boquilla de 4 mmm, presenta una menor calidad de impresión contra la impresión usando una boquilla de 2 mm.

**Datos de impresión con diferentes geometrías planares.**

Para las pruebas de impresión utilizando diferentes geometrías planares, es decir, que se escogieron diferentes geometrías con una sola capa de impresión, esto con el fin de evaluar el comportamiento de la impresión y cuál era la calidad y estabilidad de la impresión. Por lo tanto, se obtuvieron los siguientes datos:

*Tabla 14. Impresión de geometría circular*

| **Circular** | | |
|---|---|---|
| **Intento** | **Calidad (0-10)** | **Estabilidad (0-10)** |
| **1** | 6 | 3 |
| **2** | 5 | 5 |
| **3** | 8 | 6 |
| **4** | 7 | 7 |
| **5** | 7 | 9 |
| **6** | 6 | 8 |
| **7** | 9 | 6 |
| **8** | 6 | 7 |
| **9** | 7 | 8 |
| **10** | 8 | 9 |

*Tabla 15. Impresión de geometría cuadrada*

| Cuadrada | | |
|---|---|---|
| **Intento** | **Calida (0-10)** | **Estabilidad (0-10)** |
| **1** | 4 | 3 |
| **2** | 5 | 4 |
| **3** | 7 | 5 |
| **4** | 4 | 2 |
| **5** | 6 | 6 |
| **6** | 8 | 7 |
| **7** | 7 | 6 |
| **8** | 6 | 8 |
| **9** | 7 | 7 |
| **10** | 5 | 6 |

En las tablas se presenta que se realizaron pruebas de geometrías planares circulares y geometrías planares cuadradas. Por lo tanto, se observa que se realizaron medidas de calidad y estabilidad por medio de exámenes visuales. Ya que para los exámenes se utilizó una configuración de impresión con una velocidad de impresión de 12 mm/s y con una boquilla con diámetro de salida de 2 mm.

*Figura 30. Geometría Circular*

*Figura 31. Geometría cuadrada*

En las imágenes adjuntas se puede observar que la geometría cricular impresa tiene una mejor calidad de impresión que la geometría cuadrada, lo que nos indica la facilidad de impresión que tiene el sistema al momento de imprimir geometrías con ángulos más amplios.

**Pruebas de las 5 diferentes probetas**

La prueba las 5 probetas, fue realizada en base a una geometría determinada por su complejidad de impresión, ya que esta geometría en específico tiene desniveles en su superficie, se realizaron 5 diferentes pruebas en los cuales se escogieron diferentes configuraciones de velocidad de impresión y diferentes diámetros de boquillas. Se utilizaron rangos de velocidad de 20 mm/s a 10 mm/s y con boquillas de 4 mm, 2 mm y de 1 mm de diámetros de boquilla.

*Tabla 16. Medidas de las 5 geometrías*

| | **Prueba 1** | **Prueba 2** | **Prueba 3** | **Prueba 4** | **Prueba 5** |
|---|---|---|---|---|---|
| **Espesor** | 4 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| **Longitud** | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| **Boquilla** | 4 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| **Velocidad de impresión** | 20 | 15 | 13 | 12 | 10 |
| **Medida 1 (espesor)** | 3,11 | 2,28 | 1,51 | 1,59 | 1,04 |
| **Medida 2** | 3,1 | 2,3 | 1,64 | 1,7 | 0,59 |
| **Medida 3** | 3,52 | 2,37 | 1,88 | 1,74 | 0,68 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Medida 4** | 3,04 | 2,33 | 1,46 | 1,72 | 0,58 |
| **Medida 5** | 3,54 | 2,44 | 1,74 | 1,99 | 0,72 |
| **Medida 6** | 4,47 | 2,17 | 1,87 | 1,92 | 0,26 |
| **Longitud 1 (Largo)** | 29,77 | 29,23 | 30,62 | 30,05 | 30,32 |
| **Longitud 2** | 30,3 | 29,64 | 30,99 | 30,25 | 30,26 |
| **Longitud 3** | 30,8 | 29,89 | 30,53 | 30,3 | 30,39 |
| **Longitud 4** | 30,9 | 30,08 | 30,94 | 30,87 | 31,45 |
| **Longitud 5** | 30,7 | 29,67 | 30,66 | 29,93 | 31,12 |
| **Longitud 6** | 30,24 | 29,98 | 30,81 | 30,85 | 30,46 |
| **Calidad** | 2 | 5 | 6 | 8 | 9 |
| **Consistencia** | 0 | 5 | 8 | 8 | 7 |

Considerando las pruebas realizadas se puede observar se realizaron mediciones de cordón de la impresión, longitud de la impresión, su calidad y su consistencia.

A continuación, se va a presentar las diferentes pruebas impresas para las medidas presentadas anteriormente:

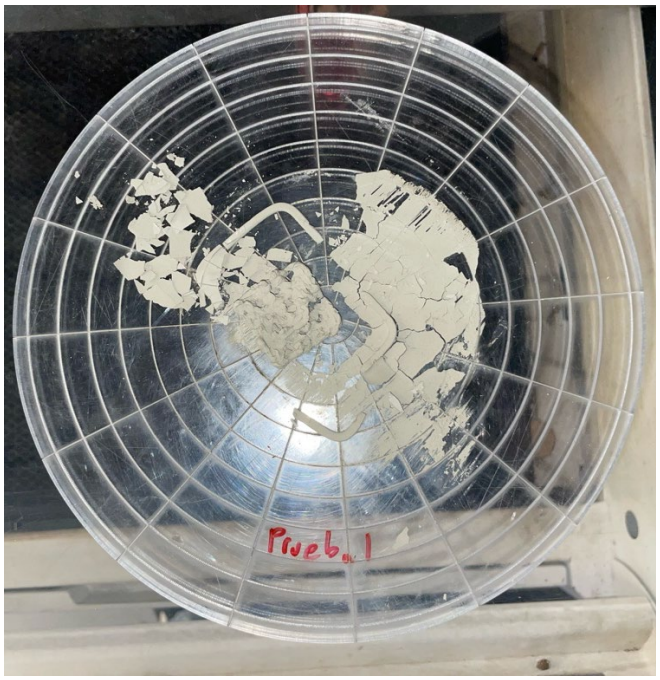



*Figura 32. Probeta impresa número 1*

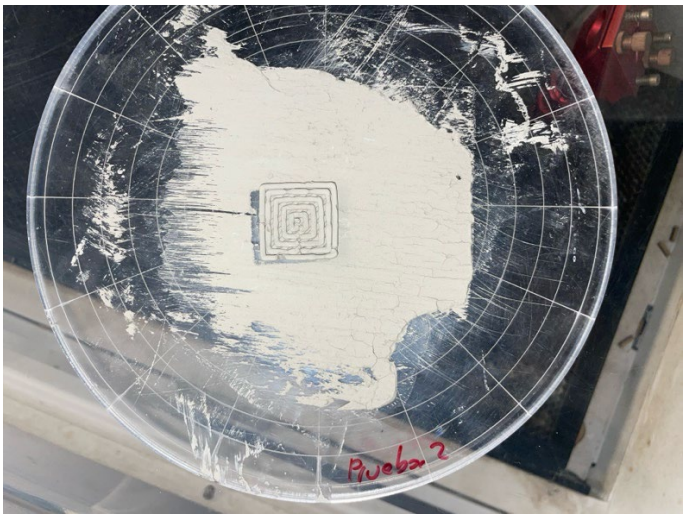



*Figura 33. Probeta impresa número 2*

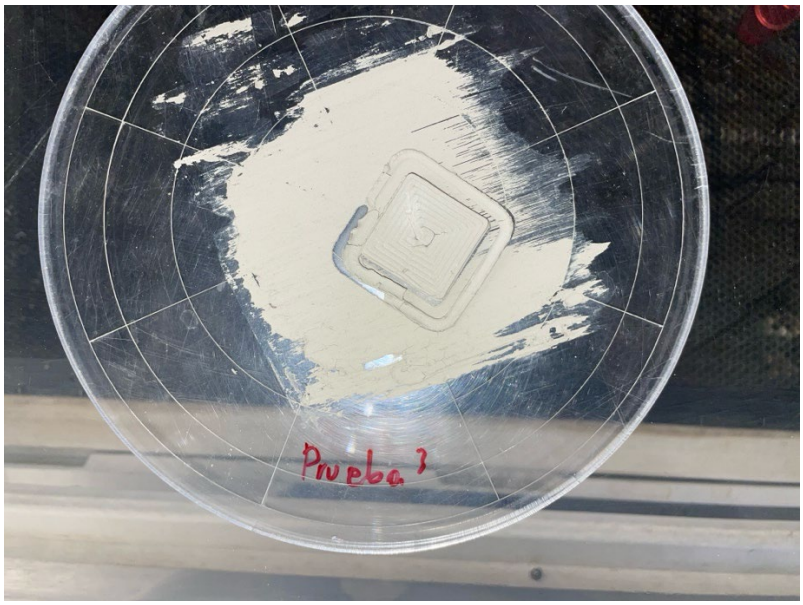



*Figura 34. Probeta impresa número 3*

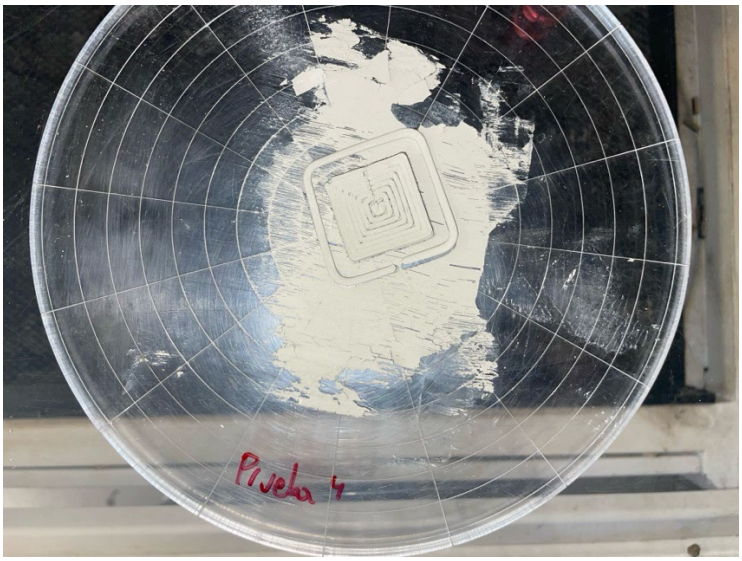



*Figura 35. Probeta impresa número 4*

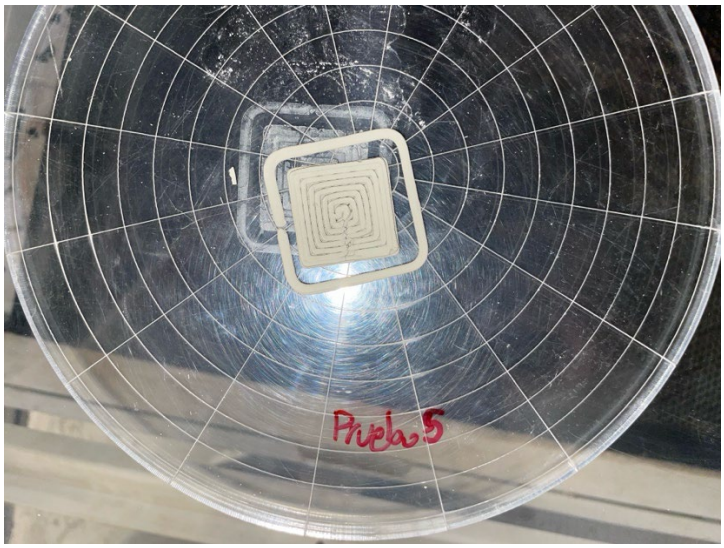



*Figura 36. Probeta impresa número 5*

Las imágenes anteriormente presentadas indica una mejora de las impresiones a medida que se configuran los diferentes parámetros de impresión lo que provoca un cambio notable en la consistencia y estabilidad de las impresiones.

**Prueba de altura.**

La prueba de altura se realizó con el fin de evaluar y contrastar la altura de la impresión con la medida original del modelo 3D, a continuación, se muestran los resultados obtenidos:

*Tabla 17. Test de Alturas*

| **Test de altura** | |
|---|---|
| **Espesor 1** | 2,76 |
| **Espesor 2** | 2,47 |
| **Espesor 3** | 2,92 |
| **Espesor 4** | 2,33 |
| **Espesor 5** | 2,86 |
| **Altura 1** | 19,34 |
| **Altura 2** | 19,81 |
| **Altura 3** | 18,51 |
| **Altura 4** | 18,37 |
| **Altura 5** | 20,23 |
| **Diámetro 1** | 40,86 |
| **Diámetro 2** | 40,15 |
| **Diámetro 3** | 40,21 |
| **Diámetro 4** | 38,45 |
| **Diámetro 5** | 39,86 |
| **ESPESOR** | 2 |
| **ALTURA** | 20 |
| **DIAMETRO** | 40 |

Se observa que se realizaron calificaciones de calidad y estabilidad de la impresión, medida de espesor del cordón, altura de la impresión y diámetro de la impresión.

Todas las medidas geométricas realizadas fueron consideradas con las medidas del modelo 3D original. Al momento de contrastar las medidas de los cordones, alturas y diámetros utilizando un calibrador, con las medidas del modelado 3D, por lo que se obtuvieron los siguientes valores de errores porcentuales promedio de las siguientes medidas.

*Tabla 18. Errores porcentuales en el test de alturas*

| | |
|---|---|
| **Error % en el cordón** | 33,40% |
| **Error % en la altura** | 4,20% |

| **Error % en el diámetro** | 1,46% |
|---|---|

Por ende, se considera que con la configuración establecida de 2 mm de boquilla con una velocidad de deposición de 12 mm/s se obtuvo un error porcentual mínimo en los valores de altura y de diámetro en la impresión.

A continuación, se presenta la probeta impresa la cual se utilizó para realizar las mediciones y contrastar con las medidas del modelo original y obtener los valores de error porcentual en el cordón impreso, la altura de la impresión y el diámetro de la impresión.

*Figura 37. Prueba de altura, cordón y diámetro*

En la figura, se observa la impresión realizada, la cual se puede ver que la impresión tiene un buen acabado superficial y estabilidad. Ya que esta impresión se realizó con una boquilla de diametro de 2 mm, con una velocidad de impresión de 12 mm/s.

**Resultado del test de ¨Moais¨.**

La prueba de ¨Moais¨, es un test que se realizó con el objetivo de identificar la calidad de las impresiones con diferentes configuraciones de impresión, utilizando una geometría base la cual contenga estructuras superficiales complejas como desniveles en sus caras y con una altura considerable, se realizaron 4 pruebas de Moais con rangos de velocidad desde los 20 mm/s hasta los 10 mm/s. Para lo cual se realizaron las diferentes mediciones:

*Tabla 19. Test de Moais*

| | **Moai 1** | **Moai 2** | **Moai 3** | **Moai 4** |
|---|---|---|---|---|
| **Velocidad [mm/s]** | 20 | 15 | 12 | 10 |
| **Altura** | 60 | 60 | 60 | 60 |
| **Diametro** | 40 | 40 | 40 | 40 |
| **Espesor** | 4 | 4 | 2 | 1 |
| **Calidad Estructural** | 1 | 4 | 6 | 9 |
| **Calidad superficial** | 0 | 5 | 9 | 8 |
| **Estabilidad** | 2 | 3 | 5 | 9 |
| **Altura 1** | 28,1 | 51,09 | 55,67 | 57,71 |
| **Altura 2** | 28,63 | 51,02 | 56,56 | 56,91 |
| **Altura 3** | 28,37 | 44,14 | 57,45 | 59,24 |
| **Altura 4** | 28,78 | 35,82 | 54,2 | 58,67 |
| **Altura 5** | 28,69 | 35,45 | 56,07 | 57,27 |
| **Altura 6** | 16,5 | 50,93 | 55,7 | 58,71 |
| **Espesor 1** | 4,34 | 4,61 | 1,71 | 1,21 |
| **Espesor 2** | 4,35 | 4,18 | 1,29 | 1,18 |
| **Espesor 3** | 4,47 | 4,38 | 1,89 | 1,41 |
| **Espesor 4** | 4,33 | 4,25 | 1,45 | 1,25 |
| **Espesor 5** | 4,35 | 4,65 | 1,59 | 1,36 |
| **Espesor 6** | 4,37 | 4,49 | 1,77 | 1,13 |
| **Diametro 1** | 37,77 | 39,14 | 39,56 | 39,71 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Diametro 2** | 37,95 | 39,2 | 40,11 | 39,97 |
| **Diametro 3** | 38,87 | 38,57 | 41,01 | 39,93 |
| **Diametro 4** | 38,44 | 38,73 | 41,46 | 39,27 |
| **Diametro 5** | 39,5 | 39,1 | 38,81 | 38,52 |
| **Diametro 6** | 38,71 | 37,88 | 39,91 | 39,96 |

Por lo cual se considera en la anterior tabla que se midieron diferentes parámetros geométricos como la medida del cordón en la impresión, la altura máxima del Moai y su diámetro máximo. Finalmente, se realizaron calificaciones de calidad superficial, estructural y estabilidad de cada una de las impresiones. Lo que por consecuente se realizaron cálculos de error porcentual y se obtuvieron los siguientes datos de error:

*Tabla 20. Errores presentados en los diferentes Moais*

| | **Moai 1** | **Moai 2** | **Moai 3** | **Moai 4** |
|---|---|---|---|---|
| **Error % de altura** | 55,81% | 25,43% | 6,76% | 7,91% |
| **Error % de espesor** | 9,21% | 10,67% | 8,17% | 62,00% |
| **Error % de diametro** | 3,65% | 3,08% | 1,79% | 8,18% |

*Tabla 21. Configuración de impresiones*

| | **Moai 1** | **Moai 2** | **Moai 3** | **Moai 4** |
|---|---|---|---|---|
| **Velocidad [mm/s]** | 20 | 15 | 12 | 10 |
| **Diametro de boquilla [mm]** | 4 | 4 | 1 | 2 |

Esta tabla se presentan los diferentes valores de error porcentual en cada uno de los moais impresos. Para cada Moai se puede identificar las diferentes configuraciones. Por ende, se puede verificar que una configuración ideal de impresión es de 12 mm/s de impresión con un diámetro de boquilla de 2 mm.

A continuación, se presenta las pruebas realizadas para el test de los Moais, en los cuales se puede apreciar que en la parte izquierda de la imagen se encuentra la primera prueba y a la derecha de la imagen la última prueba.

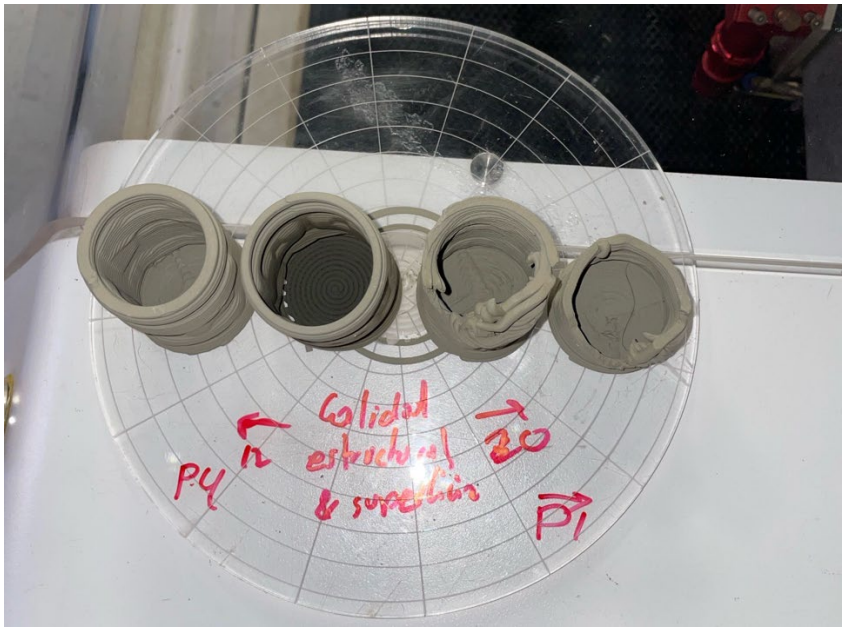



*Figura 38. Calidad estructural de los ¨Moais¨*

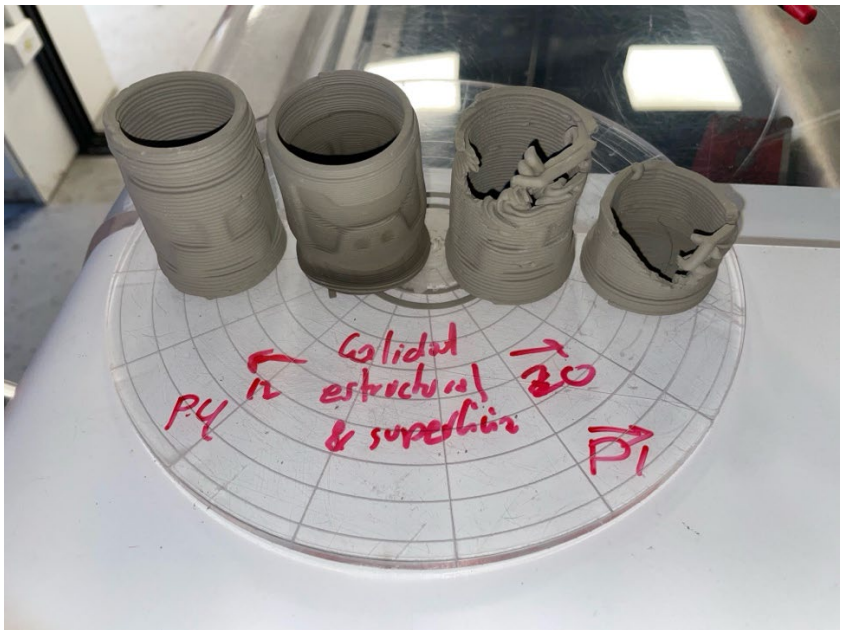



*Figura 39. Calidad superficial de los ¨Moais¨*

Por lo observado en las imágenes se puede apreciar la notable mejora en las impresiones debido a los cambios en las configuraciones de impresión como variación en el diámetro de boquilla y la velocidad de impresión.

## 3.3 Seguridad a través del diseño

### Definición de los puntos realizados en el análisis de riesgos.

001: Dificultades en la adquisición del material estructural.

Este punto menciona lo complicado que puede ser conseguir el material que se utilizará en la construcción de las diferentes piezas que componen el proyecto. En su mayoría es acero inoxidable AISI 304.

002: Fuga de biomaterial en la impresora 3D y su impacto en los componentes electrónicos.

Este apartado habla del riesgo que corre el funcionamiento integral del sistema en caso de que existan fugas del biomaterial del sistema de alimentación, ya sea por fallas técnicas o falta de mantenimiento. Ya que estas pueden provocar daños severos en los componentes electrónicos entorpeciendo o incluso inhabilitando al sistema de impresión.

003: Dificultades en el maquinado del tornillo sin fin.

Este apartado habla del riesgo existente en el maquinado del tornillo sin fin, que es la pieza principal del sistema de extrusión, lo que provocaría demoras en el proyecto debido a su compleja geometría y sus respectivas tolerancias, así como las limitaciones de las máquinas.

004: costos de obtención de los materiales.

Pueden existir materiales los cuales su costo exceda los valores limites que se proponen para realizar el proyecto. En este caso se habla del acero inoxidable AISI 304.

005: Daños colaterales a la impresora 3D durante la implementación de la extrusora.

Existe el riesgo permanente de dañar uno o más componentes de la impresora 3D durante el proceso de implementación del nuevo sistema de extrusión si no se lo realiza de manera correcta, ya que se requiere modificar y adaptar varias piezas de la impresora original.

006: Uso negligente del equipo debido a una capacitación insuficiente.

Si las personas que manejan la impresora no tienen la capacitación suficiente para el uso de la máquina se podrían llegar a manipular piezas o mecanismos de manera errónea lo que podría producir un daño muy alto en uno o más sistemas de la impresora.

007: Sobrecalentamiento del equipo.

Este apartado habla del riesgo presente cuando el sistema se queda encendido o el motor no pare después de realizar la impresión, lo que podría provocar un sobrecalentamiento en el sistema afectando así al equipo.

008: Taponamiento del extrusor.

Este apartado habla del riesgo existente de que el sistema de extrusión falle, ya sea por falta de mantenimiento a las piezas, así como por un uso excesivo del mismo sin revisarlo antes, esto podría provocar un taponamiento en el extrusor o boquilla.

009: Descalibración de la máquina por manipulación excesiva.

Este apartado habla del riesgo existente de que la máquina se descalibre, y por consecuencia no trabaje de manera correcta, debido a una manipulación excesiva a la misma, ya sea moviendo sus componentes manualmente por muchas ocasiones o en su defecto mover todo el equipo continuamente de un lugar a otro.

010: Falta de propiedades físicas del material.

Este numeral habla del riesgo que se tiene al no realizar bien la mezcla del biomaterial impidiendo llegar a las propiedades físicas requeridas, en este caso el valor mínimo para la densidad es de 1.8 g/cm3 y el valor mínimo esperado para la viscosidad es de10 Pa-s. Es importante tener en cuenta estos valores ya que al incumplirlos se corre un riesgo muy alto de fallar en las impresiones, así como de dañar el sistema de extrusión de la máquina.

*Tabla 22. Análisis de los riesgos presentes del proyecto*

| Código | Descripción | Impacto (1-5) | Probabilidad (1-5) | Prioridad | Responsable | Decisión tomada | Estatus |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 001 | Dificultades en la adquisición del material estructural | 2 | 3 | 6 | DT | Investigar más alternativas de materiales que cumplan con los requisitos y tengan mayor disponibilidad en el mercado ecuatoriano. | Realizado |
| 002 | Fuga de biomaterial en la impresora 3D y su impacto en los componentes electrónicos | 4 | 2 | 8 | MR | Separar el sistema de alimentación de los componentes electrónicos. | Realizado |
| 003 | Dificultades en el maquinado del tornillo sin fin | 3 | 3 | 9 | AC | Buscar personal capacitado en el tema y maquinaria óptima para el mismo. | Pendiente |
| 004 | Costos de obtención de los materiales | 3 | 2 | 6 | ML | Obtener diferetnes cotizaciones de los materiales para escoger la más viable. | Realizado |
| 005 | Daños colaterales a la impresora 3D durante la implementación de la extrusora | 4 | 1 | 4 | DT | Conocer bien los sistemas de la impresora y trabajar de manera aislada en los mismos. | Pendiente |
| 006 | Uso negligente del equipo debido a una capacitación insuficiente | 3 | 1 | 3 | MR | Dar capacitaciones a los encargados. | Pendiente |
| 007 | Sobrecalentamiento del equipo | 4 | 2 | 8 | AC | Advertir de los sistemas que se deben revisar antes y después de cada impresión. | Pendiente |
| 008 | Taponamiento del extrusor | 5 | 2 | 10 | DT | Realizar mantenimientos preventivos y correctivos del sistema de extrusión. | Pendiente |
| 009 | Descalibración de la máquina por manipulación excesiva | 3 | 1 | 3 | ML | Designar áreas específicas para el uso del equipo. | Pendiente |
| 010 | Falta de propiedades fisicas del material | 3 | 2 | 6 | AC | Asegurarse de la correcta preparación de la mezcla del biomaterial. | Pendiente |

Para la sección de responsables encargados en la tabla de análisis de riesgo se tomaron las siguientes iniciales para cada integrante del grupo:

- ML para Martín López
- DT para Daniel Tenesaca
- AC para Andrés Cruz
- MR para Martín Rueda

## Manual de Mantenimiento y Operación

El Manual de Mantenimiento y Operación se encuentra en la sección final de este documento, específicamente en la sección Appendix Binder: Manual de Mantenimiento y Operación. Este manual describe los procedimientos relacionados con la operación, seguridad, mantenimiento, valores técnicos y recomendaciones para un uso adecuado del sistema de extrusión y de la impresora utilizada en el proyecto. Asimismo, incluye información legal relevante que podría ser de importancia para el operador.

Se recomienda encarecidamente la lectura completa del manual antes de utilizar el sistema de impresión 3D, ya que es crucial considerar las características técnicas descritas en dicho documento para prevenir posibles problemas o daños en el sistema.

## Resultados, Discusión y Conclusiones

### Resultados.

La impresora diseñada utiliza un método de extrusión para materiales cerámicos, con un tornillo sin fin de 10 mm de diámetro, 150 mm de longitud y paso de 9 mm. Un motor paso a paso de 300 RPM y 1.8° por paso (200 pasos/rev) controla la extrusión, alcanzando una velocidad de 45 mm/s y un caudal de 1069.2 $mm^2/s$

El sistema utiliza una boquilla de 3.14 $mm^2$ que deposita el material a 340 mm/s, logrando una velocidad de flujo de 2.6 mm/s y un flujo másico de $8.895 \times 10^{-6}$ kg/s. La presión de salida de 7.378 psi, generada por el tanque alimentador, asegura una extrusión cerámica adecuada.

El tanque tiene dimensiones de 40 cm de largo y ancho, 50 cm de altura y un espesor de pared de 3 mm, con un volumen efectivo de 0.07987 $m^3$, suficiente para la operación continua de la impresora. El esfuerzo en la mesa del tanque es de 0.638 MPa, y el factor de seguridad calculado es de 627.4, lo que asegura una alta resistencia estructural en condiciones de operación.

La porción sin hilo de soporte mide 2.8 mm, con una longitud total de 3.2 mm. Se obtuvieron áreas de 1.27 $mm^2$ para la porción con hilo y 2.01 $mm^2$ para la sin hilo. Las rigideces kb y km son de 0.4345 kN/mm y 2.35 kN/mm, respectivamente, con un coeficiente C de 0.15607.

Se utilizó un factor de seguridad de 2, resultando en un esfuerzo soportado de 117.5 MPa. El espesor mínimo del extrusor fue calculado en 3 mm, generando un esfuerzo de $2.97 \times 10^{-5}$ MPa y un factor de seguridad de 7,901,718.

**Resultados de las pruebas realizadas.**

***Pruebas de velocidad.***

Para las pruebas de velocidad se calculó el porcentaje de error de la impresión para cada intento, es decir de 12 y 15 milímetros por segundo y se graficó el porcentaje del error para las dos configuraciones de velocidad, por lo tanto, se econtró las siguientes gráficas:

*Figura 40. Velocidad de impresión vs. Número de impresión*

*Tabla 23. Errores de impresión & velocidad de impresión*

| Intento | % de error a 12 mm/s | Promedio de error a 12 mm/s | % de error a 15 mm/s | Promedio de error a 15 mm/s |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 3,43% | 2,06% | 10% | 13% |
| 2 | 2,31% | | 17% | |
| 3 | 0,09% | | 15% | |
| 4 | 3,46% | | 13% | |
| 5 | 1,29% | | 15% | |
| 6 | 0,14% | | 11% | |
| 7 | 3,49% | | 13% | |
| 8 | 1,80% | | 11% | |
| 9 | 2,57% | | 13% | |
| Original | 35 | | 35 | |

En la gráfica se encuentra que los valores de error a 12 mm/s fluctúan entre los 0.09 % a los 3.5 % de error de medición, y para la configuración de impresión con una velocidad de 15 mm/s los porcentajes de error fluctúan entre el 11% al 17%. Lo que indica que una mayor velocidad de impresión representa una mayor inestabilidad del equipo lo que significa una impresión con un mayor número de imperfecciones.

***Pruebas de variación de boquillas.***

La prueba de variación de boquillas se utilizó un parámetro fijo de velocidad de impresión de 12 mm/s, por lo tanto, se utilizaron 2 boquillas diferentes, de 2 milímetros y de 4 milímetros de diámetro.

*Figura 41. Diámetro de boquilla vs. Número de impresión*

*Tabla 24. Errores de impresión & diámetros de boquilla*

| Intento | % de error a 4 mm | Promedio de error a 4 mm | % de error a 2 mm | Promedio de error a 2 mm |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 9,3% | 13,5% | 13,8% | 10,6% |
| 2 | 20,8% | | 7,8% | |
| 3 | 18,5% | | 3,5% | |
| 4 | 21,5% | | 20,8% | |
| 5 | 8,0% | | 6,0% | |
| 6 | 4,5% | | 5,8% | |
| 7 | 3,0% | | 3,5% | |
| 8 | 18,8% | | 20,0% | |
| 9 | 17,3% | | 14,0% | |
| Original | 4 mm | | 2 mm | |

Se puede determinar que la configuración de impresión utilizando una boquilla de 2 mm es la mejor ya que presenta un menor error al momento de realizar las impresiones, la diferencia de promedio de error entre la boquilla de 4 mm y de 2 mm es de aproximadamente 2.9 %, lo que indica que aún que la diferencia de error pueda ser pequeña, la diferencia en su acabo superficial puede ser notable. En la siguiente tabla se puede apreciar los valores de calidad y estabilidad para las dos configuraciones de boquillas utilizadas:

*Tabla 25. Valores de Calidad & Estabilidad para las impresiones en el test de boquillas*

| | **2 mm de boquilla** | | **4 mm de boquilla** | |
|---|---|---|---|---|
| **Intento** | **Calidad (0-10)** | **Estabilidad (0-10)** | **Calidad (0-10)** | **Estabilidad (0-10)** |
| 1 | 8 | 8 | 6 | 7 |
| 2 | 8 | 7 | 7 | 8 |
| 3 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 4 | 5 | 7 | 9 | 7 |
| 5 | 8 | 5 | 4 | 5 |
| 6 | 9 | 8 | 3 | 6 |
| 7 | 9 | 8 | 2 | 5 |
| 8 | 6 | 7 | 6 | 6 |
| 9 | 6 | 7 | 5 | 5 |
| Promedio | 7,22 | 7,11 | 5,56 | 6,44 |

Se puede apreciar que los valores de promedio para la calidad y estabilidad de la impresión para la boquilla de 2 mm tiene un mejor valor promedio que los valores de boquilla de 4 mm. Como un calificativo final, la boquilla de 2 mm tiene un valor de 7.17 y la de 4 mm tiene un valor de 6.00 en promedio. Este 1.17 puntos de diferencia indica que las impresiones con una configuración de boquilla de 2 mm van a presentar una mejor impresión final que las impresiones con boquilla de 2 mm.

***Prueba de las 5 probetas.***

La prueba de las 5 probetas consta de una serie de impresiones en las cuales se imprime la misma geometría 5 veces con diferentes configuraciones de boquilla y velocidad de impresión. Esto con el objetivo de evaluar cual es el comportamiento de la impresión e identificar la mejor configuración de impresión. Para esto, se imprimió usando las boquillas de 4 mm y de 2 mm. De igual manera se imprimieron las probetas con velocidades de 20, 15, 13, 12 y 10 mm/s. Luego de realizar las medidas de cordón y longitud, se evaluó la calidad y consistencia de la impresión se obtuvieron los siguientes resultados de error estadístico para cada probeta:

*Figura 42. Velocidad de impresión vs. Error Porcentual en el test de las 5 probetas*

*Tabla 26. Error estadístico en el test de las 5 probetas*

| **Error estadistico** | **Prueba 1** | **Prueba 2** | **Prueba 3** | **Prueba 4** | **Prueba 5** |
|---|---|---|---|---|---|
| Velocidad de impresion [mm/s] | 20 | 15 | 13 | 12 | 10 |
| Boquilla [mm] | 4 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Prometio espesor | 18,45% | 17,20% | 17,70% | 12,60% | 14,70% |
| Promedio Longitud | 1,95% | 1,10% | 2,49% | 1,03% | 2,36% |

En la figura adjunta anteriormente, se observa dos diferentes gráficas las cuales indican cual es el error porcentual de la geometría ya sea del cordón o de la longitud y la velocidad de impresión. Se puede apreciar que en la gráfica los mayores valores de error de impresión están en los valores de 10 y 20 mm/s de velocidad de impresión, e idealmente el menor valor de error se encuentra en la velocidad de impresión de 12 mm/s. Para esta configuración de impresión se utilizó una boquilla de 2 mm de diámetro. Este resultado puede comprobarse también con las tablas propuestas, las cuales indican que los valores que presentan un menor error porcentual lo tienen la probeta 4. Ya que esta probeta en promedio tiene un error porcentual promedio de cordón de 12.6 % y de 1.03 % de longitud.

***Test de alturas.***

La prueba de alturas es una prueba que consiste en la impresión de diferentes geometrías cilíndricas huecas, con el fin de evaluar el error que tiene la probeta, al momento de realizar impresiones con una altura que puede comprometer la estabilidad estructural de la impresión. Por lo tanto, se utilizó una configuración de impresión de 12 mm/s con una boquilla de 2 mm de diámetro.

*Tabla 27. Valores de error en el test de alturas*

| | |
|---|---|
| **Error E 1** | 38,00% |
| **Error E 2** | 23,50% |
| **Error E 3** | 46,00% |
| **Error E 4** | 16,50% |
| **Error E 5** | 43,00% |
| **Error A 1** | 3,30% |
| **Error A 2** | 0,95% |
| **Error A 3** | 7,45% |
| **Error A 4** | 8,15% |
| **Error A 5** | 1,15% |
| **Error D 1** | 2,15% |

| | |
|---|---|
| **Error D 2** | 0,37% |
| **Error D 3** | 0,53% |
| **Error D 4** | 3,87% |
| **Error D 5** | 0,35% |

*Tabla 28. Valores promedio de error en el test de altura*

| **Valores de error en medidas** | |
|---|---|
| **Promedio Espesor** | 33,40% |
| **Promedio Altura** | 4,20% |
| **Promedio Diametro** | 1,46% |

En la tabla adjunta se aprecia los errores porcentuales medidos para los parámetros geométricos de las impresiones como cordón, altura y diámetro de impresión. El propósito de esta prueba es evaluar el error porcentual de la altura de la impresión utilizando los parámetros de impresión determinados en las anteriores pruebas de velocidad de impresión y boquilla ideal, la cual es de 4.2 %. Lo que demuestra la efectividad de esta configuración de impresión.

***Test de los ¨Moais¨***

La prueba de los “Moais”, es una prueba que consiste en la impresión de una geometría cilíndrica hueca con relieves diferentes y complicados para evaluar la estabilidad de la impresión y las diferentes configuraciones de impresión. Para esta prueba se utilizaron 3 diferentes boquillas, de 4 mm, 2 mm y de 1 mm de diámetros. Para las velocidades de impresión se mantuvieron constantes para todas las impresiones utilizando un valor de 12 mm/s. En esta prueba se realizaron calificaciones visuales donde se evaluó la estabilidad, calidad superficial y calidad estructural de la impresión. De igual manera se calculó el error porcentual del cordón, altura y diámetro general de la impresión. Por lo tanto, se obtuvieron los siguientes resultados:

*Tabla 29. Errores de impresiones en el test de Moais*

| | Moai 1 | Moai 2 | Moai 3 | Moai 4 |
|---|---|---|---|---|
| **Velocidad [mm/s]** | 12 | 12 | 12 | 12 |
| **Altura** | 60 | 60 | 60 | 60 |
| **Diametro** | 40 | 40 | 40 | 40 |
| **Espesor** | 4 | 4 | 1 | 2 |
| **Altura 1** | 53,2% | 14,9% | 7,2% | 3,8% |
| **Altura 2** | 52,3% | 15,0% | 5,7% | 5,2% |
| **Altura 3** | 52,7% | 26,4% | 4,3% | 1,3% |
| **Altura 4** | 52,0% | 40,3% | 9,7% | 2,2% |
| **Altura 5** | 52,2% | 40,9% | 6,6% | 4,6% |
| **Altura 6** | 72,5% | 15,1% | 7,2% | 2,2% |
| **Espesor 1** | 33,0% | 19,5% | 29,0% | 39,5% |
| **Espesor 2** | 32,5% | 41,0% | 71,0% | 41,0% |
| **Espesor 3** | 26,5% | 31,0% | 81,0% | 29,5% |
| **Espesor 4** | 33,5% | 37,5% | 55,0% | 37,5% |
| **Espesor 5** | 32,5% | 17,5% | 71,0% | 32,0% |
| **Espesor 6** | 31,5% | 25,5% | 73,0% | 43,5% |
| **Diametro 1** | 5,6% | 2,2% | 1,1% | 0,7% |
| **Diametro 2** | 5,1% | 2,0% | 0,3% | 0,1% |
| **Diametro 3** | 2,8% | 3,6% | 2,5% | 0,2% |
| **Diametro 4** | 3,9% | 3,2% | 3,7% | 1,8% |
| **Diametro 5** | 1,3% | 2,3% | 3,0% | 3,7% |
| **Diametro 6** | 3,2% | 5,3% | 0,2% | 0,1% |

*Tabla 30. Promedio de errores en las impresiones en el test de Moais*

| | Moai 1 | Moai 2 | Moai 3 | Moai 4 |
|---|---|---|---|---|
| **Velocidad [mm/s]** | 12 | 12 | 12 | 12 |
| **Altura** | 60 | 60 | 60 | 60 |
| **Diametro** | 40 | 40 | 40 | 40 |
| **Espesor** | 4 | 4 | 1 | 2 |
| **Promedio Altura** | 55,8% | 25,4% | 6,8% | 3,2% |
| **Promedio Espesor** | 65,8% | 64,3% | 63,3% | 37,2% |
| **Promedio Diametro** | 3,7% | 3,1% | 1,8% | 1,1% |

*Figura 43. Promedio de error porcentual vs. Diámetro de boquilla en la prueba de Moais*

Por lo que se observa en las tablas y gráfica adjuntas anteriormente, es notable notar como la impresión del Moai 4 con la configuración con velocidad de impresión a 12 mm/s y usando una boquilla de 2 mm de diametro, tuvo el menor valor de error porcentual de todas las impresiones. Lo que indica nuevamente que la mejor configuración de impresión va a ser a 12 mm/s usando una boquilla de 2 mm de diámetro.

**Discusión.**

Los resultados del diseño y cálculo de una impresora 3D para materiales cerámicos demuestran que el sistema cumple con los requisitos de resistencia estructural, precisión en la extrusión y seguridad operativa. La selección del tornillo sin fin y del motor paso a paso garantiza una velocidad de avance y caudal constantes, fundamentales para una deposición controlada y precisa. La presión de salida, asistida por un compresor, asegura un flujo estable.

El tanque alimentador presenta un factor de seguridad de 327.4, lo que confirma su robustez y seguridad, dado a su diseño estructural. En cuanto al soporte del extrusor, los valores

de rigidez y el coeficiente C indican que soporta bien las fuerzas y vibraciones sin comprometer la estabilidad.

El extrusor, diseñado con un factor de seguridad de 2, soporta el estrés operativo, esto permite un margen de seguridad en la fase experimental. La construcción general asegura una operación segura y de alta calidad, aunque una optimización futura podría reducir el peso y costo, mejorando su adecuación para aplicaciones comerciales en impresión de cerámicos.

**Conclusión.**

Los componentes críticos, como el extrusor y el tanque alimentador, con amplios márgenes de seguridad, garantizan una operación confiable y permiten ajustes en las primeras etapas de uso sin comprometer la seguridad. La estructura del soporte del extrusor, con rigidez y resistencia óptimas, asegura estabilidad y precisión en el proceso de extrusión.

Los resultados validan la viabilidad del diseño, indicando que este sistema puede implementarse en proyectos de impresión y fabricación de componentes cerámicos con alta precisión. No obstante, se recomienda optimizar el factor de seguridad y reducir el tamaño de algunos componentes en futuras versiones para reducir el peso y el costo, sin afectar la confiabilidad. Esto haría el sistema más accesible y adecuado para aplicaciones comerciales. En resumen, el proyecto representa un avance significativo en la integración de tecnologías de impresión 3D, proporcionando un sistema robusto y adaptable a las necesidades de fabricación en sectores industriales y de investigación científica.

El sistema diseñado e implementado ha demostrado ser una solución eficaz, económica y práctica. Su costo llega a ser significativamente inferior al presentado con las alternativas comerciales, con un precio que se acerca a ser tres veces menor, lo que le hace accesible y

competitivo. Por otra parte, además de los materiales de bajo costo, el uso de estos materiales que son de alta calidad garantiza una solución eficiente y sostenible. Por otro lado, la facilidad de desmontaje y limpieza con el uso de agua y alcohol optimiza su mantenimiento y prolonga su vida útil. La adaptabilidad del sistema a impresoras tipo delta y su capacidad de regulación de velocidad de impresión permiten un control mejor al momento de colocar la cantidad de material depositado, mejorando la calidad de las impresiones, especialmente cuando se trata de la densidad de las capas. Por último, el uso de los aceros inoxidables 304, asegura que no exista la contaminación cruzada, lo cual es crucial para mantener la biocompatibilidad del material a lo largo de todo el proceso de bio-impresión. El sistema de extrusión no solo cumple con los requisitos técnicos, representa una opción viable para la industria de la impresión con materiales biocompatibles.

## 3.4 Trabajo a Futuro

A pesar de haber cumplido con los objetivos planteados en este proyecto de titulación, se sugieren algunas alternativas para su desarrollo y mejora en el futuro. A continuación, se presentan las recomendaciones propuestas:

### 3.4.1 Nuevas pruebas de funcionamiento con otros materiales biocompatibles.

Se recomienda realizar pruebas con materiales biocompatibles que posean propiedades físicas diferentes a las utilizadas en este proyecto. Esto permitirá analizar el nivel de adaptabilidad del sistema frente a distintas condiciones materiales. Asimismo, se sugiere llevar a cabo un análisis de los cambios en las características de velocidad de deposición y presión del tanque alimentador para evaluar cómo varían en función de las propiedades de los nuevos materiales.

### 3.4.2 Implementación de un sistema de aislamiento para la impresión.

Con base en los análisis realizados durante este proyecto, se recomienda a futuros desarrolladores implementar un sistema de aislamiento que proteja las impresiones. En caso de trabajar con materiales biocompatibles destinados al ámbito médico, es fundamental garantizar que las piezas permanezcan estériles y libres de contaminación. Esto podría lograrse mediante la creación de un espacio cerrado y controlado, que elimine riesgos de contaminación externa. Además, factores como la temperatura y la humedad, que influyen en la calidad de la impresión, podrían manejarse eficazmente al aislar la zona de trabajo.

### 3.4.3 Adaptación del sistema de extrusión a otros tipos de impresoras.

Este proyecto utilizó impresoras con estructura tipo “Delta” debido a sus ventajas, como una mejor distribución de cargas para el sistema de extrusión y la ubicación de los componentes electrónicos en la parte superior, lo cual reduce el riesgo de daño por humedad o condiciones adversas. Se sugiere, como trabajo futuro, adaptar el extrusor a impresoras con otras geometrías, como las de tipo comercial (por ejemplo, Prusa). Para ello, sería necesario reacondicionar la máquina considerando los posibles riesgos relacionados con estas configuraciones y la adaptabilidad del sistema.

### 3.4.4 Desarrollo de un material biocompatible de fácil accesibilidad.

Finalmente, se propone el desarrollo de un material biocompatible accesible, ideal para aplicaciones en biomedicina. Este esfuerzo podría realizarse en colaboración con carreras como biotecnología y medicina, con el objetivo de optimizar el desarrollo del material. Crear un material desde cero permitiría reducir los costos asociados a la adquisición de materiales existentes en el

mercado, los cuales suelen ser costosos y de difícil acceso. Además, el material desarrollado podría adaptarse a las propiedades del utilizado en este proyecto, específicamente el Alginato CMC (Carboximetilcelulosa), facilitando así su integración al sistema de extrusión y mejorando la viabilidad del proyecto.

**Referencias**

American Petroleum Institute. (2020). *API Standard 650: Welded tanks for oil storage* (13th ed.). API Publishing.

ASTM International. (2012). Standard terminology for additive manufacturing technologies (ASTM Standard No. F2792-12a). Retrieved from https://www.astm.org/Standards/F2792.htm

Beer, F. P., Johnston, E. R., DeWolf, J. T., & Mazurek, D. F. (2020). *Mechanics of Materials*.

Budynas, R. G., Nisbett, J. K., & Shigley, J. E. (2018). *Shigley's Mechanical Engineering design*.

Cesar Loo Gil. (2022). Bio impresión 3D: importancia en la actualidad. Journal BioFab, 1(1), 1–35. https://doi.org/10.53673/jb.v1i1.1

Chen, X., Anvari-Yazdi, A. F., Duan, X., Zimmerling, A., Gharraei, R., Sharma, N., Sweilem, S., & Ning, L. (2023). Biomaterials / bioinks and extrusion bioprinting. Bioactive Materials, 28, 511-536. https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2023.06.006

Eraso, L. A., & Rodríguez, Y. D. (2020). Impresoras 3D, su innovación en el campo de la medicina. Travesía Emprendedora, 4(1), 58-63.

Escalona-Contreras, Nicole, Merino-Kutscher, Paula, & Cartes-Velásquez, Ricardo. (2021). Uso de técnicas de impresión 3D en la reconstrucción mandibular. Una revisión breve. CES Odontología, 34(2), 159-172. Epub April 01, 2022.https://doi.org/10.21615/cesodon.5939

Gómez Mesa, N. E., & Castañeda Roncancio, R. S. (2021). Revisión general sobre técnica de bioimpresión 3D estereolitográfica y su aplicación en la medicina: materiales, avances y tendencias.

Guáitara Martínez, S. D. (2022). Elaboración de andamios biológicos a partir de biopolímeros naturales mediante métodos manuales y bioimpresión 3D para aplicaciones en ingeniería de tejidos (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Carrera de Biotecnología).

Gutierrez, N. N. P. (2023). LA NUEVA SALVACIÓN: IMPRESIÓN 3D DE ÓRGANOS. + Ciencia, (33), 14-16.

International Organization for Standardization, & ASTM International. (2021). Additive manufacturing - General principles - Fundamentals and vocabulary (ISO/ASTM Standard No. 52900:2021). Retrieved from https://www.iso.org/standard/74514.html

International Organization for Standardization. (1989). General tolerances - Part 2: Geometrical tolerances for features without individual tolerance indications (ISO Standard No. 2768 2:1989). Retrieved from https://www.iso.org/standard/5354.html

International Organization for Standardization. (2012). Plastics - Determination of tensile properties - Part 2: Test conditions for moulding and extrusion plastics (ISO Standard No. 527-2:2012). Retrieved from https://www.iso.org/standard/56046.html

International Organization for Standardization. (2016). Metallic materials - Tensile testing – Part 1: Method of test at room temperature (ISO Standard No. 6892-1:2016). Retrieved from https://www.iso.org/standard/64969.html

International Organization for Standardization. (2018). Biological evaluation of medical devices - Part 1: Evaluation and testing within a risk management process (ISO Standard No. 10993-1:2018). Retrieved from https://www.iso.org/standard/68936.html

International Organization for Standardization. (2018). Biological evaluation of medical devices - Part 1: Evaluation and testing within a risk management process (ISO Standard No. 10993-1:2018). Retrieved from https://www.iso.org/standard/68936.html

International Organization for Standardization. (2019). Medical devices - Application of risk management to medical devices (ISO Standard No. 14971:2019). Retrieved from https://www.iso.org/standard/72704.html

International Organization for Standardization. (2021). Industrial automation systems and integration - Product data representation and exchange - Part 1: Overview and fundamental principles (ISO Standard No. 10303-1:2021). Retrieved from https://www.iso.org/standard/63141.html

Jammalamadaka, U., & Tappa, K. (2018). Recent advances in biomaterials for 3D printing and tissue engineering. In Journal of Functional Biomaterials (Vol. 9, Issue 1). MDPI AG. https://doi.org/10.3390/jfb9010022

Lee, J. M., Sing, S. L., Zhou, M., & Yeong, W. Y. (2018). 3D bioprinting processes: A perspective on classification and terminology. International journal of bioprinting, 4(2), 151. https://doi.org/10.18063/IJB.v4i2.151

Ng, W.L., Shkolnikov, V. Jetting-based bioprinting: process, dispense physics, and applications. Bio-des. Manuf. (2024). https://doi.org/10.1007/s42242-024-00285-3

Papaioannou, T. G., Manolesou, D., Dimakakos, E., Tsoucalas, G., Vavuranakis, M., & Tousoulis, D. (2019). 3D bioprinting methods and techniques: Applications on artificial

blood vessel fabrication. Acta Cardiologica Sinica, 35(3), 284–289. https://doi.org/10.6515/ACS.201905_35(3).20181115A

Saini, G., Segaran, N., Mayer, J. L., Saini, A., Albadawi, H., & Oklu, R. (2021). Applications of 3d bioprinting in tissue engineering and regenerative medicine. Journal of Clinical Medicine, 10(21). https://doi.org/10.3390/jcm10214966

Secretaría de Salud. (1993). Norma Oficial Mexicana NOM-068-SSA1-1993, Para la prevención y control de la rabia en los perros y gatos. Retrieved from https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4684391&fecha=14/10/1993

Stevens, M. M. (2008). Biomaterials for bone tissue engineering. *Materials Today*, *11*(5), 18–25. https://doi.org/10.1016/S1369-7021(08)70086-5

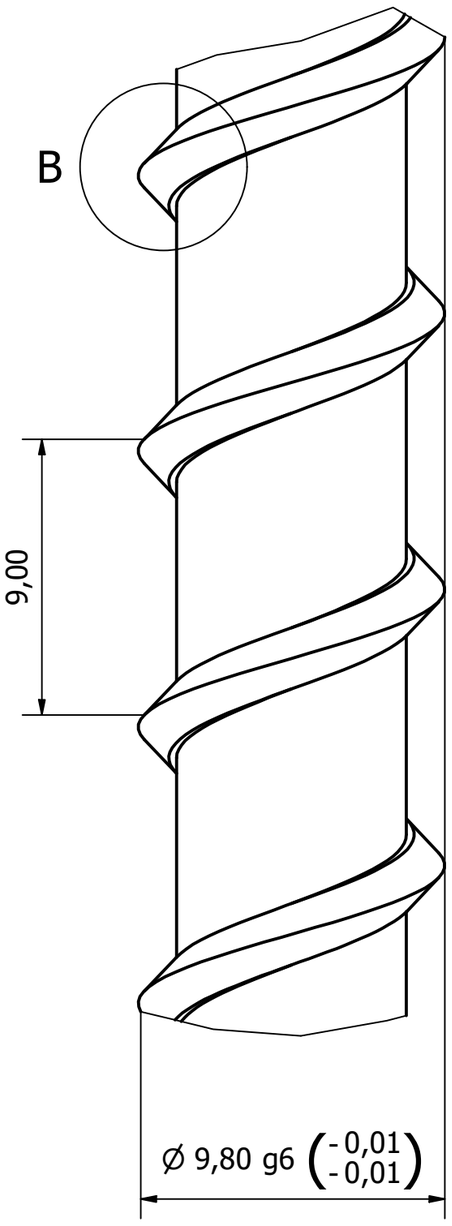
Valenzuela-Villela, K. S., García-Casillas, P. E., & Chapa-González, C. (2020). Progreso de la Impresión 3D de Dispositivos Médicos. Revista mexicana de ingeniería biomédica, 41(1), 151-166. Epub 23 de octubre de 2020.https://doi.org/10.17488/rmib.41.1.12

Xu, K., Han, Y., Huang, Y., Wei, P., Yin, J., & Jiang, J. (2022). The application of 3D bioprinting in urological diseases. Materials Today Bio, 16. https://doi.org/10.1016/j.mtbio.2022.100388

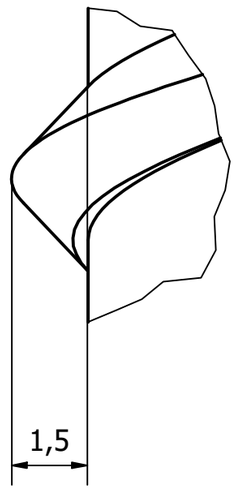
# APÉNDICES

## Apéndice – Planos

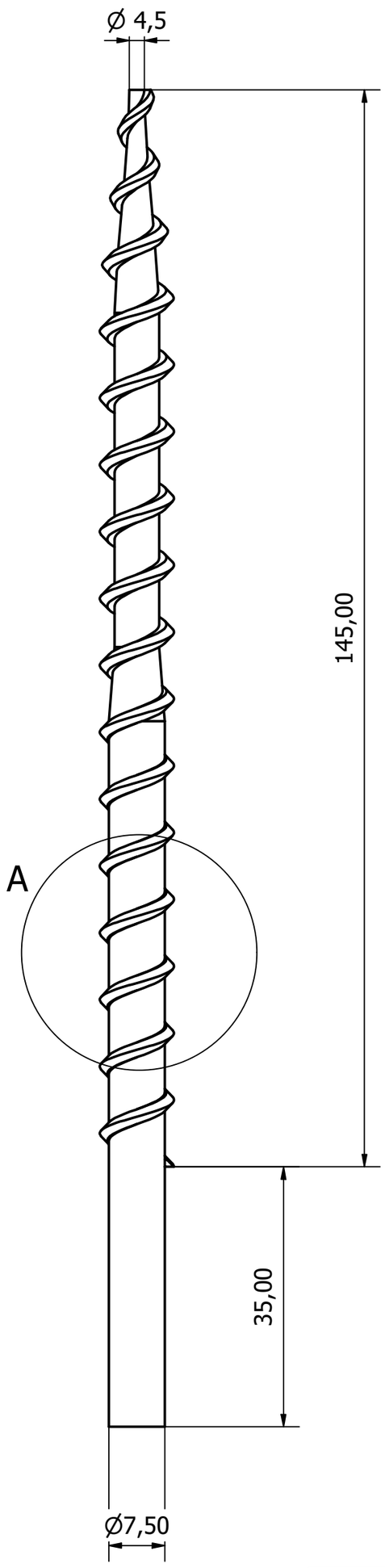
Sección A ( 5 : 1 )

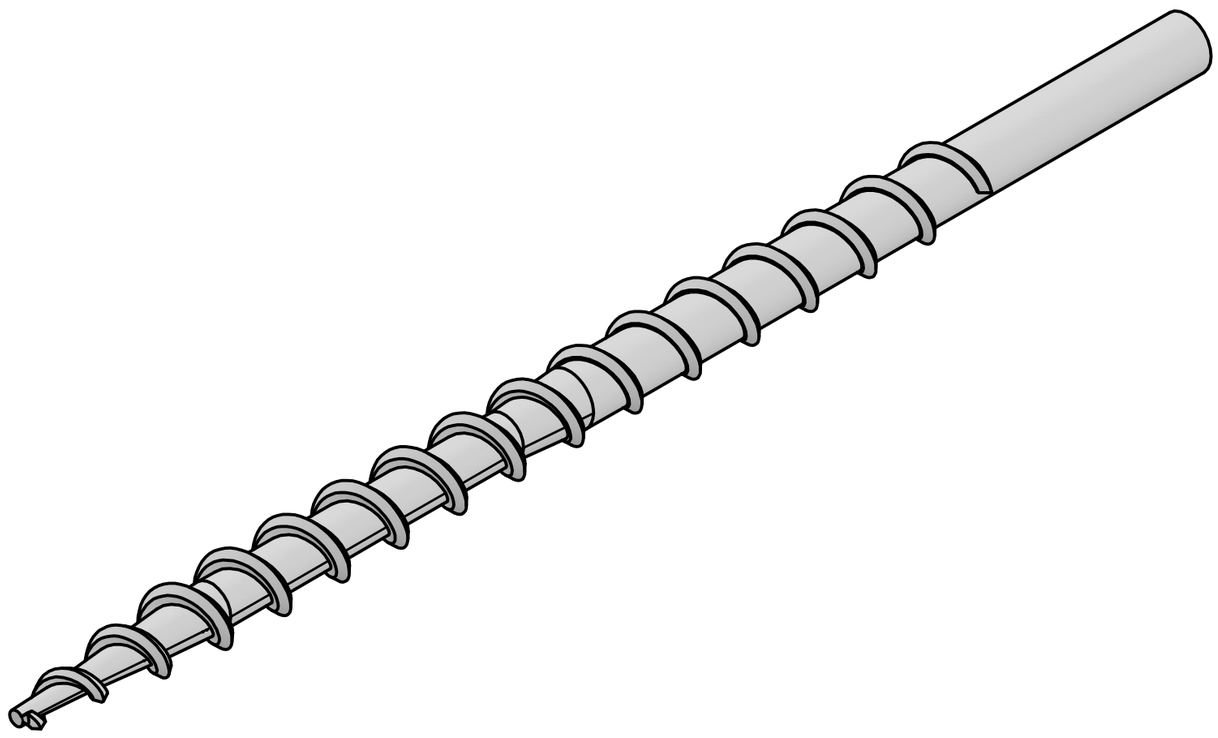



Sección B ( 10 : 1 )



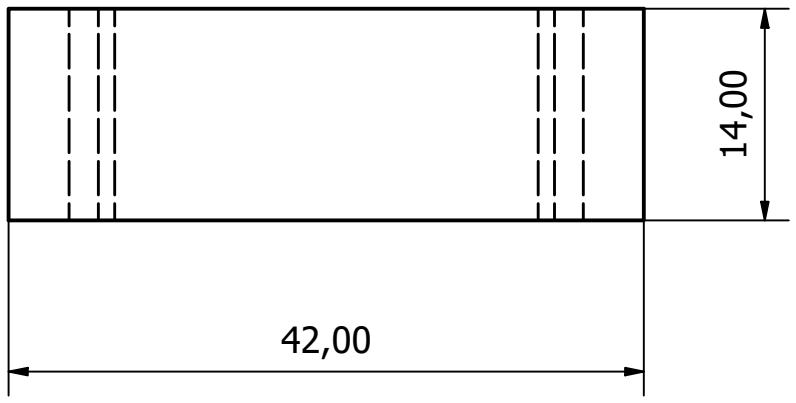

VISTA1 ( 1.5 : 1 )

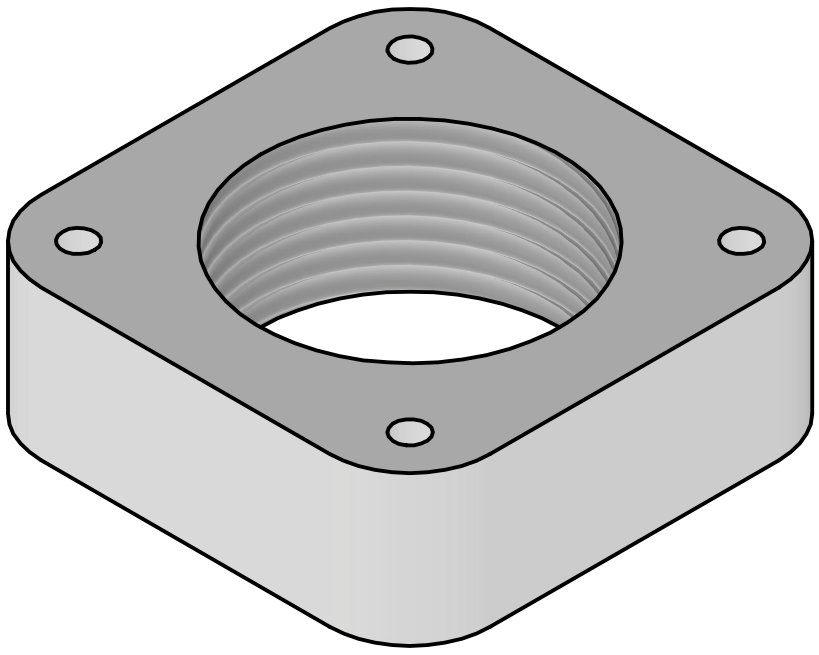


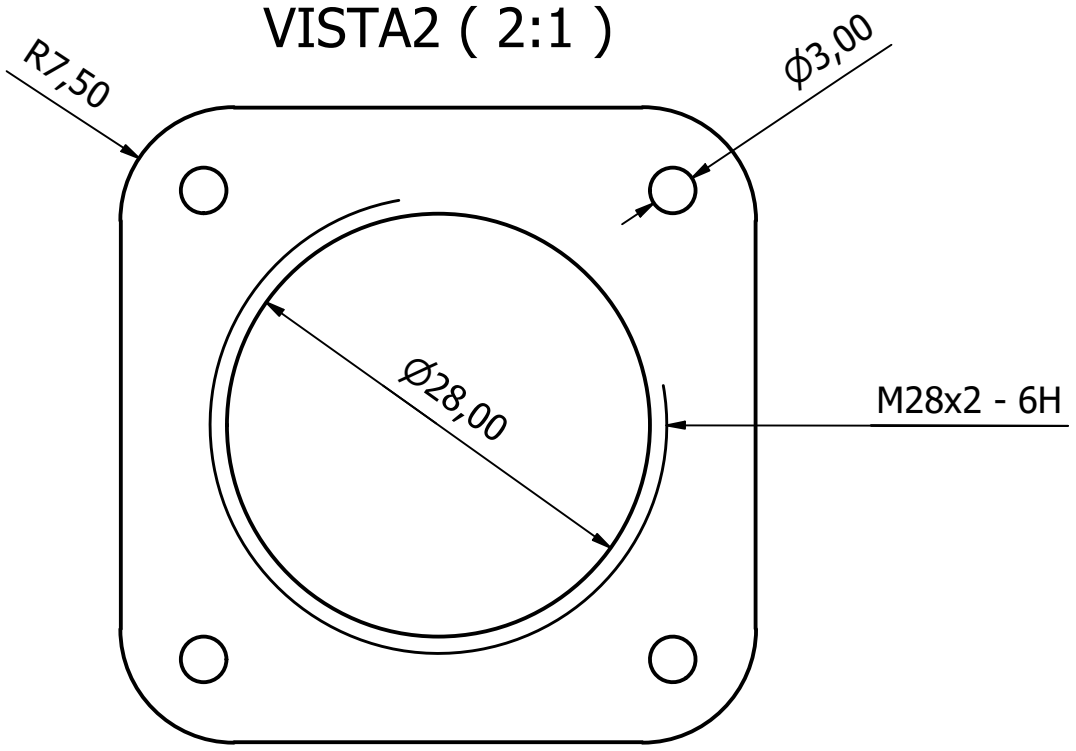
| | | | |
|---|---|---|---|
| Designed by: Andrés Cruz | Reviewed by: Martín Lopez | Authorized by: Dr. Patricio Chiriboga | Date: 10/22/2024 |
| Notes:<br>1. TODAS LAS DIMENSIONES ESTÁN EN MILIMETROS.<br>2. SE UTILIZA UN EJE DE ACERO INOX. 304 DE 12 mm.<br>3. SE DEBE DAR UN BUEN ACABADO SUPERFICIAL. | Tornillo sin fin | | General Tolerance: ± 0,05 |
| Sheet: 1/14 / Material: Acero Inoxidable 304 | USFQ | | Tamaño de plano A3 |

VISTA1 ( 2:1 )

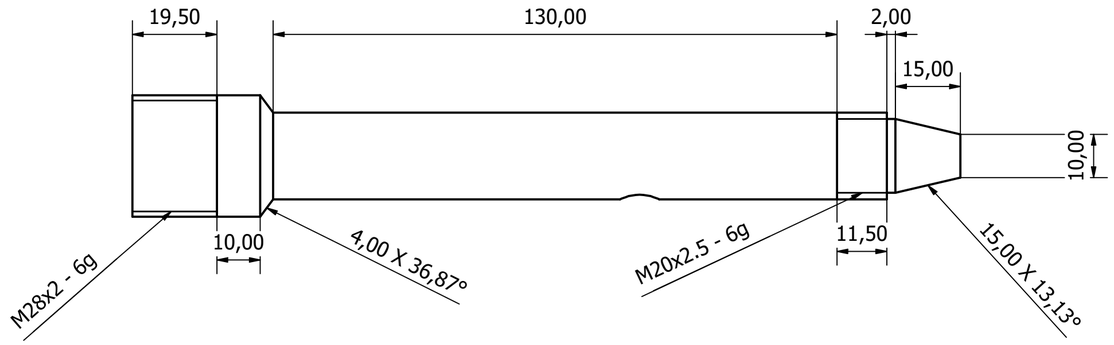


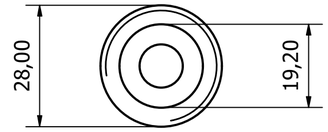



VISTA2 ( 2:1 )

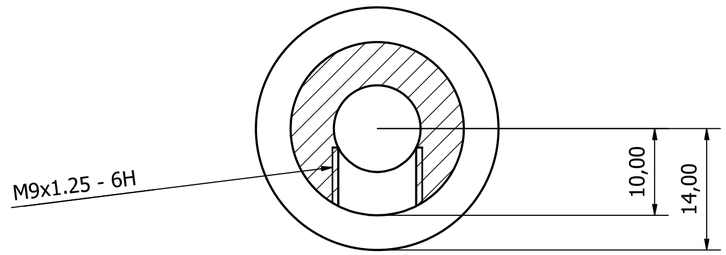


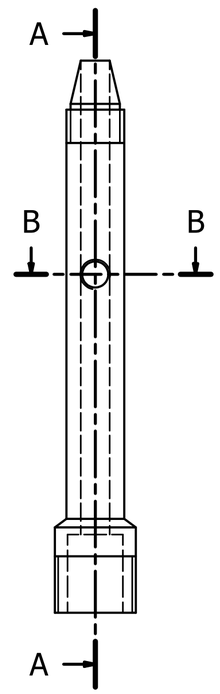

| | | | |
|---|---|---|---|
| Designed by: Andrés Cruz | Reviewed by: Daniel Tenesaca | Authorized by: Dr. Patricio Chiriboga | Date: 11/7/2024 |
| Notes: 1. LAS DIMENSIONES SE ENCUENTRAN EN mm. 2. LA ROSCA DEBE ESTAR CON SU ORIENTACIÓN A LA IZQUIERDA. | Adaptador Extrusor a Motor | | General Tolerance: ± 0,1 mm |
| Sheet: 2/14 / Material: Acero Inoxidable 304 | USFQ | | Tamaño de plano: A4 |



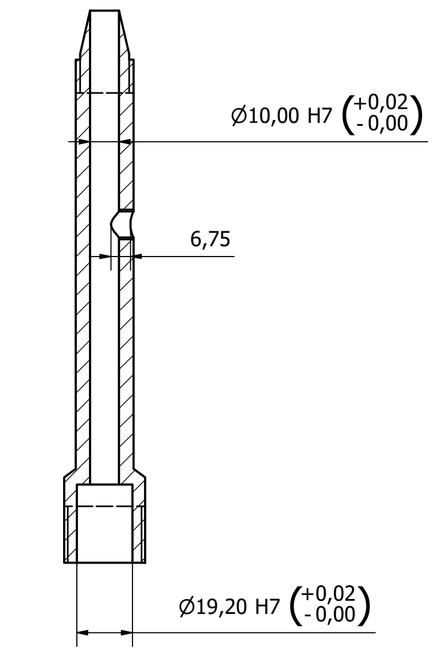



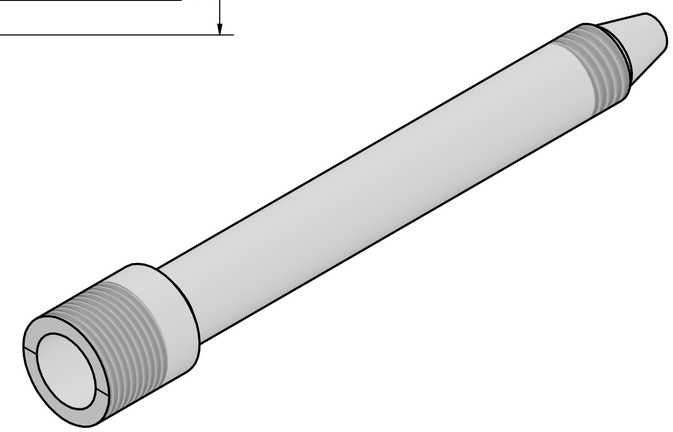

B-B ( 2 : 1 )



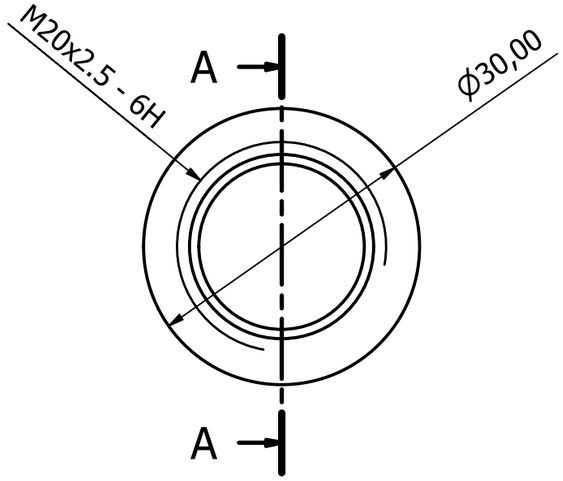




A-A ( 1 : 1.5 )

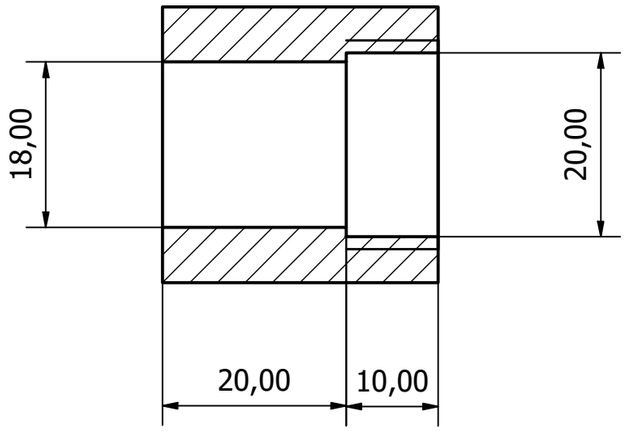


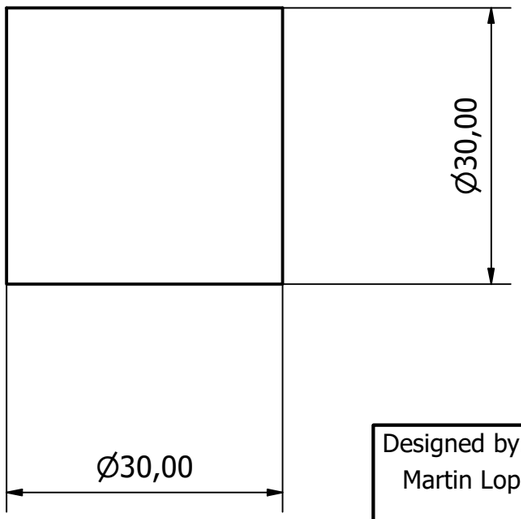



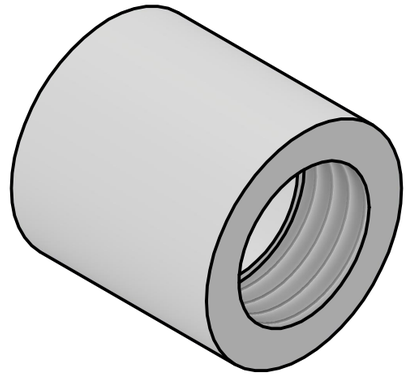
| | | | |
|---|---|---|---|
| Designed by: Martin Lopez | Reviewed by: Andrés Cruz | Authorized by: Dr. Patricio Chiriboga | Date: 11/28/2024 |
| Notes: Todas las medidas se encuentran en milímetros. | Tubo Extrusor | Tamaño del plano: A2 | General Tolerance: ± 0.5 mm |
| Sheet: 3/14 / Material: Acero Inoxidable 304 | USFQ | | Tratamiento: / Escala General: 1 : 1 |



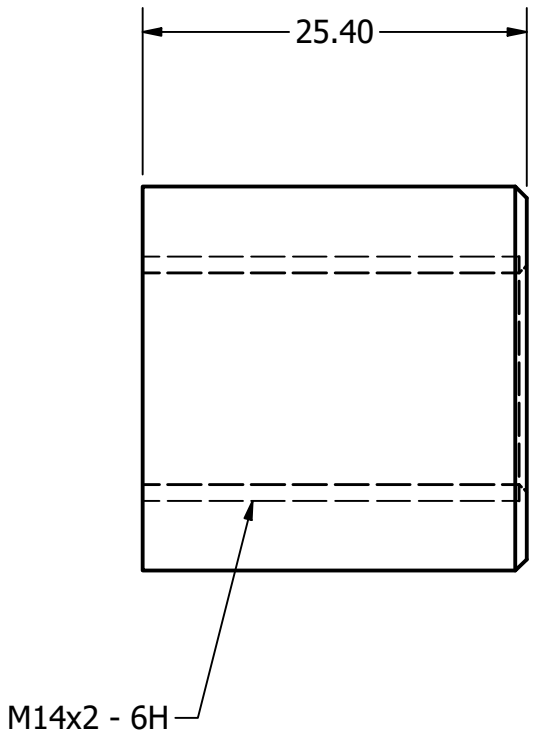

A-A ( 1.5 : 1 )

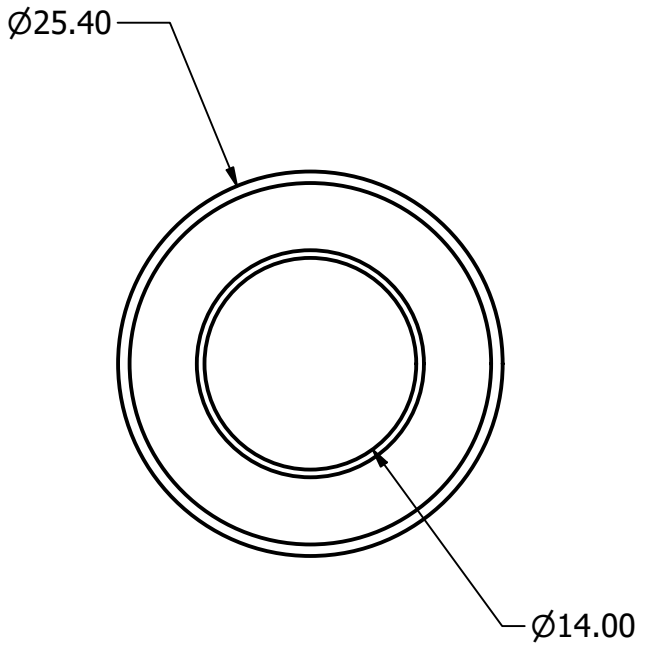


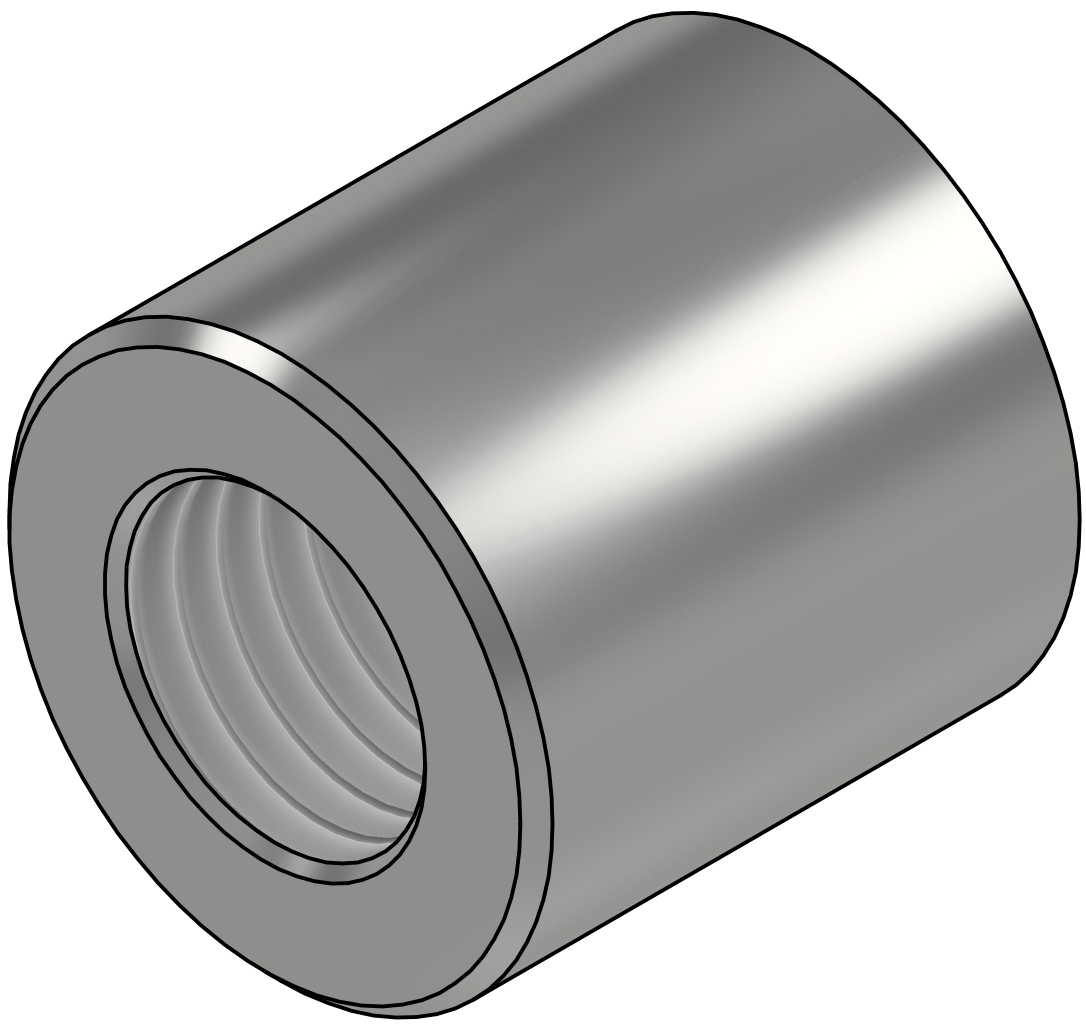



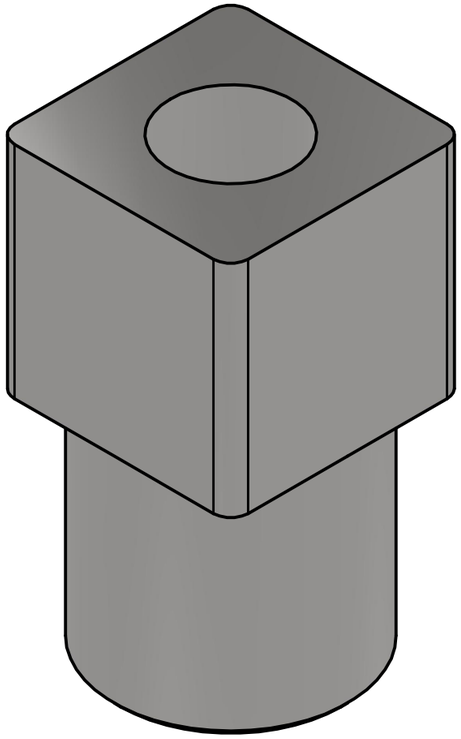
| | | | |
|---|---|---|---|
| Designed by: Martin Lopez | Reviewed by: Martin Rueda | Authorized by: Dr. Patricio Chiriboga | Date: 11/8/2024 |
| Notes: Todas las medidas estan en Tamaño de plano: A1 | Sujetador de puntas y extrusor | | General Tolerance: ± 0.05 mm |
| Sheet: 4/16 / Material: Acero inoxidable 304 | | | Tratamiento: |

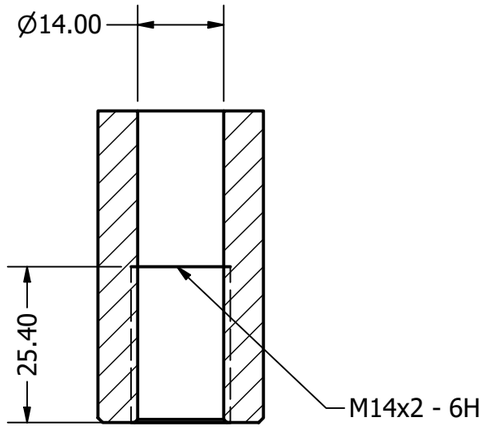


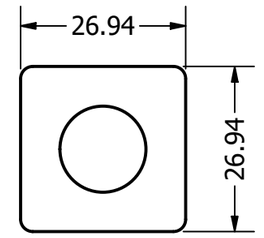



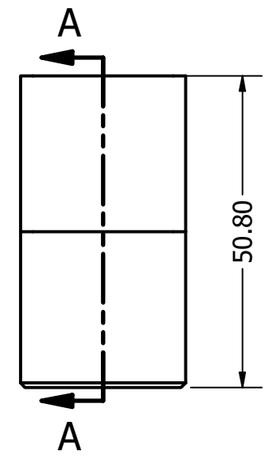
| | | | |
|---|---|---|---|
| Designed by: Martin Rueda | Reviewed by: Martin Lopez | Authorized by: Dr. Patricio Chiriboga | Date: 10/23/2024 |
| Notes: Diámetro inicial del eje: 1 pulg. Tamaño de plano: A4 | Acople para compresor | | General Tolerance: ± 0.5 mm |
| Sheet: 5/14 | Material: Acero Inoxidable 304 | USFQ | Tratamiento: |



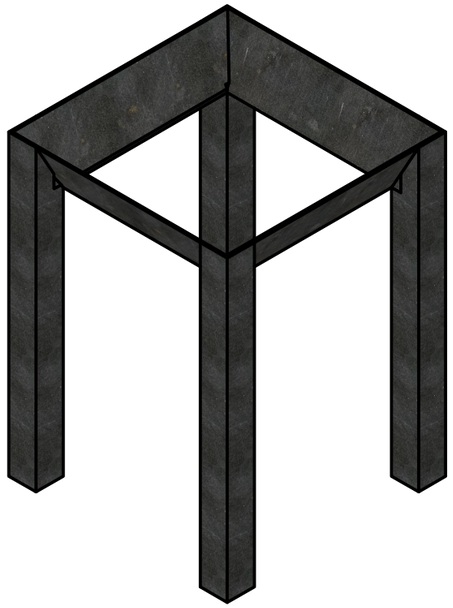


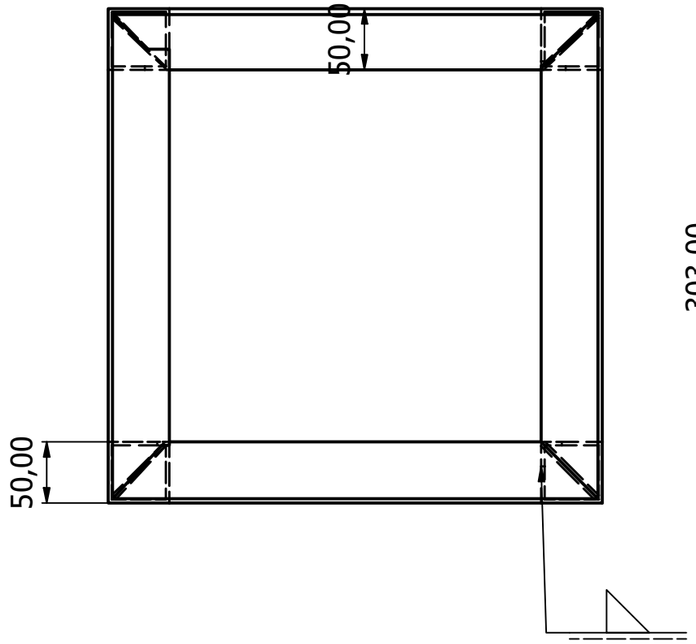

SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 1

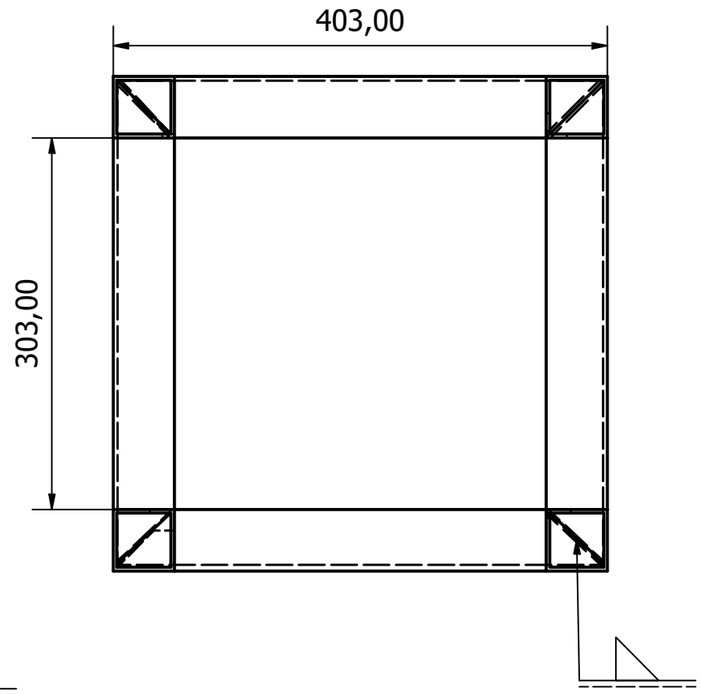


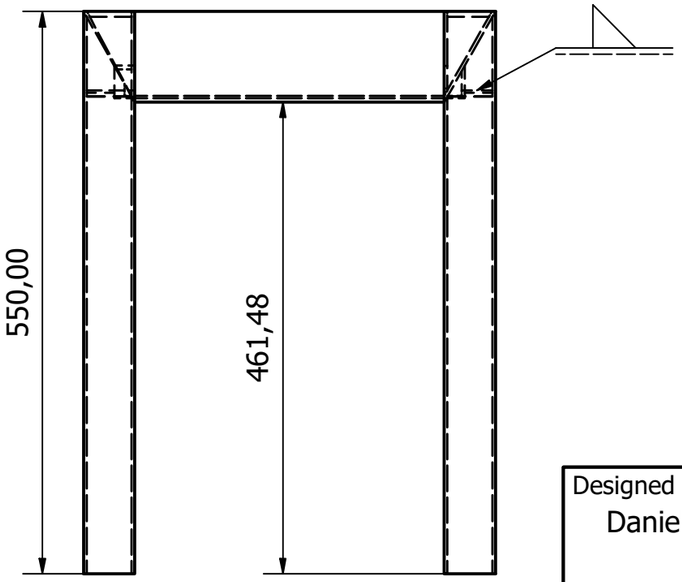




| | | | |
|---|---|---|---|
| Designed by: Martin Rueda | Reviewed by: Martin Lopez | Authorized by: Dr. Patricio Chiriboga | Date: 10/23/2024 |
| Notes: Diámetro inicial del eje: 1.5 pulg<br>Tamaño de plano: A3 | Acople de alimentación | | General Tolerance: |
| Sheet: 6/14 | Material: Acero Inoxidable 304 | USFQ | Tratamiento: |

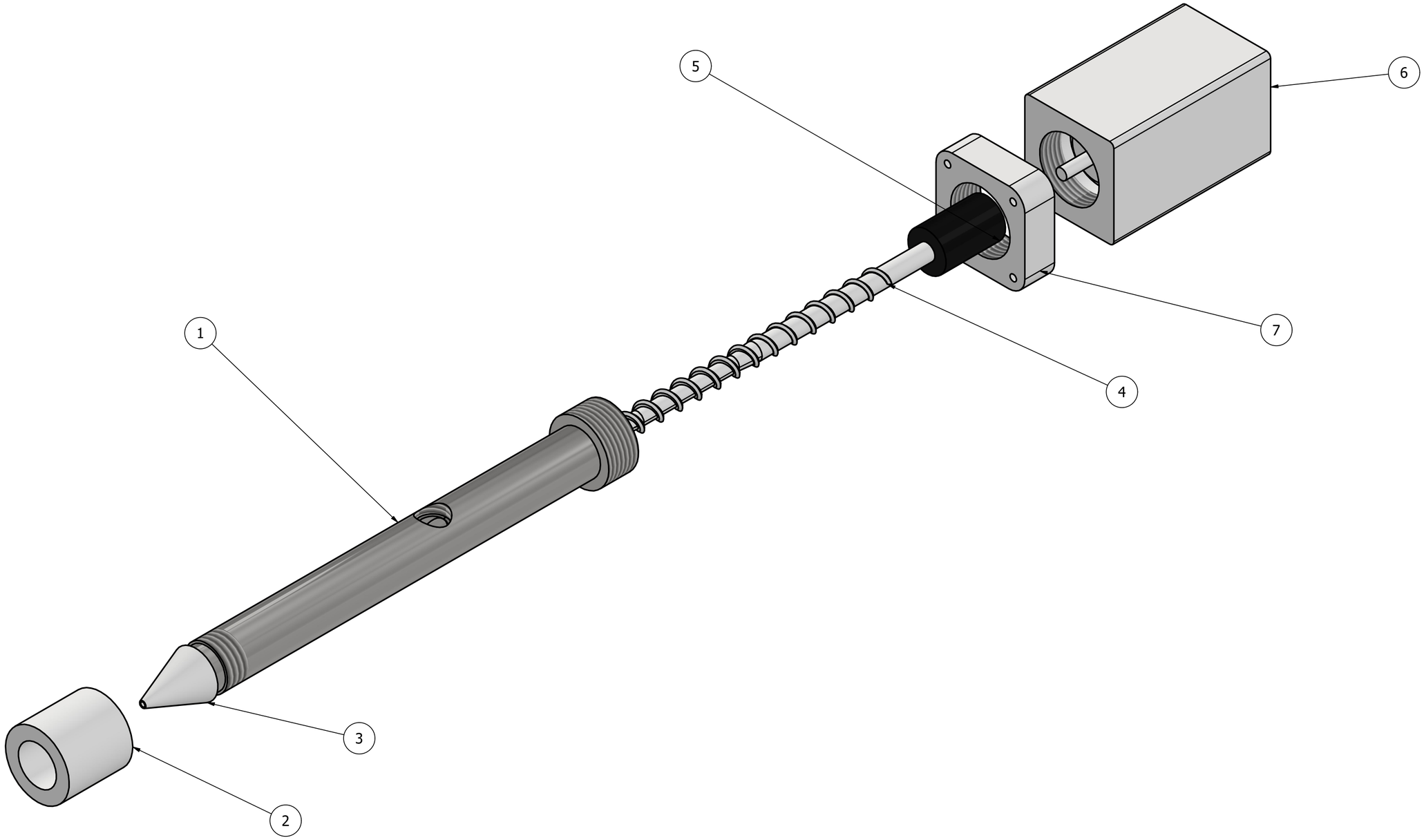




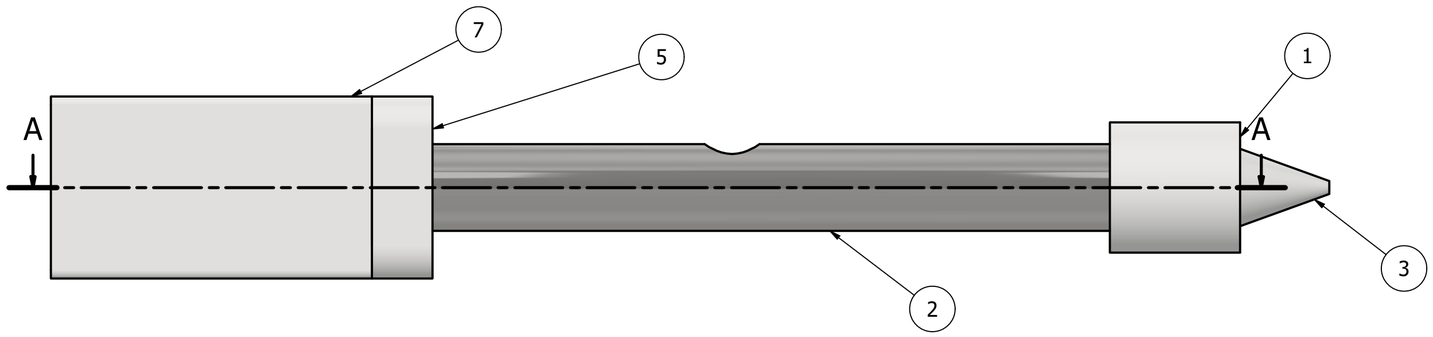



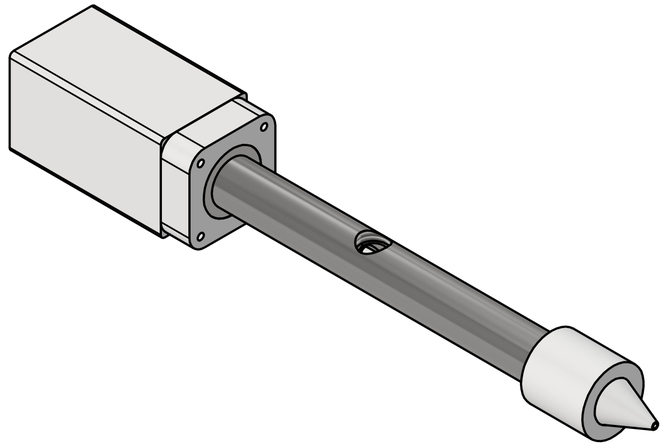

| | | | |
|---|---|---|---|
| Designed by: Daniel Tenesaca | Reviewed by: Martín López | Authorized by: Dr. Patricio Chiriboga | Date: 06/11/2024 |
| Notes: Tamaño de plano: A3 | Soporte de alimentador | | General Tolerance: |
| Sheet: 7/14 | Material: Acero Estructural | UFQ | Tratamiento: |

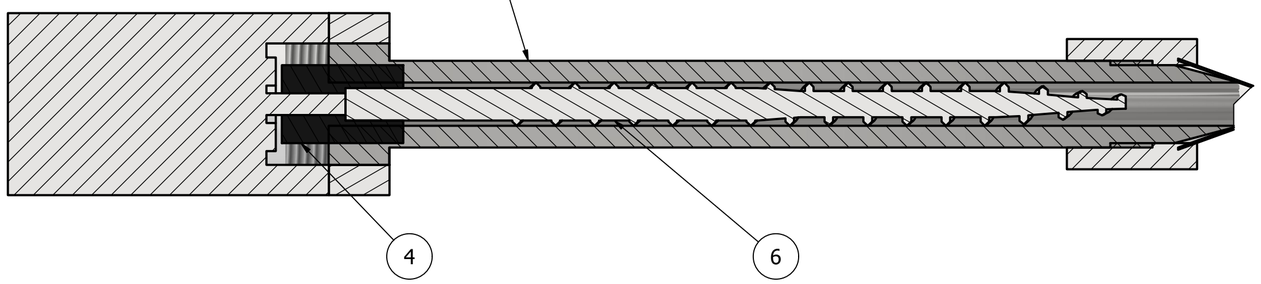



| PARTS LIST | | | |
|---|---|---|---|
| ITEM | QTY | PART NUMBER | DESCRIPTION |
| 1 | 1 | Tubo Extruso | |
| 2 | 1 | Sujetador de puntas | |
| 3 | 1 | Punta de acero NUEVA | |
| 4 | 1 | Tornillo sin fin | |
| 5 | 1 | Adaptador Motor<br>Tornillo 1 | |
| 6 | 1 | Muestra motor | |
| 7 | 1 | Conector Extrusor Motor | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Designed by: Martin Lopez | Reviewed by: Andrés Cruz & Martín Rueda | Authorized by: Dr. Patricio Chiriboga | Date: 11/8/2024 |
| Notes: Tamaño de plano: A2 | Extrusor completo | | General Tolerance: |
| Sheet: 8/14 | Material: | USFQ | Tratamiento: |

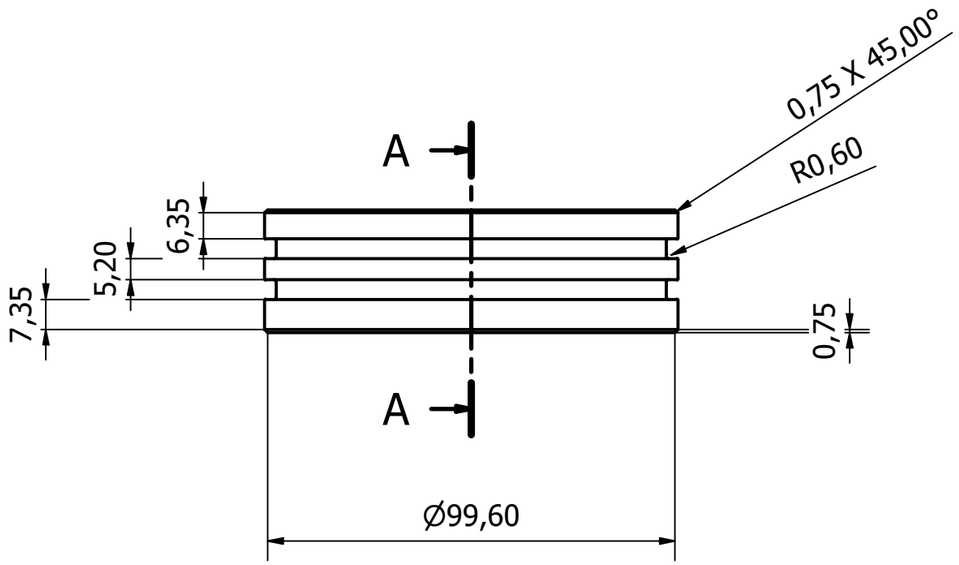


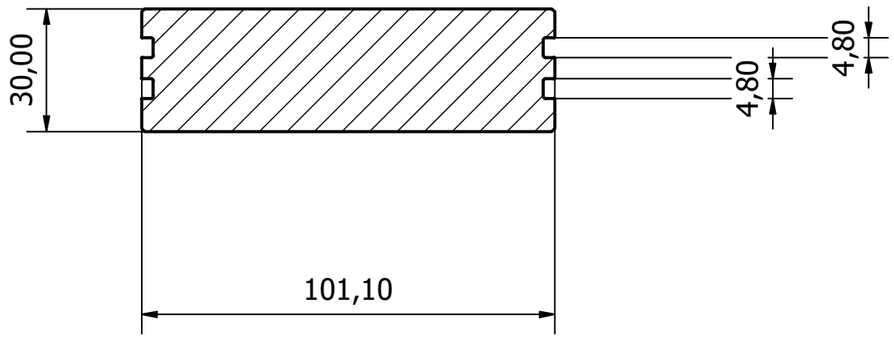



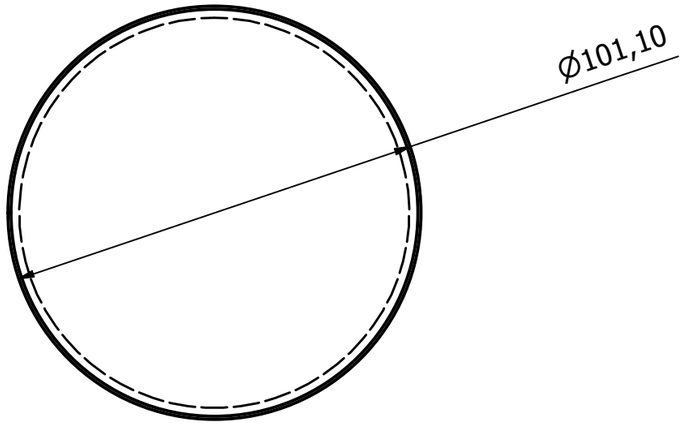


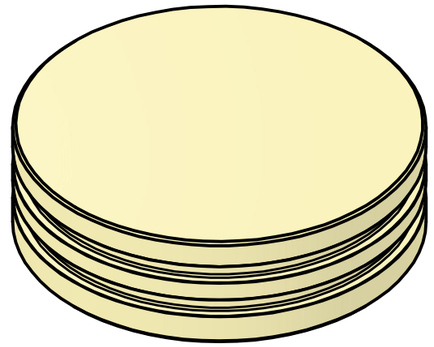

| PARTS LIST | | | |
|---|---|---|---|
| ITEM | QTY | PART NUMBER | DESCRIPTION |
| 1 | 1 | Sujetador de puntas | |
| 2 | 1 | Tubo Extruso | |
| 3 | 1 | Punta de acero NUEVA | |
| 4 | 1 | Adaptador Motor<br>Tornillo 1 | |
| 5 | 1 | Conector Extrusor Motor | |
| 6 | 1 | Tornillo sin fin | |
| 7 | 1 | Muestra motor | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Designed by: Martin Lopez | Reviewed by: Daniel Tenesaca | Authorized by: Dr. Patricio Chiriboga | Date: 11/8/2024 |
| Notes: Tamaño de plano: A2 | Extrusor armado | | General Tolerance: |
| Sheet: 9/14 / Material: | USFQ | | Tratamiento: |

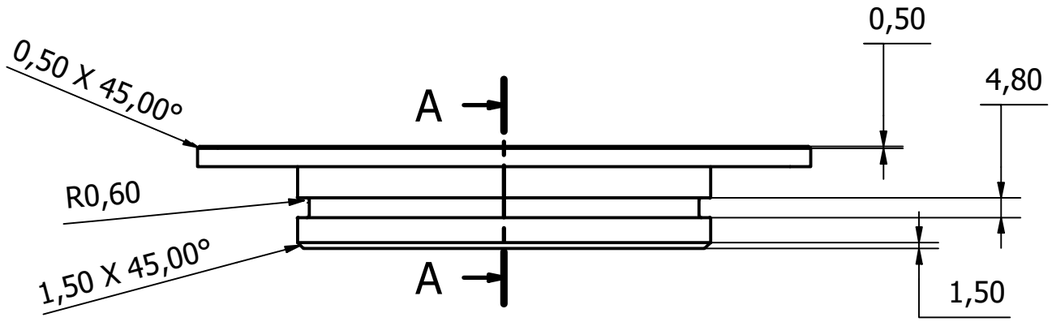


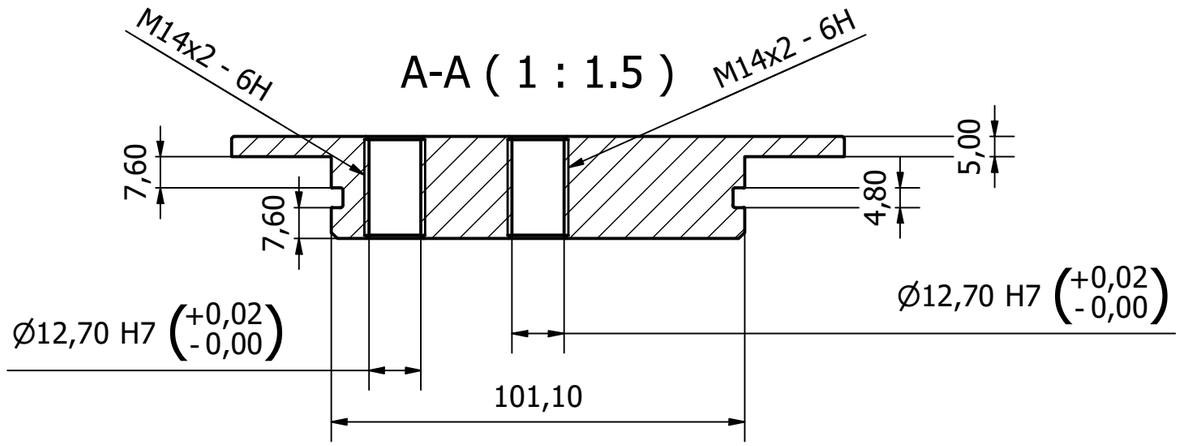



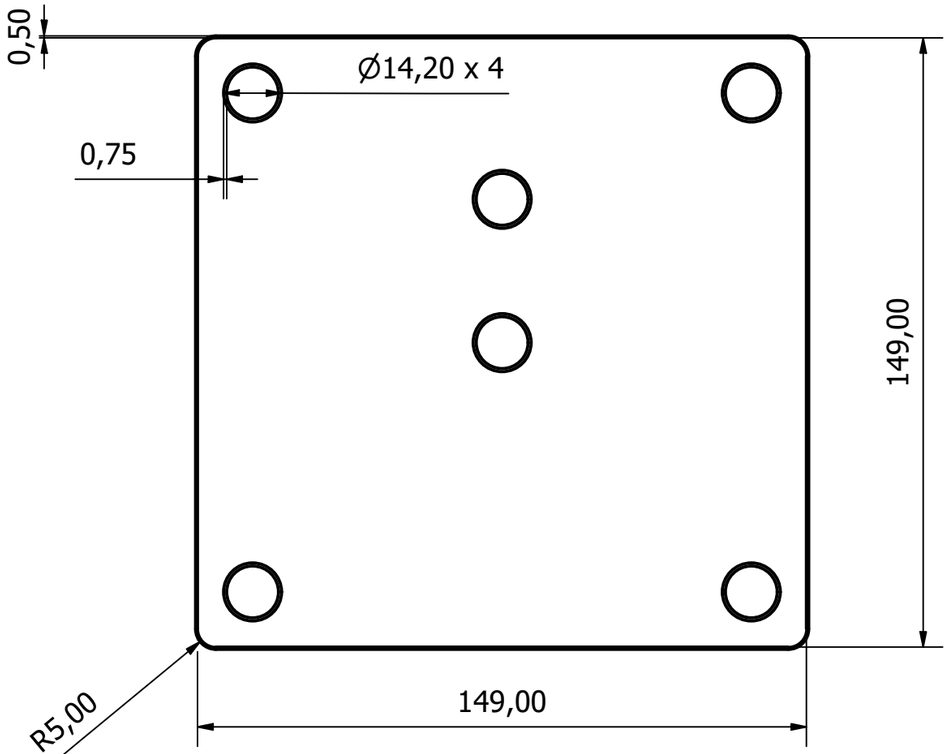



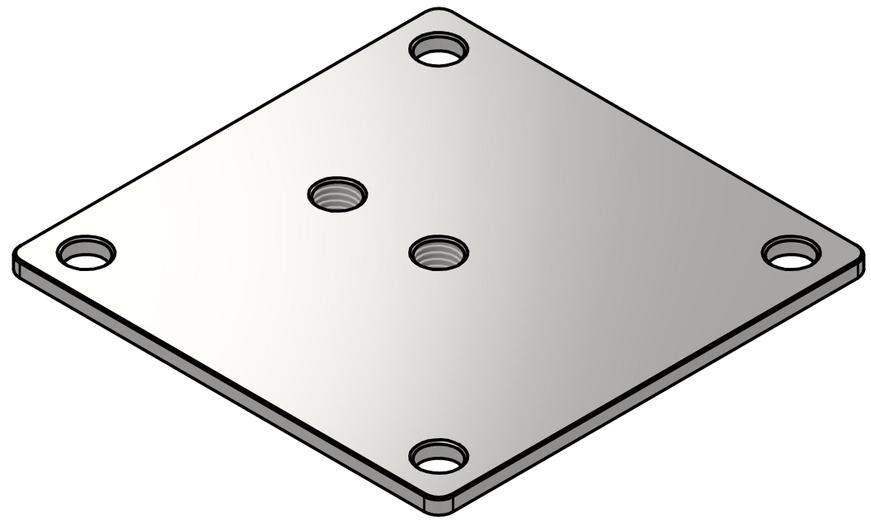



| | | | |
|---|---|---|---|
| Designed by: Martin Rueda | Reviewed by: Martin Lopez | Authorized by: Dr. Patricio Chiriboga | Date: 11/11/2024 |
| Notes: Todas las medidas se encuentran en milímetros. | Émbolo | Tamaño del plano: A3 | General Tolerance: ± 0.5 mm |
| Sheet: 10/14 / Material: Plástico | | | Tratamiento: / Escala General: 1 : 1.5 |

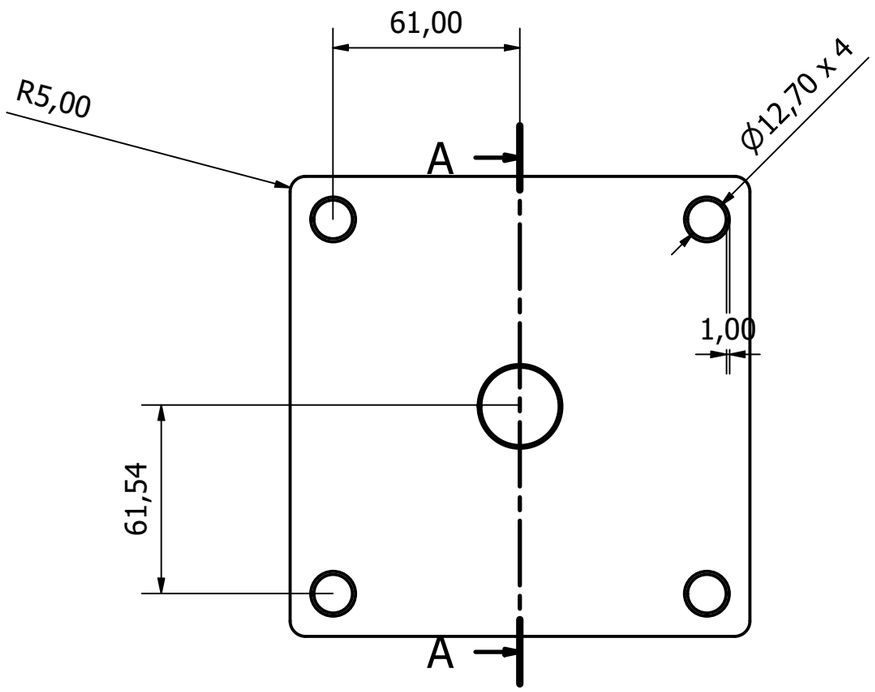


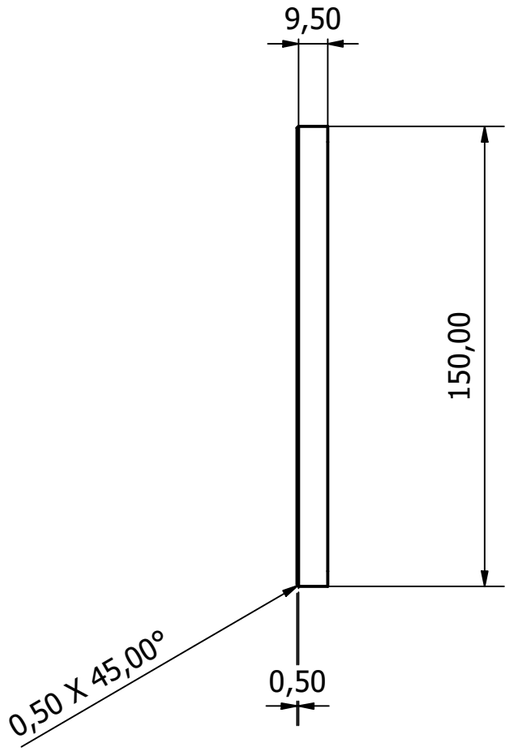



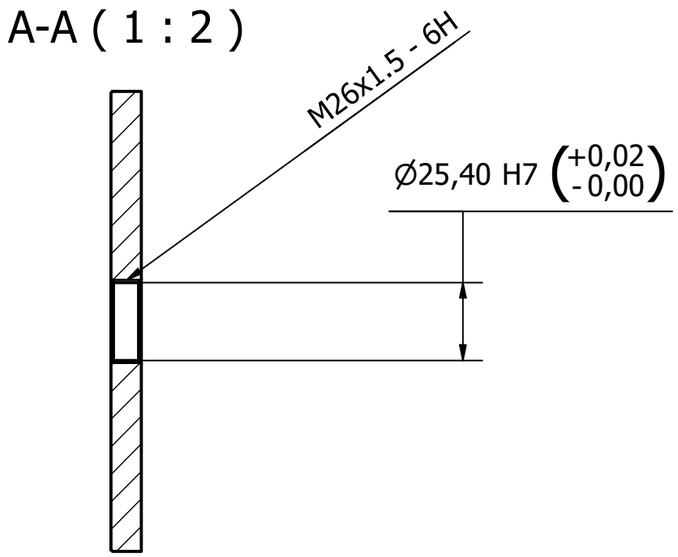



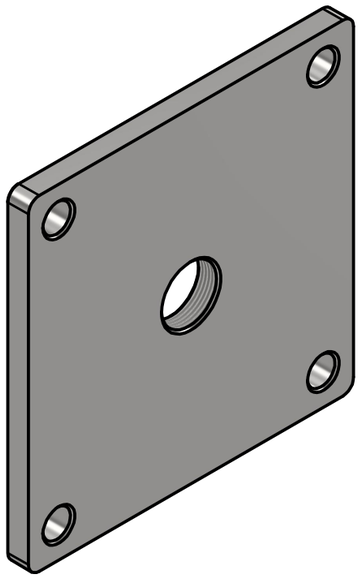



| | | | |
|---|---|---|---|
| Designed by: Martin Rueda | Reviewed by: Martin Lopez | Authorized by: Dr. Patricio Chiriboga | Date: 11/11/2024 |
| Notes: Todas las medidas se encuentran en milímetros. | Tapa Superior | Tamaño del plano: A3 | General Tolerance: ± 0.5 |
| Sheet: 11/14 / Material: Acero Inoxidable 304 | | | Tratamiento: / Escala General: 1 : 1.5 |

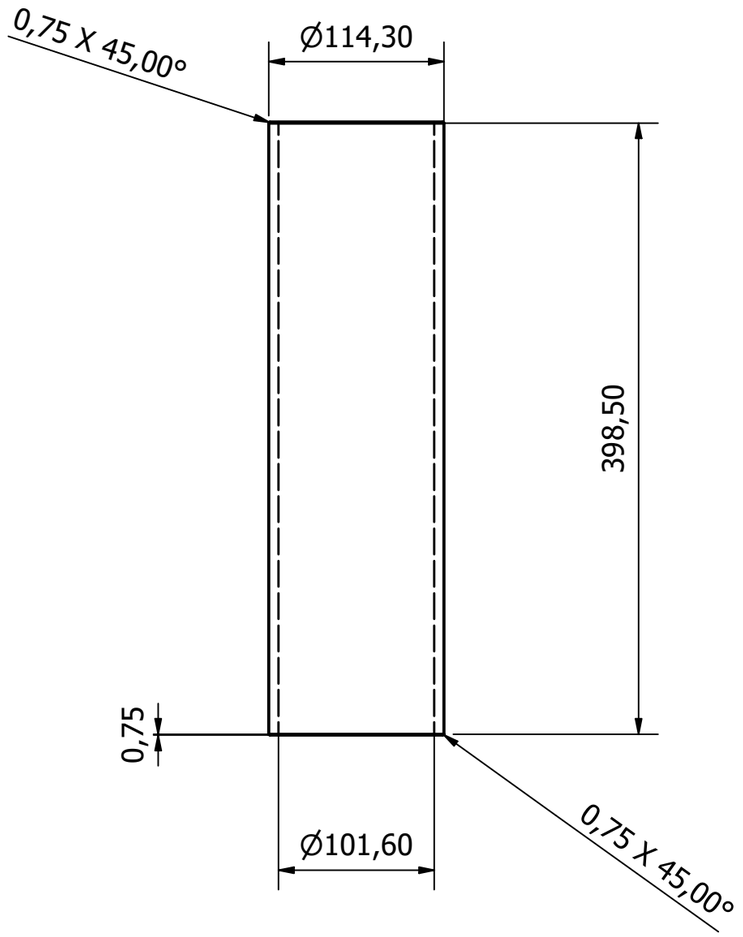


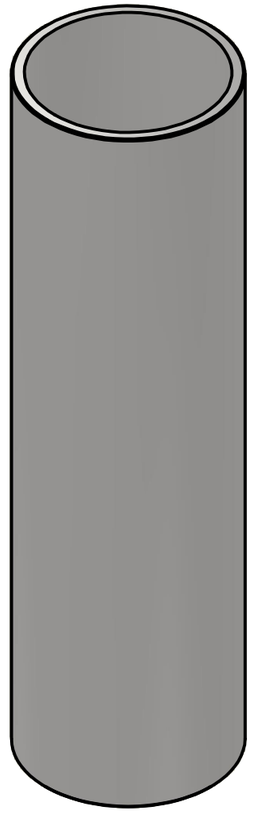



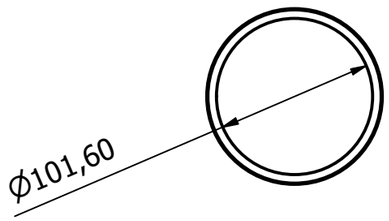



| | | | |
|---|---|---|---|
| Designed by: Martín Rueda | Reviewed by: Daniel Tenesaca | Authorized by: Dr. Patricio Chiriboga | Date: 11/11/2024 |
| Notes: Todas las medidas se encuentran en milímetros | Tapa Superior | Tamaño del plano: A3 | General Tolerance: ± 0.1 mm |
| | | | Tratamiento: |
| Sheet: 12/14 / Material: Acero Inoxidable 304 | | | Escala General: 1 : 2 |

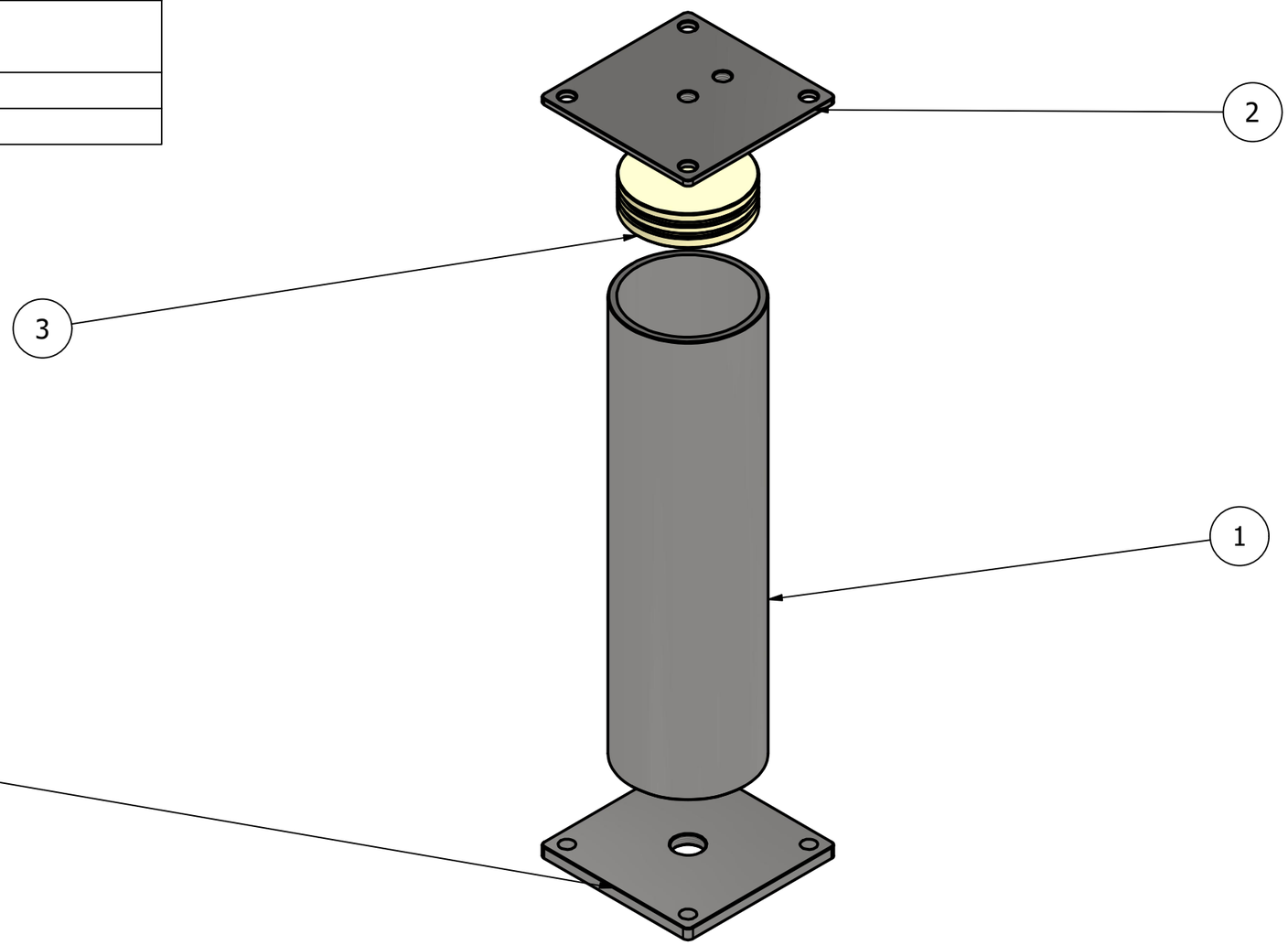





| | | | |
|---|---|---|---|
| Designed by: Martin Rueda | Reviewed by: Andrés Cruz | Authorized by: Dr. Patricio Chiriboga | Date: 11/11/2024 |
| Notes: Todas las medidas se encuentran en milímetros. | Tanque de Almacenamiento | Tamaño del plano: A3 | General Tolerance: ± 1 mm |
| | | | Tratamiento: |
| Sheet: 13/14 / Material: Acero Inoxidable 304 | | USFQ | Escala General: 1 : 4 |

| PARTS LIST | | | |
|---|---|---|---|
| ITEM | QTY | PART NUMBER | DESCRIPTION |
| 1 | 1 | Tanque almacenamiento V3 | |
| 2 | 2 | Tapa Superior V3 | |
| 3 | 1 | Émbolo | |




| | | | |
|---|---|---|---|
| Designed by: Martin Lopez | Reviewed by: Andres Cruz | Authorized by: Dr. Patricio Chiriboga | Date: 12/20/2024 |
| Notes: | Ensamble del Tanque de Almacenamiento | Tamaño del plano: A3 | General Tolerance: |
| Sheet: 14/14 / Material: | USFQ | | Tratamiento: / Escala General: 1 : 4 |

## Apéndice – Hojas de procesos

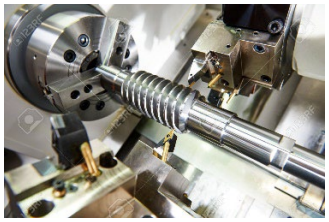
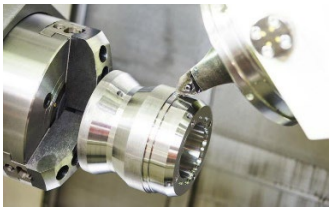
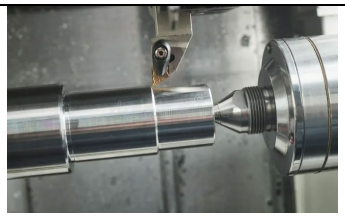
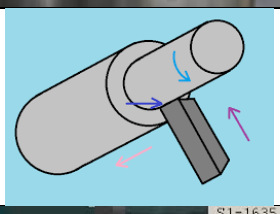
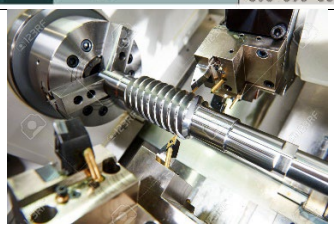
| N° de Proceso | Designación | Esquema del proceso | Herramienta | Ángulo | Tiempo del proceso [min] |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. Corte | Con una sierra para metales se busca realizar un corte del eje de la materia prima de acuerdo con la longitud total que va a tener el tornillo. Se debe considerar que el corte del eje debe tener una dimensión de 10 milímetros más grande que la especificada dentro del plano para poder ubicarlo en el torno ajustado de ambos lados. | | Sierra para metales | 90° | 10 |
| 2. Velocidad de corte | La velocidad de corte recomendada para los aceros inoxidables es de 40 mm/min para que se tenga un acabado perfecto y preciso | | Sierra para metales | 90° | N/A |
| 3. Centrado | Ubicar la pieza cortada en un torno y realizar el ajuste necesario. También comprobar que se encuentre totalmente horizontal con la ayuda de un reloj palpador por la importancia de la posición del eje. | | Reloj palpador | 180° | 10 |
| 4. Desbastado | Comenzar con el proceso de torneado del eje. Se debe considerar que el eje comprado tenga por lo menos 2 milímetros más que la medida máxima del tornillo especificada en el plano. Inicialmente, rebajar el eje hasta la medida deseada tomando en cuenta una o dos décimas de la medida del plano, luego, se debe comenzar a desbastar de acuerdo con el paso del tornillo y con la variación del diámetro interno del tornillo. Considerar velocidades de trabajo bajas por las dimensiones generales de la pieza. |  | Torno | N/A | 60-120 |
| 5. Acabado | Realizar el acabado final de las dimensiones de la pieza desbastando el exceso de material que se definió en el ítem 3. Se debe considerar que al ser una pieza que se ajusta dentro de un agujero es necesario tomar en cuenta una tolerancia “g 6” de acuerdo con las normas ISO para permitir un correcto funcionamiento y ajuste entre la pieza y el agujero en el que se va a insertar. |  | Torno | N/A | 10 |

*Tabla 31. Hoja de procesos para el tornillo extrusor*

| N° de Proceso | Designación | Esquema del proceso | Herramienta | Ángulo | Tiempo del proceso [min] |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. Cortado | Se ubica la pieza en un torno CNC, para tornear la pieza en su superficie externa. A lo largo de todo el eje. |  | Torno CNC | 90° | 4 |
| 2. Velocidad de maquinado | Se recomienda que se utilice una velocidad promedio de 45 mm/min | | Torno CNC | N/A | N/A |
| 3. Velocidad de avance del torno (desbaste) | Para un desbaste del material se usa una velocidad de 0.3 mm/rev |  | Torno CNC | N/A | N/A |
| 4. Velocidad de avance del torno (acabado) | Para el acabado correcto del material el torno tiene una velocidad de 0.10 mm/rev | | Torno CNC | N/A | N/A |
| 5. Taladrado | Utilizando el contrapunto del torno y con el torno CNC, con una broca de 10 mm de diámetro atravesar todo el eje para hacerlo un cilindro hueco. |  | Broca y Torno | 90° | 8 |
| 6. Perforado | Utilizando una fresadora con una broca de 10 mm se va a atravesar a lo largo de la parte superior del eje | | Fresadora | 90° | 4 |
| 7. Perforado | En la misma forma utilizando una broca de diámetro mayor, se va a taladrar con una distancia de 5 mm en profundidad del hueco previamente hecho. | | Fresadora | 90° | 10 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 8. Roscado | Utilizando un torno CNC, se va a realizar un roscado en la parte frontal del eje con una distancia de 10 mm a lo largo del eje con un paso de 2.5 mm. | | Machuelo | 0° | 4 |
| 9. Roscado | Utilizando el mismo torno CNC se realiza en el hueco previamente hecho un paso de 2 mm de roscado. | | Machuelo | 0° | 4 |

*Tabla 32. Hoja de procesos para el extrusor*

| Programa No. | Descripción | Esquema del proceso | Herramienta | Tiempo del proceso [min] |
|---|---|---|---|---|
| 1. Corte del material | Se parte de un tubo de acero inoxidable 304 cédula 40 y un largo de 400 mm. Para esto se utilizo una velocidad de corte de 20 m/min | | Sierra cinta | 2 |
| 2. Rectificar la circularidad | Con el tubo ya cortado se procedió a rectificar la circularidad de este con ayuda de un torno CNC a una velocidad de 40m/min | | Torno CNC | 30 |
| 3. Pulido del tanque | Con la ayuda de un torno CNC se realizó el proceso de pulido para el tanque, asegurándonos de tener un interior liso. | | Torno CNC | 10 |
| 4. Rectificado de bordes | Partiendo de una plancha de acero inoxidable 304 con se realiza un rectificado de bordes para las dos planchas, eso con el fin de tener un acabado óptimo. Las dos planchas tienen las siguientes medidas: dimensiones 150mmx150mmx25mm y 150mmx150mmx10mm | | Fresadora | 40 |

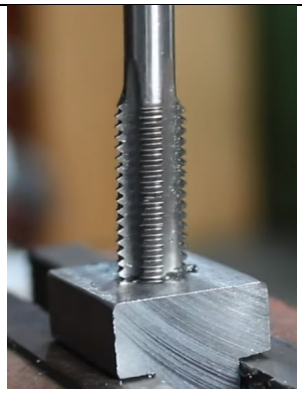
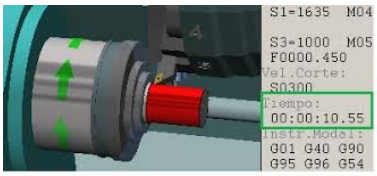
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 5. Perforación de las planchas | Con ayuda de un taladro de pedestal se realizaron las perforaciones necesarias en las planchas de acero, en el caso de la tapa superior fueron 6 y en la tapa inferior 5 empleando una broca de carburo con un diámetro de 10 mm a 40 m/min | | Taladro de pedestal | 45 |
| 6. Roscado | Se aplica un roscado en las dos perforaciones centrales de la tapa superior y en la única perforación central de la tapa inferior. Para esto se utiliza un machuelo ½ ” NPT. |  | Machuelo 1/2” NPT | 30 |
| 7. Desbaste del émbolo | Se utilizó una fresadora para poder desbastar las dos caras de una rodaja de poliamida y obtener una superficie recta. | | Fresadora | 25 |
| 8. Canales del émbolo | Con ayuda de un torno CNC se maquinaron dos canales paralelos a su diámetro para insertar dos O-rings, este proceso se realizó a 100m/min, |   | Torno CNC | 10 |
| 9. Unión de las piezas | Para la unión de las dos tapas y el tanque se utilizaron 4 varillas roscadas M10 x500mm en conjunto con tuercas de seguridad y arandelas planas. | | N/A | 5 |

*Tabla 33. Hoja de procesos para el tanque de alimentación*

| Programa No. | Parámetros | Herramientas | Esquema del proceso | Tiempo del proceso [min] |
|---|---|---|---|---|
| 1. Corte de las planchas | Se realiza el corte del material utilizando láser, el cual deja el acero estructural con medidas exactas. | Cortadora láser | | 60 |
| 2. Velocidad de corte | La cortadora laser efectúa su trabajo a una velocidad de 2.4 m/min | Cortadora láser | | N/A |
| 3. Velocidad de avance | La velocidad de avance en un material de acero inoxidable es de 8 mm/s | Cortadora Láser | | N/A |
| 4. Armado de patas | Se realiza un armado de las patas para ver como esta cada una de ellas y si cumplen con los tamaños propuestos. | Lugar de trabajo plano | | 20 |

*Tabla 34. Hoja de procesos para el soporte del tanque de alimentación*

# Apéndice – Manejo de Proyecto

## ANEXO 1. Cronograma de Actividades, Diagrama de Gantt.

| | | | | Semana | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Agosto | | Septiembre | | | | Octubre | | | | | Noviembre | | | | Diciembre | |
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | Semana Final |
| **Actividad Pricipal** | **Actividad Secundaria** | **Inicio** | **Fin** | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Definicion de problema | | Semana 1 | Semana 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Revisión de la literatura | | Semana 1 | Semana 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Matrices de selección | | Semana 2 | Semana 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tesis | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Introducción | Semana 2 | Semana 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Diagrama de Gantt | Semana 4 | Semana 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Cálculos & Simulaciones | Semana 4 | Semana 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Análisis de Riesgos | Semana 6 | Semana 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Desarrollo del tema | Semana 4 | Semana 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Conclusiones | Semana 16 | Semana Final | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Calculos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Velocidades de deposición y avance | Semana 4 | Semana 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Calculo estructural (Carcaza) | Semana 4 | Semana 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Cálculo de presión | Semana 4 | Semana 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Torque y potencia (Steper) | Semana 4 | Semana 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Tornillo de potencia | Semana 4 | Semana 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Sistema de alimentación | Semana 5 | Semana 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Platina de soporte | Semana 5 | Semana 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Sistema de soporte del alimentador | Semana 5 | Semana 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Simulaciones | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Tornillo de potencia | Semana 5 | Semana 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Protector y carcaza | Semana 5 | Semana 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Fluido | Semana 5 | Semana 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Diferencias de presión | Semana 6 | Semana 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Platina (Estructural) | Semana 6 | Semana 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Sistema (General) | Semana 6 | Semana 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Planos | | Semana 8 | Semana 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Plan de manofactura | | Semana 9 | Semana 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Construcción | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Tornillo sin fin | Semana 11 | Semana 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Carcaza protectora | Semana 11 | Semana 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Sistema de alimentación | Semana 12 | Semana 13 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Acople al compresor | Semana 12 | Semana 13 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Soporte del sistema de alimentación | Semana 13 | Semana 14 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Platina de soporte | Semana 11 | Semana 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pruebas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Desarrollo del material | Semana 6 | Semana 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Pruebas del material | Semana 7 | Semana 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Prueba del extrusor sin el material | Semana 12 | Semana 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Prueba del extrusor con el material | Semana 14 | Semana 14 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Prueba del sistema de alimentación | Semana 13 | Semana 13 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Prueba general del sistema | Semana 15 | Semana 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Manual de operación y Mantenimiento | | Semana 15 | Semana 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Presentaciones | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Feria de Ingenieria | Semana 16 | Semana 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Defensa | Semana final | Semana final | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Documento final | Semana final | Semana final | | | | | | | | | | | | | | | | | |

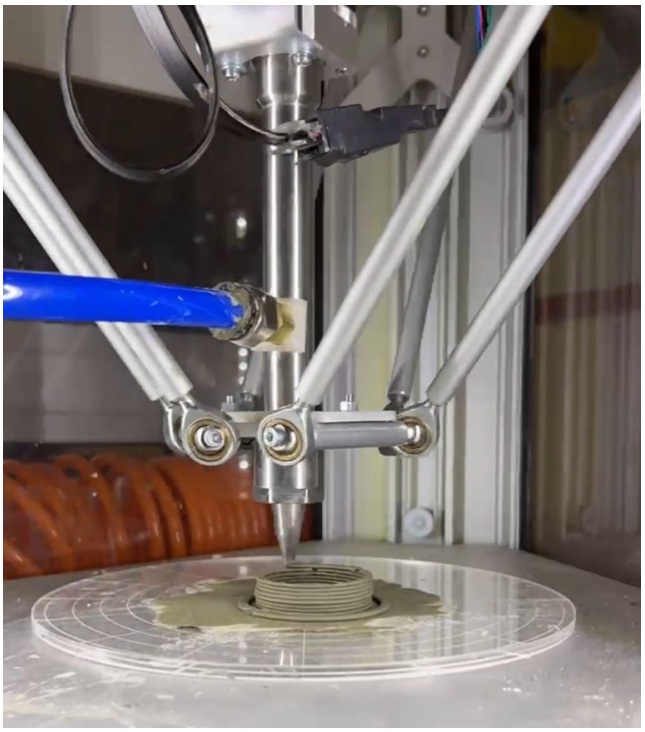
# Appendix Binder

## Manual de Mantenimiento y Operación

# Manual De Operaciones & Mantenimiento

## Extrusor compatible con materiales bio-compatibles

01 diciembre 2024



# Contenidos

Manual De Operaciones & Mantenimiento ..... 0
1. Introducción ..... 3
2. Componentes ..... 4
Sistema de extrusión ..... 4
Sistema de alimentación ..... 5
3. Descripción ..... 6
Indicaciones de uso & Campo de aplicación ..... 6
Vida Útil ..... 6
Construcción ..... 6
4. Ficha Técnica ..... 8
5. Montaje & Implementación del Sistema ..... 10
Proceso del montaje ..... 10
Implementación & Manejo ..... 17
6. Recomendaciones de Mantenimiento ..... 18
Limpieza del Sistema de extrusión ..... 18
Extrusor & Tornillo Sin Fin ..... 18
Limpieza del Tanque de almacenamiento ..... 19
Mantenimiento & Limpieza de las Mangueras ..... 21
Mantenimiento del Sistema Eléctrico ..... 22
Motor A Pasos ..... 22
7. Precauciones ..... 23
Peligros potenciales a las impresoras ..... 23
Peligros a la salud ..... 23
Materiales que evitar ..... 24
8. Aviso Legal ..... 24



©2024. All Rights Reserved.

Autores:

Martin Rueda – USFQ; Ingeniería Mecánica

Martín López – USFQ; Ingeniería Mecánica

Andrés Cruz – USFQ; Ingeniería Mecánica

Daniel Tenesaca – USFQ; Ingeniería Mecánica

Última fecha de actualización: 2024 - Diciembre – 12

1. Leer detenidamente este documento y leerlo en su totalidad antes de operar el dispositivo
2. Explicar al usuario la forma de operar el dispositivo de manera segura ya adecuada
3. Seguir todas las indicaciones de seguridad para evitar potenciales lesiones al usuario y daños parciales o totales al dispositivo.
4. Conservar en su totalidad este documento.

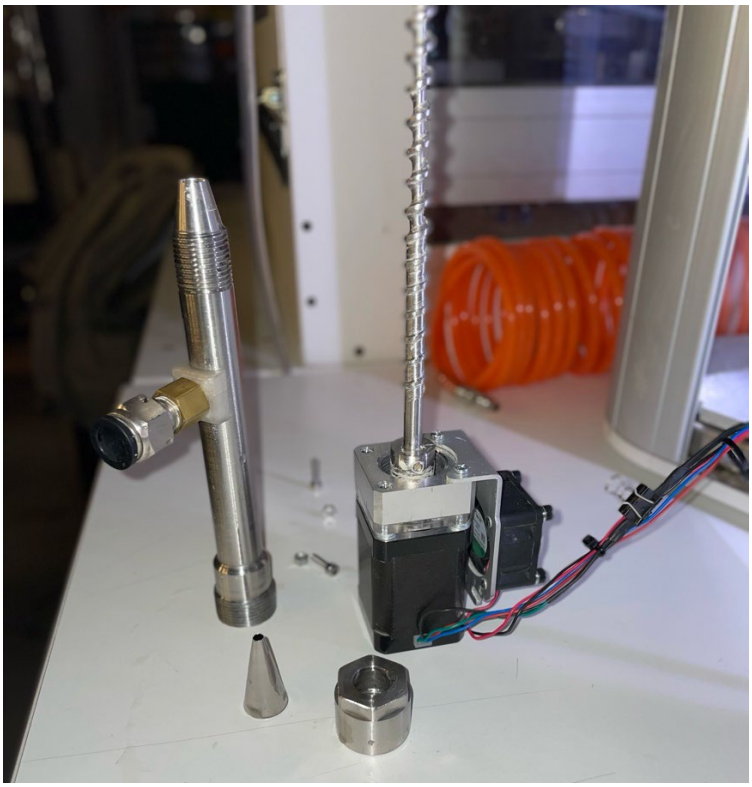
Los diseñadores de este dispositivo no se hacen responsables por posibles daños a la propiedad o a la persona.



©2024. All Rights Reserved.

# 1. Introducción

El Sistema de Extrusión para Materiales Biocompatibles consiste en un dispositivo para deposición de material diseñado con la capacidad de adaptarse a impresoras 3D, desarrollado como proyecto de titulación de la Universidad San Francisco de Quito. Este sistema está fabricado en su totalidad en acero inoxidable 304, lo que asegura su resistencia y durabilidad. Su desarrollo se realizó sin fines de lucro, con el único objetivo de contribuir al estudio y desarrollo de materiales bio-compatibles en diversas áreas de aplicación.





©2024. All Rights Reserved.

# 2. Componentes

A continuación, se detallan los componentes del sistema de extrusión y de su tanque de alimentación de material.

## Sistema de extrusión

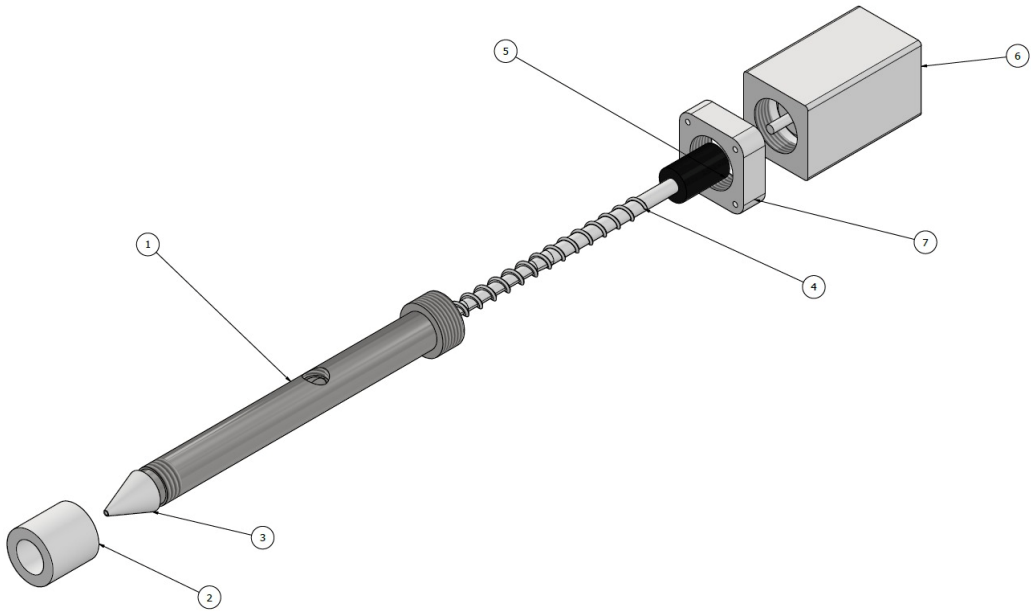



Figura 1. Componentes del sistema extrusor

Tabla 1. Lista de Componentes – Sistema de extrusión

| **Lista de componentes** | | |
|---|---|---|
| **Número de parte** | **Nombre** | **Cantidad** |
| 1 | Tubo extrusor | 1 |
| 2 | Sujetador de Boquillas | 1 |
| 3 | Boquilla | 1 |



©2024. All Rights Reserved.

| | | |
|---|---|---|
| 4 | Tornillo sin fin | 1 |
| 5 | Adaptador Motor – Tornillo sin fin | 1 |
| 6 | Motor Stepper (A pasos) | 1 |
| 7 | Adaptador Motor – Tubo Extrusor | 1 |

## Sistema de alimentación

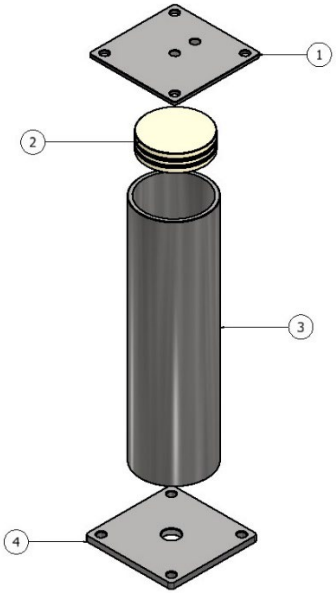



Figura 2. Componentes del tanque de almacenamiento

Tabla 2. Lista de componentes – Sistema de alimentación

| **Lista de componentes** | | |
|---|---|---|
| **Número de parte** | **Nombre** | **Cantidad** |
| 1 | Tapa superior | 1 |
| 2 | Émbolo | 1 |



©2024. All Rights Reserved.

| | | |
|---|---|---|
| 3 | Tubo de almacenamiento | 1 |
| 4 | Tapa inferior | 1 |

# 3. Descripción

## Indicaciones de uso & Campo de aplicación

El sistema de extrusión compatible para materiales bio-compatibles se compone en su mayoría de acero inoxidable 304 y acero estructural, el cual tiene un enfoque y diseño para las impresoras tipo Delta. Este sistema es capaz de imprimir materiales biocompatibles viscosos con un valor aproximado de 10 Pa-s.

## Vida Útil

El sistema de extrusión y tanque de almacenamiento tiene un diseño para tener una vida útil infinita, adecuada a los correctos mantenimientos y limpieza. Los componentes menores como racores, O-rings o válvulas de alivio tiene una vida útil finita, revisar sección de mantenimiento para los tiempos de cambio recomendados.

El exponer el sistema a altas temperaturas, componentes corrosivos y/o oxidantes o a un mal mantenimiento puede dañar el sistema parcialmente o en su totalidad. Revisar el apartado de 7 para un mayor detalle.

## Construcción

El motor Stepper (6) se encuentra unido a un adaptador motor tubo extrusor – motor (7), el eje del motor Stepper se encuentra unido por dos sujetadores para sujetar la base del tornillo sin fin (4). El tubo extrusor (1) se encuentra roscado a la rosca hembra del adaptador Motor – Tubo Extrusor (7). La boquilla (3) se



©2024. All Rights Reserved.

encuentra sujeta en la punta del tubo extrusor con un sujetador de boquillas (2). Para una mejor visualización de la construcción con los componentes, por favor referirse a la imagen inferior.

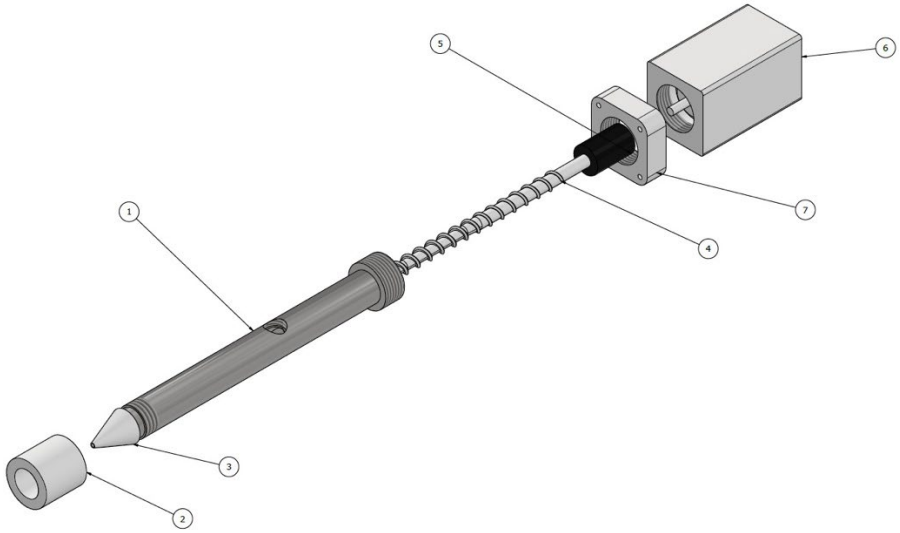



Figura 3. Componentes del sistema extrusor

El tanque de almacenamiento (3), se encuentra sujeto por una tapa superior (1) y una tapa inferior (4) en cada zona como indica su nombre respectivamente, el émbolo (2) se encuentra ubicado en la zona interior del tanque de almacenamiento (3). Cada pieza a excepción del tanque de almacenamiento contiene o-rings para evitar fugas y mejorar la presurización del sistema. Para una mejor visualización de la construcción con los componentes, por favor referirse a la imagen inferior.



©2024. All Rights Reserved.

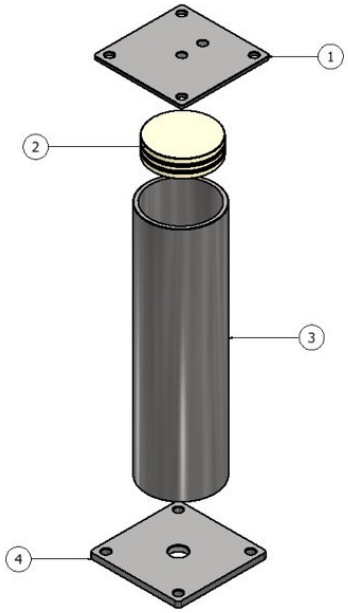



Figura 4. Componentes del tanque de almacenamiento

# 4. Ficha Técnica

En la siguiente tabla, se pueden encontrar varios datos referentes a la ficha técnica del sistema, se recomienda tener en cuenta estos valores para evitar una sobrecarga en los sistemas a los cuales se van a implementar y de igual manera evitar un potencial daño en los componentes del sistema de extrusión y sus componentes adjuntos.

Tabla 3. Ficha técnica

| **Artículo** | **Rango o valor** |
|---|---|
| Peso del extrusor | 0.8 kg |
| Tipo de roscado | Rosca NPT |



©2024. All Rights Reserved.

| | |
|---|---|
| Grados de libertad máximos | 3 |
| Viscosidad del material | 10 Pa-s |
| Velocidad de extrusión | 12 mm/s |
| Pines de conexión del motor Stepper | 4 canales |
| Diámetro de manguera | 8 mm |
| Presión mínima del compresor | 7 bar |



©2024. All Rights Reserved.

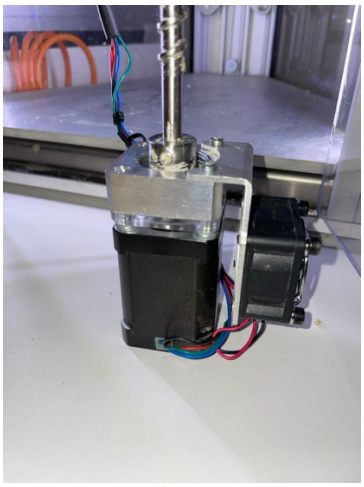
# 5. Montaje & Implementación del Sistema

El sistema de extrusión compatible materiales bio-compatibles tiene la capacidad de trabajar con varios materiales bio-compatibles, lo que permite la versatilidad al momento de realizar una impresión. Al momento de realizar un montaje es fundamental que se realice un proceso detallado ya que de no realizar un correcto montaje es posible que el sistema pueda despresurizarse y realizar una fuga parcial o total del material bio-compatibles. Provocando pérdidas y daños potenciales.

## Proceso del montaje

Paso 1. Sujetar el adaptador motor – tornillo sin fin al eje del motor Stepper y ajustarlo con una llave Allen.

Paso 2. Ajustar el otro extremo del adaptador motor – tornillo sin fin al tornillo sin fin utilizando una llave Allen.



Paso 3. Ajustar el adaptador motor – Tubo extrusor al motor Stepper con los tornillos provistos en el sistema utilizando un destornillador.



©2024. All Rights Reserved.

Paso 4. Ajustar el tubo extrusor al adaptador Motor – Tubo extrusor. Este sistema se lo puede roscar, para evitar fugas, al momento de que el tubo extrusor empiece a sentirse ajustado, asegurarse realizando ¼ de vuelta adicional.

Paso 5. Ubicar una boquilla con el diámetro deseado en el otro extremo del extrusor y adicionalmente ubicar el sujetador de boquillas para ajustar la boquilla al sistema extrusor.

©2024. All Rights Reserved.

Paso 6. Ubicar teflón en el racor y roscar el racor al tubo extrusor y conectar un extremo de la manguera.

Al momento de que el racor empiece a sentirse ajustado, asegurarse realizando ¼ de vuelta adicional.

Paso 7. Ubicar el émbolo dentro del tanque de almacenamiento con los o-rings ya puestos en sus ranuras respectivas

Paso 8. Ubicar la tapa superior en la parte superior del tanque y la tapa inferior en la parte inferior del tanque.



©2024. All Rights Reserved.

Paso 9. Sujetar ambas tapas con las varillas roscadas y sus sujetadores. Al momento de que los sujetadores ya se sientan ajustados, asegurarse realizando ¼ de vuelta adicional para evitar su despresurización.

Paso 10. Ubicar teflón en el racor y roscar el racor a la tapa inferior y conectar un extremo de la manguera. Al momento de que el racor empiece a sentirse ajustado, asegurarse realizando ¼ de vuelta adicional.

Paso 11. Ubicar teflón en el racor y roscar el racor a la tapa superior y conectar un extremo de la manguera. Al momento de que el racor empiece a sentirse ajustado, asegurarse realizando ¼ de vuelta adicional.

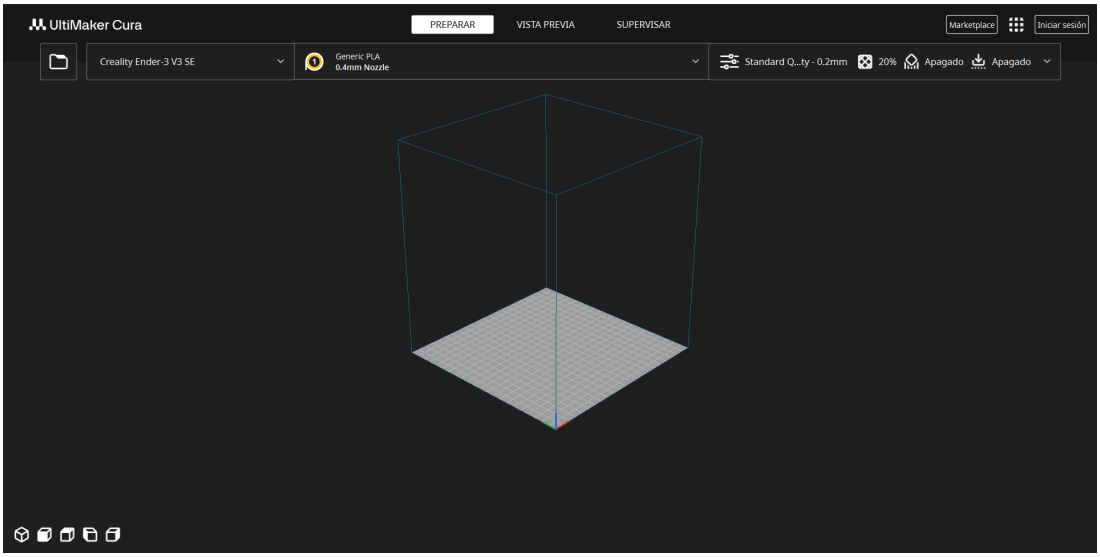


©2024. All Rights Reserved.

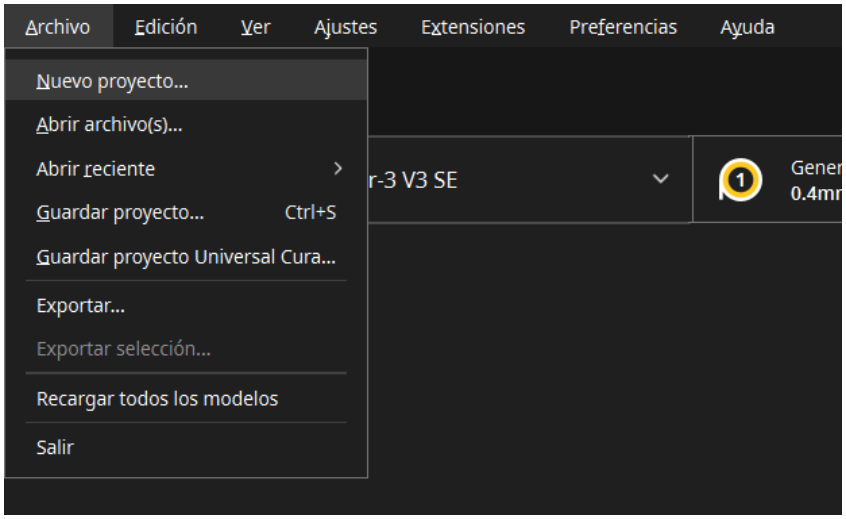
Paso 12. Ubicar teflón en la válvula de alivio y ajustarlo en la tapa superior. Al momento de que la válvula de alivio empiece a sentirse ajustado, asegurarse realizando ¼ de vuelta adicional.

Paso 13. Conectar la manguera desde el compresor a la tapa superior del tanque de almacenamiento

Paso 14. Abrir el software laminador a utilizar, en este caso es UltiMaker Cura 5.9.0.



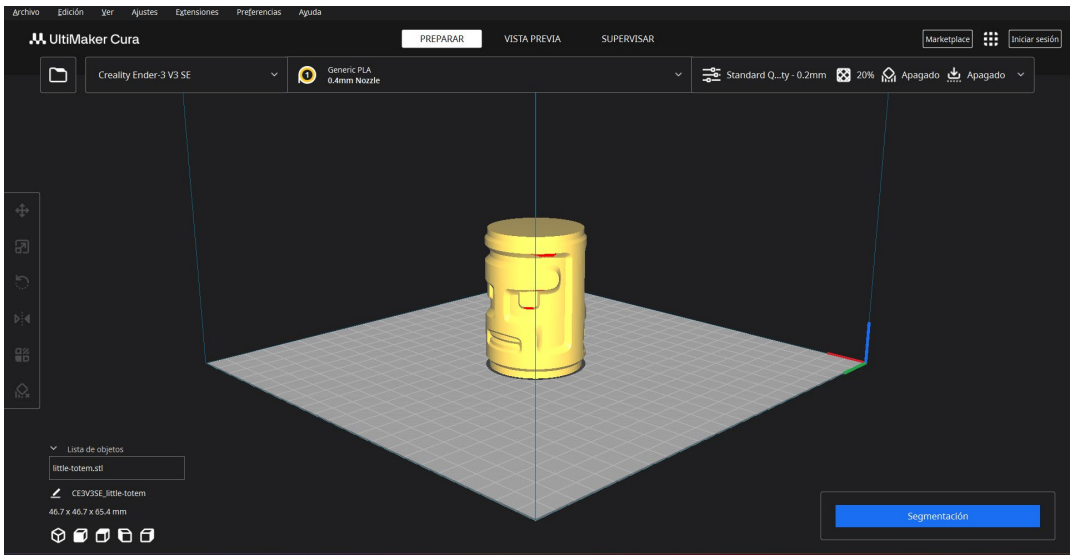

Paso 15. Importar el archivo 3D que se desea imprimir. Para esto se debe ir a la pestaña Archivo-Nuevo Proyecto…



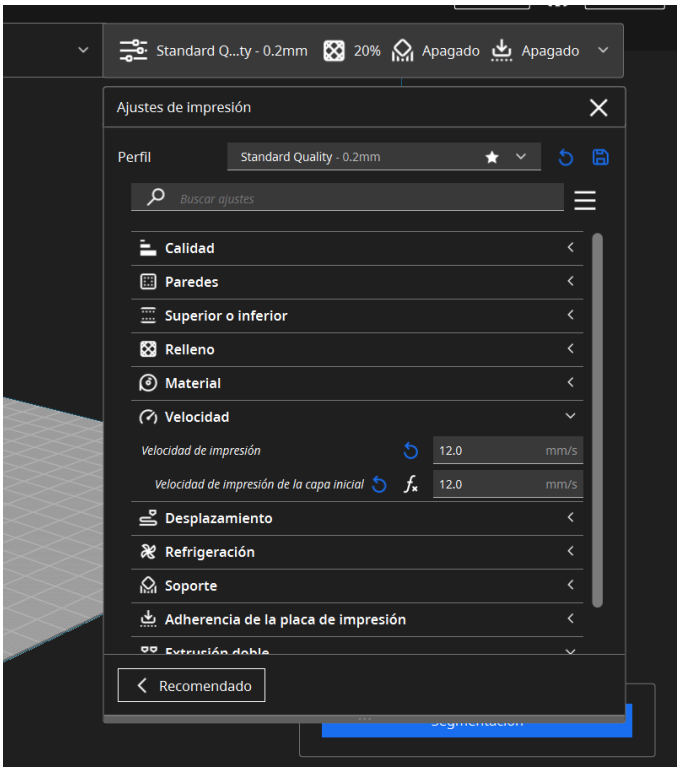



©2024. All Rights Reserved.

Paso 16. Buscar el nombre del archivo y abrirlo con el programa.



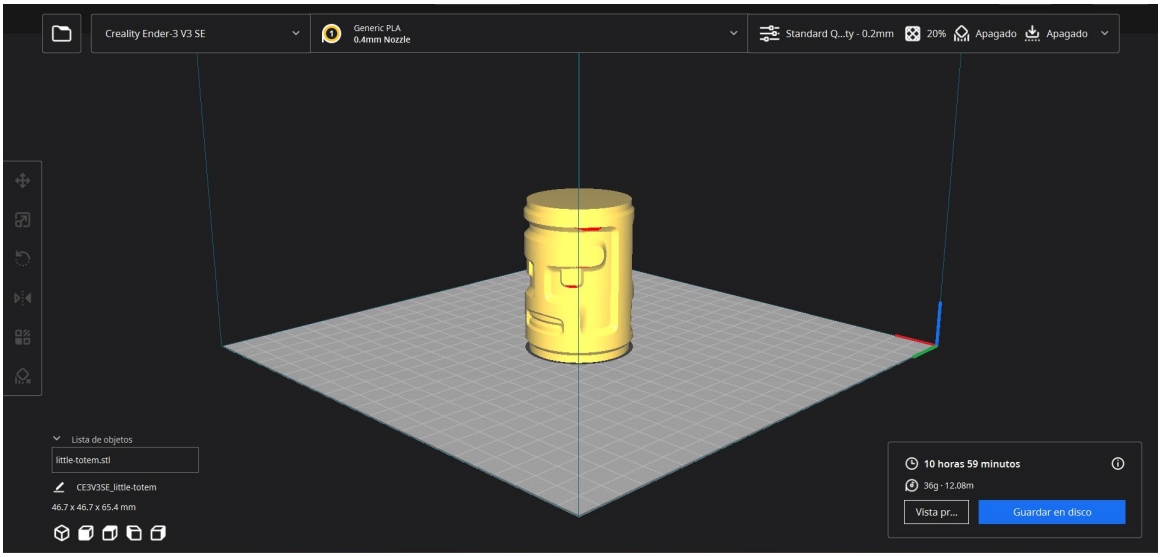

Paso 17. Dar click en el menú superior derecho y establecer una velocidad de 12 mm/s en el menú de opciones.






©2024. All Rights Reserved.

Paso 18. Dar click en el botón Segmentación y esperar a que el software nos permita guardar en disco o en una memoria extraíble.




Paso 19. Guardar el archivo generado en una memoria extraíble SD.

Paso 20. Prender la impresora 3D, insertar la memoria SD y correr el código desde el menú de la impresora.

Si algún componente de los sistemas presenta algún tipo de agrietamiento, rallón o tipo de daño, sea parcial o total. Por favor, realizar el respectivo cambio del componente y realizar una verificación de cuál puede ser el problema que está provocando el daño para evitar un cambio del componente a futuro.

Es importante no sobrecargar los racores ya que estos pueden partirse interna y posiblemente dañar los hilos de los sistemas ya sea de los tanques o del tubo extrusor.



©2024. All Rights Reserved.

## Implementación & Manejo

Paso 1. Se abre el tanque y se carga el material a imprimir para posteriormente colocar el émbolo y asegurar el tanque con ayuda de las varillas roscadas y las tuercas.

Paso 2. Se realizan todas las conexiones con mangueras entre los racores que tiene el sistema, en total son 2 mangueras, del compresor a la tapa superior del tanque y de la tapa inferior del tanque al extrusor.

Paso 3. Se realiza la conexión del motor paso a paso al Arduino para el giro del tornillo sin fin.

Paso 4. Se prende el compresor y se establece la presión necesaria para que ingrese al tanque, en este caso son 7 bar.

Paso 5. Se prende la impresora y se verifica el nivel del material en la manguera que conecta al tanque con el compresor. Una vez que el material esté llegando al extrusor se enciende el motor paso a paso y se corre el código de impresión.

Paso 6. Una vez finalizada la impresión se debe parar el motor paso a paso y se recomienda cortar el suministro de aire al tanque de alimentación.

Paso 7. Se desensamblan los sistemas de extrusión y alimentación para proceder a limpiarlos en su totalidad.

⚠ Se recomienda lubricar las mangueras de transporte con el mismo fluido que se utiliza para preparar el material. En caso de ser agua, se recomienda humedecer ligeramente las mangueras para que el



©2024. All Rights Reserved.

material tenga más facilidad al momento de ser transportado y que éste no produzca puntos de estancamiento.

# 6. Recomendaciones de Mantenimiento

El mantenimiento del sistema en general tiene que ser minucioso y continuo, se recomienda que su mantenimiento tenga que ser cada 2 meses, y que la limpieza sea al finalizar cada impresión. De igual manera al momento de realizar cada mantenimiento, llevar un registro sobre el mantenimiento del sistema.

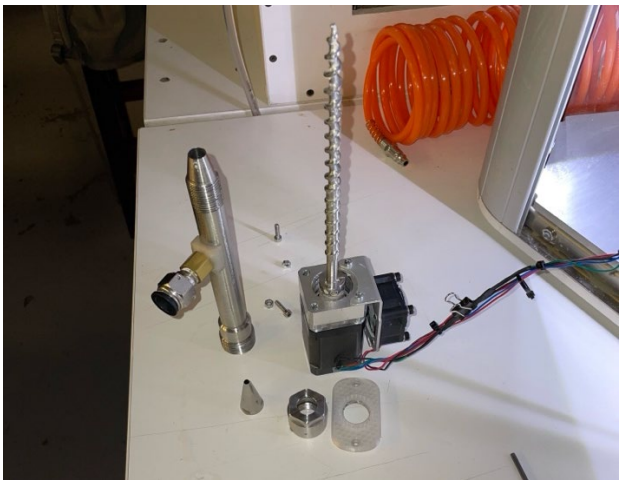
## Limpieza del Sistema de extrusión

### Extrusor & Tornillo Sin Fin

La carcaza o el extrusor y el tornillo sin fin están hecho a base de acero inoxidable 304. Lo que significa que el extrusor se tiene que limpiar al momento de acabar cada impresión. Al momento de terminar la impresión se tiene que desacoplar todo el sistema, es decir, los sujetadores, los racores, tornillo sin fin y quitar todo el teflón (si aplica) del extrusor. Posterior a esto, se tiene que limpiar con agua y jabón estéril para que no reaccione si es el caso con algún componente del material bio-compatible y que este pueda corroer al extrusor. Se recomienda utilizar esponjas suaves o cualquier limpiador de material suave para no rallar o lastimar las ranuras de los racores. Se recomienda evitar utilizar esponjas de acero o de teflón.



©2024. All Rights Reserved.



Luego de limpiar con agua y jabón, es necesario limpiar a lo largo de toda la superficie con una toalla seca o con papel suave hasta que quede completamente seco. Posterior al proceso de secado es necesario aplicar alcohol en toda la superficie para que este pueda evaporar cualquier resto de humedad o agua en el sistema, con esto se puede evitar cualquier tipo de corrosión y/o oxidación en el sistema.

Es importante recordar que para estas impresiones no utilizar materiales que puedan ser corrosivos o que sean tengan sedimentos muy sólidos ya que estos pueden rallar las paredes internas del extrusor, lo que provocaría un daño parcial o total del sistema extrusor. Los racores se recomienda cambiarlos cada 2 o 3 meses, ya que es posible que por las conexiones y desconexiones los pasos del rosado puedan dañarse. Es importante mencionar que el teflón que se encuentra en los pasos de los hilos tiene que ser cambiado cada vez que se vaya a realizar una impresión.

## Limpieza del Tanque de almacenamiento

El tanque de almacenamiento se compone de varias piezas las cuales en su mayoría están compuestas de acero inoxidable 304 y otras piezas menores de acero estructural. El tanque de almacenamiento se recomienda cargarlo hasta el 50% de su capacidad máxima con el material bio-compatible. Como el



©2024. All Rights Reserved.

sistema de extrusión se recomienda que la limpieza de este se realice después de cada impresión de la siguiente manera:

Se tiene que desconectar todas las piezas, la tapa superior e inferior para poder limpiar con una mayor facilidad en las paredes internas del tanque.

Es importante limpiar de manera minuciosa todos los restos del material, así que se recomienda que se desacoplen los o-rings de las tapas superiores, inferiores y del émbolo. De igual manera limpiar con agua y jabón a lo largo de toda la superficie, procurando eliminar cualquier resto de material existente, especialmente en las ranuras pequeñas y esquinas.

©2024. All Rights Reserved.

Finalmente, es importante aplicar en todas las superficies alcohol para eliminar cualquier resto de humedad y evitar una futura oxidación y/o corrosión. También si es necesario volver a usar de manera inmediata es posible secar con una secadora, si no también se puede dejar secar al aire.

Los o-rings y los racores se recomienda cambiarlos cada 2 o 3 meses, ya que es posible que por las conexiones y desconexiones los pasos del rosado puedan dañarse.

### Mantenimiento & Limpieza de las Mangueras

Las mangueras que transportan el material bio-compatible se tienen que cambiar cada 3 meses por mantenimiento preventivo ya que estas pueden desgastarse y provocar una fuga que a su vez pueda provocar una posible despresurización del sistema. Para la limpieza de las mangueras es recomendable que estas se limpien después de cada impresión, utilizando agua y jabón estéril para evitar una posible reacción con el material. Para su limpieza es recomendable que se utilice una varilla roscada de acero inoxidable de 1 metro.

El diámetro de la varilla roscada tiene que ser 1 milímetro menor al diámetro interno de la manguera, esto para que al momento que entre la varilla roscada no entre muy justo a la manguera y este pueda dañar



©2024. All Rights Reserved.

de manera parcial o total a la manguera, de igual manera al momento de finalizar la limpieza con agua es recomendable utilizar alcohol para eliminar cualquier rastro de humedad existente. Ya que las mangueras están hechas de un material que puede que permitir una proliferación de la humedad, es recomendable tener las mangueras guardadas en lugar obscuro y seco, donde no le llegue la luz solar directa.

## Mantenimiento del Sistema Eléctrico

### Motor A Pasos

El motor a pasos no es necesario que se cambie a menos que presente fallas al momento de girar. De igual manera es recomendable realizar una inspección en el motor después de cada impresión para verificar que el material no se haya infiltrado dentro del sistema eléctrico de este. En el caso de una filtración se recomienda la inmediata desconexión del motor a la impresora.

Para el mantenimiento diario del motor, se recomienda verificar las conexiones de este, verificar que los cables se encuentren en bueno estado y que no esté, doblados a más de 45 grados, ya que si los cables se doblan a más de 50 grados es posible que se puedan partir internamente y que no exista una buena conexión entre el sistema eléctrico de la impresora con el extrusor.

En el caso de que alguna de las piezas o sistemas anteriormente mencionados no se encuentra en óptimas condiciones o presente daños parciales, es importante el reemplazo inmediato para continuar con su operación.



©2024. All Rights Reserved.

# 7. Precauciones

## Peligros potenciales a las impresoras

Generalmente, las impresoras tipo Delta suelen tener sus cableados y cerebros electrónicos en la parte superior, de no ser este el caso. Es necesario que se tomen medidas preventivas. Se recomienda utilizar paneles de plástico para evitar un riegue en el caso que el material bio-compatible no sea lo suficientemente espeso para mantener su consistencia. También se recomienda utilizar camas de plástico para poder mantener una mayor limpieza en la cama de la impresora y que de igual manera se pueda manipular con mayor facilidad la impresión

## Peligros a la salud

En el caso de un estancamiento dentro de las mangueras no soplar con la boca o introducir los dedos dentro de las mangueras ya que puede representar un riesgo potencial para la salud.

En el caso de que el material bio-compatible llegue a filtrarse en el sistema eléctrico de la impresora es importante desconectar **inmediatamente** la fuente de alimentación de la impresora, ya que este puede provocar un corto circuito y quemar parcial o totalmente el sistema.

Es importante mantener un especial cuidado con la presurización del sistema, aunque las presiones con las que se trabaja son bajas, se recomienda despresurizar el sistema antes para evitar una inesperada fuga lo que puede provocar lesiones.



©2024. All Rights Reserved.

### Materiales que evitar

1. Materiales bio-compatibles que contengan cloruros como por ejemplo materiales con presencia de cloruro de sodio (NaCl) pueden causar una corrosión dentro del extrusor y al tornillo sin fin.
2. Materiales con ácidos fuertes como el Acido Clorhídrico (HCl) pueden afectar gravemente al acero lo que puede provocar en su falla parcial o total.
3. En el caso de utilizar materiales bio-compatibles con estructuras internas que tengan sedimentos como por ejemplo partículas de Hierro (Fe) puede lastimar internamente el extrusor o el tornillo sin fin.

⚠ Se recomienda utilizar una prensa para homogenizar el material bio-compatible. Ya que al momento de que el material se encuentra con partículas de un tamaño considerable puede dañar internamente el tubo extrusor o a los hilos del tornillo sin fin.

## 8. Aviso Legal

Cualquier disposición legal tiene que ser sometida al derecho imperativo de cada país correspondiente y en el que se está realizando la prueba respectivamente en donde se encuentra el usuario. El fabricante y los autores de este sistema no se responsabilizan por el daño parcial y/o total de cualquier propiedad privada afectada. En el caso de una afectación a la salud ya sea parcial y/o total, los fabricantes y desarrolladores de estos productos no son responsables por el incumplimiento de las recomendaciones de mantenimiento del producto.



©2024. All Rights Reserved.

## Facturas & Materiales

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

# Formulario de Reembolso / Liquidación de Gastos de Viaje

| | | | |
|---|---|---|---|
| **SOLICITADO POR:** | Patricio Chiriboga | **No. CEDULA o PASAPORTE:** | 1710634641 |
| **CARRERA / AREA:** | Ingeniería Mecánica | **CENTRO DE COSTOS:** | |
| **CONCEPTO DEL REEMBOLSO:** | | | |
| **DESTINO DEL VIAJE:** | | **PERÍODO DEL VIAJE:** | |

**TIPO DE GASTO**

**Docencia Nacional:** ■ **101000002**

**Docencia Internacional:** ☐ **101000003**

**Investigación:** ☐
**Vinculación:** ☐
**Código Proyecto:**

**HUBI** ☐

**Evento:** ☐ **Código Evento:**

**Administrativo:** ☐ **501000001**

**PARA USO INTERNO**

| N° | FECHA DEL DOCUMENTO | NOMBRE DEL PROVEEDOR | No.FACTURA | TIPO DE GASTO | VALOR | VALOR NO REEMBOLSADO |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 11/8/2024 | Manzano Nuñez Hilda Magdalena | 002-002-000074656 | OTROS | 33.83 | |
| 2 | 11/8/2024 | Guerrero Barreno Hugo Gerardo | 001-002-000083236 | OTROS | 7.69 | |
| 3 | 11/14/2024 | Servimangueras S.A. | 001-010-000004499 | OTROS | 14.55 | |
| 4 | 11/18/2024 | Manzano Nuñez Hilda Magdalena | 002-002-000074992 | OTROS | 54.58 | |
| 5 | 11/18/2024 | Vitosteel CIA. LTDA. | 001-002-000046444 | OTROS | 9.81 | |
| 6 | 02/12/204 | Servimangueras S.A. | 001-001-000005386 | OTROS | 21.13 | |
| 7 | | | | | | |
| 8 | | | | | | |
| 9 | | | | | | |
| 10 | | | | | | |
| 11 | | | | | | |
| 12 | | | | | | |
| 13 | | | | | | |
| 14 | | | | | | |
| 15 | | | | | | |
| 16 | | | | | | |
| 17 | | | | | | |
| 18 | | | | | | |
| 19 | | | | | | |
| 20 | | | | | | |
| 21 | | | | | | |
| 22 | | | | | | |
| 23 | | | | | | |

**RESUMEN DE GASTOS:**

| | |
|---|---|
| ALIMENTACION | - |
| TRANSPORTE | - |
| HOSPEDAJE | - |
| INSCRIPCION | - |
| PASAJES AEREOS | - |
| SUMINISTROS | - |
| OTROS | 141.59 |
| **TOTAL** | **141.59** |

| | | |
|---|---|---|
| ***TOTAL GASTOS*** | ***141.59*** | |

| | |
|---|---|
| **FIRMA DEL SOLICITANTE** | **NOMBRE/FIRMA DE APROBACIÓN** |

ACEROS INDUSTRIALES IMPORTADORES ®

**MANZANO NUÑEZ HILDA MAGDALENA**

**RUC: 1801835495001**

**Dir. Matriz:** AV GALO PLAZA LASSO LOTE 7 Y AV DIEGO

**Telefono:** 023500570

**Obligado a llevar contabilidad:** SI

**Contribuyente Especial No:**

**Agente de Retención:** 1

**Nro: 002 - 002 - 000074656**

# FACTURA

**Nro. de Autorización**

0811202401180183549500120020020000746560000000117

**Fecha :** 08/11/2024

**Ambiente Autorización:** Produccion

**Tipo de Emisión:** Normal

**Clave de Acceso**

0811202401180183549500120020020000746560000000117

**Razón Social / Nombres y Apellidos:** CHIRIBOGA PATRICIO

**RUC / CI:** 1710634641 **Teléfono:** 0987892785 **Fecha de Emisión:** 08/11/2024

**Dirección:** CUMBAYA

**E-Mail:** martinrr979@gmail.com **Forma de Pago:** CREDITO

| Codigo | Descripción | Unidad | Cant. | Precio | Desc. | IVA | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8TBP4X2 | TUB PJL INOX 304 4X2MM 1MT | MTS | 1.004 | 35.3100 | 17.00 | 15.00 | 35.45 |

**Información Adicional**

Sistema : FenixPRO
Vendedor : MARLENE BOLAÑOS
Telefono : 023500570
Correo : aceroshgb2@hotmail.com
Forma Pago : OTROS CON UTILIZACION DEL SISTEMA FINANCIERO USD-33.83
Plazo : 0 DIAS

| | |
|---|---|
| Subtotal : | 35.45 |
| Descuento : | 6.03 |
| Subtotal 0% : | 0.00 |
| Subtotal 15% | 29.42 |
| Iva 15% | 4.41 |
| Otros : | 0.00 |
| Total : | 33.83 |

HUGO GUERRERO B.
RUC:1801252170001
CANCELADO

VITOSTEEL
LA CALIDAD ES NUESTRA DESTREZA

**FACTURA** **No.001-002-000046444**

**Número de Autorización:**

**Fecha y hora de Autorización:**

**Ambiente:**
**Emisión:** NORMAL
**Clave de Acceso:**

1811202401179217384100120010020000464444079645618

**Emisor:** VITOSTEEL CIA. LTDA.
**RUC:** 1792173841001
**Matriz:** PICHINCHA / QUITO / AV. 6 DE DICIEMBRE N53-201 Y LOS PINOS
**Correo:** contabilidad.vitosteel@gmail.com
**Teléfono:** 022412129-02415008
**Obligado a llevar contabilidad:** SI
**Agente de Retención**
**Resolución Nro. NAC-DGERCGC24-00000008**

**Razón Social:** PATRICIO CHIRIBOGA
**Dirección:** CUMBAYA
**Fecha Emisión:** 18/11/2024

**RUC/CI:** 1710634641
**Teléfono:** 0987992785
**Correo:** pchiriboga@usfq.edu.ec

| Código Principal | Cantidad | Descripción | Detalles Adicionales | Precio Unitario | Descuento | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 01.5X85.02.A7 0 | 3.00 | O'RINGS | | 2.086500 | $0.00 | $6.26 |
| 01.343.02.A70 | 2.00 | O'RINGS | | 1.137196 | $0.00 | $2.27 |

**Información Adicional**

Descripción TRANSFERENCIA - ED.

**Formas de pago**

| | | |
|---|---|---|
| Otros con Utilización del Sistema Financiero | $9.81 | 0 días |

| | |
|---|---|
| Subtotal Sin Impuestos: | $8.53 |
| Subtotal 15%: | $8.53 |
| Subtotal 5%: | $0.00 |
| Subtotal 0%: | $0.00 |
| Subtotal No Objeto IVA: | $0.00 |
| Descuentos: | $0.00 |
| ICE: | $0.00 |
| IVA 15%: | $1.28 |
| IVA 5%: | $0.00 |
| Servicio %: | $0.00 |
| Valor Total: | $9.81 |

**MENSAJE**

SALIDA DE LA MERCADERIA NO HAY DEVOLUCIONES

ACEROS INDUSTRIALES IMPORTADORES ®

**GUERRERO BARRENO HUGO GERARDO**

**RUC: 1801252170001**

**Dir. Matriz:** AV LOS PINOS E7-30 E INÉS MEDINA

**Telefono:** 022405415

**Obligado a llevar contabilidad:** SI

**Contribuyente Especial No:**

**Agente de Retención:** 1

# Nro: 001 - 002 - 000083236

# FACTURA

**Nro. de Autorización**

0811202401180125217000120010020000832360000000110

**Fecha :** 08/11/2024

**Ambiente Autorización:** Produccion

**Tipo de Emisión:** Normal

**Clave de Acceso**

0811202401180125217000120010020000832360000000110

**Razón Social / Nombres y Apellidos:** CHIRIBOGA PATRICIO

**RUC / CI:** 1710634641 **Teléfono:** 0987892785 **Fecha de Emisión:** 08/11/2024

**Dirección:** CUMBAYA

**E-Mail:** martinrr979@gmail.com **Forma de Pago:** CREDITO

| Codigo | Descripción | Unidad | Cant. | Precio | Desc. | IVA | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 36PA6-GR100MM | POLIAMIDA CH BLA PA6-G IM RED 100MM | KG | 0.768 | 10.5000 | 17.00 | 15.00 | 8.06 |

**Informacion Adicional**

Sistema : FenixPRO
Vendedor : MARLENE BOLAÑOS
Telefono : 022405415
Correo : aceroshgb@hotmail.com
Forma Pago : OTROS CON UTILIZACION DEL SISTEMA FINANCIERO USD-7.69
Plazo : 0 DIAS

| | |
|---|---|
| Subtotal : | 8.06 |
| Descuento : | 1.37 |
| Subtotal 0% : | 0.00 |
| Subtotal 15% | 6.69 |
| Iva 15% | 1.00 |
| Otros : | 0.00 |
| Total : | 7.69 |

SERVIMANGUERAS S.A.
SERVIMANGUERAS S.A.
RUC: 1792669073001
MATRIZ: OSWALDO GUAYASAMIN OE3-61 Y HUMBERTO SAL VADOR
SUCURSAL: CALLE OSWALDO GUAYASAMIN OE3-61 Y HUM BERTO SALVADOR TUMBACO
Obligado a Llevar Contabilidad: Si
Agente de RetenciÃ³n: NAC-DNCRASC20-00000001

FACTURA:001-001-000005386
AUT:0212202401179266907300120010010000005386106101201 1
AMBIENTE: PRODUCCION
EMISION: NORMAL

FECHA: 02/12/2024 10:10:57
FECHA VENCIMIENTO: 02/12/2024
RUC/CI: 1710634641
CLIENTE: CHIRIBOGA ARROYO PATRICIO GABRIEL
CORREO: martinrr979@gmail.com
VENDEDOR: JEFFERSON
FORMA DE PAGO:

| CANT. | DESCRIP. | PRECIO U. | TOTAL |
|---|---|---|---|
| 1 | MINI VALVULA MA | 9,12 | 8,66 |
| 2 | RACOR NEUMATICO | 1,82 | 3,46 |
| 1 | ACCESORIO PARA T | 1,36 | 1,30 |
| 1 | ACOPLE MACHO-HEM | 0,90 | 0,86 |
| 2 | MANG.NEUMATICA 8 | 2,15 | 4,09 |

| | |
|---|---|
| SUBTOTAL: | 18,37 |
| DESCUENTO: | 0,97 |
| IVA: | 2,76 |
| SERVICIO: | 0,00 |
| TOTAL: | 21,13 |

CAMBIO:0

DOCUMENTO SIN VALIDEZ TRIBUTARIA
Para obtener su factura electronica
Ingrese a: www.sae-cloud.com
(Usuario: CI/RUC,Clave: CI/RUC) o a la Página web del SRI con la Clave de Acceso: 0212202401179266907300120010010000005386106101201 1

SERVIMANGUERAS S.A.
SERVIMANGUERAS S.A.
RUC: 1792669073001
MATRIZ: OSWALDO GUAYASAMIN OE3-61 Y HUMBERTO SAL VADOR
SUCURSAL: CALLE  OSWALDO GUAYASAMIN OE3-61 Y HUM BERTO SALVADOR TUMBACO
Obligado a Llevar Contabilidad: Si
Agente de Retenci├│n: NAC-DNCRASC20-00000001

FACTURA:001-010-000004499
AUT:1411202401179266907300120010100000044997056012011
AMBIENTE: PRODUCCION
EMISION: NORMAL

FECHA: 14/11/2024 09:13:40
FECHA VENCIMIENTO: 14/11/2024
RUC/CI: 1710634641
CLIENTE: CHIRIBOGA ARROYO PATRICIO GABRIEL
CORREO: martinrr979@gmail.com
VENDEDOR: JEFFERSON
FORMA DE PAGO:

| CANT. | DESCRIP. | PRECIO U. | TOTAL |
|---|---|---|---|
| 2 | RACOR MACHO  M14 | 4,29 | 8,58 |
| 1 | CORDON DE NITRIL | 4,07 | 4,07 |

| | |
|---|---|
| SUBTOTAL: | 12,65 |
| DESCUENTO: | 0,00 |
| IVA: | 1,90 |
| SERVICIO: | 0,00 |
| TOTAL: | 14,55 |

CAMBIO:0

DOCUMENTO SIN VALIDEZ TRIBUTARIA
Para obtener su factura electronica ingrese a:  www.sae-cloud.com (Usuario: CI/RUC,Clave: CI/RUC) o a la pagina web del SRI con la Clave de Acceso: 1411202401179266907300120010100000044997056012011

ACEROS INDUSTRIALES IMPORTADORES ®

**MANZANO NUÑEZ HILDA MAGDALENA**

**RUC: 1801835495001**

**Dir. Matriz:** AV GALO PLAZA LASSO LOTE 7 Y AV DIEGO

**Telefono:** 023500570

**Obligado a llevar contabilidad:** SI

**Contribuyente Especial No:**

**Agente de Retención:** 1

# Nro: 002 - 002 - 000074992

# FACTURA

**Nro. de Autorización**

1811202401180183549500120020020000749920000000118

**Fecha :** 18/11/2024

**Ambiente Autorización:** Produccion

**Tipo de Emisión:** Normal

**Clave de Acceso**

1811202401180183549500120020020000749920000000118

1811202401180183549500120020020000749920000000118

**Razón Social / Nombres y Apellidos:** CHIRIBOGA PATRICIO

**RUC / CI:** 1710634641 **Teléfono:** 0987892785 **Fecha de Emisión:** 18/11/2024

**Dirección:** CUMBAYA

**E-Mail:** martinrr979@gmail.com **Forma de Pago:** CREDITO

| Codigo | Descripción | Unidad | Cant. | Precio | Desc. | IVA | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| INOXPL304R-10 | AC INOX 304 PLANCHA RETAZO H 10 MM x 150 x 150 | KG | 2.050 | 5.8500 | 0.00 | 15.00 | 11.99 |
| INOXPLIM304L-25 | AC INOX 304L IM PLANCHA RETAZO H 25.40 MM x 150 x 150 | KG | 5.325 | 6.6600 | 0.00 | 15.00 | 35.46 |

**Información Adicional**

Sistema : FenixPRO
Vendedor : VIVIANA GRIJALVA
Telefono : 023500570
Correo : aceroshgb2@hotmail.com
Forma Pago : OTROS CON UTILIZACION DEL SISTEMA FINANCIERO USD-54.58
Plazo : 0 DIAS

| | |
|---|---|
| Subtotal : | 47.46 |
| Descuento : | 0.00 |
| Subtotal 0% : | 0.00 |
| Subtotal 15% | 47.46 |
| Iva 15% | 7.12 |
| Otros : | 0.00 |
| Total : | 54.58 |

HILDA MANZANO N.
R.U.C. 1801835495001
CANCELADO

ENTREGADO
HGB
RUC: 1801835495001